

Universität Konstanz
Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft

Masterarbeit

Entwicklung eines Visualisierungs- und Interaktionskonzepts für die Überwachung und Diagnose im Leitwartenkontext

Eine Untersuchung unterschiedlicher Multifoci-Ansichten am Beispiel einer Verkehrsleitzentrale

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

Studienfach: Information Engineering
Schwerpunkt: Information Science
Themengebiet: Informationswissenschaft

von
Simon Butscher
(01/719256)

Erstgutachter: Prof. Dr. Harald Reiterer
Zweitgutachter: Prof. Dr. Daniel A. Keim
Betreuer: Tobias Schwarz

Einreichung: 24.04.2012

© Copyright 2012 Simon Butscher
All Rights Reserved

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die anliegende Arbeit mit dem Thema:

“Entwicklung eines Visualisierungs- und Interaktionskonzepts für die Überwachung und Diagnose im Leitwartenkontext – Eine Untersuchung unterschiedlicher Multifoci-Ansichten am Beispiel einer Verkehrsleitzentrale”

selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle, auch der benutzten Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht.

Konstanz, 24. April 2012

Simon Butscher

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Evaluation eines ganzheitlichen Visualisierungs- und Interaktionskonzepts im Kontext von Leitwarten. Ganzheitlich bedeutet, dass basierend auf dem neuen Interaktionsparadigma der Blended Interaction sowohl die persönliche Interaktion, die soziale Interaktion & Kommunikation als auch die physische Umgebung und die Arbeitsabläufe innerhalb des Konzeptes Berücksichtigung finden. Bei der Entwicklung des Visualisierungs- und Interaktionskonzept wurde ein Schwerpunkt auf die Primäraufgaben von Operatoren bei der Überwachung von komplexen Prozessen, beispielsweise in Kraftwerken oder bei der Verkehrsüberwachung, gelegt. Dabei navigiert der Operator in einem grafisch aufbereiteten Informationsraum, kontrolliert Prozessvariablen der zu überwachenden Vorgänge und reagiert auf Fehlermeldungen und Warnhinweise. Das entwickelte Konzept zur Unterstützung dieser Primäraufgaben basiert auf einer Kombination aus einem öffentlichen, horizontalen Display und einem privaten, vertikalen Multitouch-Display und folgt dem Overview+Detail-Entwurfsmuster. Den zentrale Aspekt des Konzeptes stellt jedoch die zusätzliche Integration einer Multifoci-Ansicht unter Verwendung einer Focus+Kontext-Technik dar. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Varianten einer Multifoci-Ansicht erarbeitet, prototypisch implementiert und im Rahmen einer vorwiegend qualitativen Expertenbeurteilung mit Probanden aus unterschiedlichen Verkehrsleitzentralen evaluiert. Dabei wurde den Experten eine zusätzliche Kontrollbedingung angeboten, in welcher auf den Einsatz einer Focus+Context-Technik verzichtet wurde. Im Ergebnis gaben alle Probanden an, dass sie eine der zwei entwickelten, auf Focus+Context Techniken basierenden, Multifoci-Ansichten der Ansicht der Kontrollbedingung vorziehen.

Abstract

The work at hand deals with the development and the evaluation of a holistic visualization and interaction concept in the context of control centers. Thereby holistic means that based on the new interaction paradigm of Blended Interaction the personal interaction, the social interaction and communication as well as the physical environment and work processes are taken into consideration. The focus of the visualization and interaction concept lies on the primary control room operator tasks, such as the surveillance of complex processes for example in power plants or traffic monitoring. The operator navigates within a graphic information space, keeps the necessary process variables under surveillance and if necessary reacts to error reports and warnings. The developed concept which is intended to support these primary tasks is based on a combination of a public horizontal orientated display and a private vertical orientated multi-touch display and will follow the Overview+Detail design pattern. The key aspect of the concept is, however, the additional integration of a multi-focus view using a Focus+Context technique. In this work, two versions of a multi-focus view were developed, prototypically implemented and evaluated within a predominantly qualitative expert assessment with volunteers from a variety of traffic control centers. In the evaluation, an additional control condition was offered to the experts. Within this additional control condition the process was visualized without the use of a Focus+Context technique. All experts claim to prefer one of two developed multi-focus views to the control condition.

Veröffentlichungen

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht in:

- Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald. Content-aware navigation for large displays in context of traffic control rooms. AVI '12: Conference on Advanced Visual Interfaces, New York, NY, USA: ACM Press, 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: HFSE '11: Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting (Poster Session), Leeds, UK, 2012
- Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Inhaltssensitive Navigation in der Verkehrsleitzentrale. In: Eibl, Maximilian (Hrsg.): Mensch und Computer 2011. München: Oldenbourg, 2011, S. 49–58
- Eingereicht auf der Mensch und Computer 2012 aber zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit noch nicht angenommen:
Schwarz, Tobias; Butscher, Simon; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Ein Multi-Focus-View Konzept im Kontext der Verkehrsleitzentrale.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 7 |
| 1.1 | Motivation | 8 |
| 1.2 | Aufbau | 10 |
| 2 | Leitwarten als Designdomäne | 13 |
| 2.1 | Evolution der Leitwarten | 13 |
| 2.2 | Problemstellung | 17 |
| 2.2.1 | Prozessvisualisierung | 18 |
| 2.2.2 | Aufgaben der Operatoren | 21 |
| 2.3 | Zielsetzung | 25 |
| 3 | Stand der Forschung | 29 |
| 3.1 | Neue Formen der Interaktion | 29 |
| 3.1.1 | Embodied Cognition | 30 |
| 3.1.2 | Ubiquitous Computing | 31 |
| 3.1.3 | Tangible Computing | 31 |
| 3.1.4 | Social Computing | 32 |
| 3.1.5 | Reality-Based Interaction | 33 |
| 3.1.6 | Blended Interaction | 35 |
| 3.2 | Multiscale-Anwendungen | 37 |
| 3.2.1 | Temporale Trennung: Zooming | 38 |
| 3.2.2 | Räumliche Trennung: Overview+Detail | 40 |
| 3.2.3 | Integration von Fokus und Kontext: Focus+Context | 41 |
| 3.2.4 | Multiscale-Anwendungen in Leitwarten | 45 |
| 3.2.5 | Implikation der Mutliscale-Anwendungen | 48 |
| 3.3 | Eigenschaften von Displayausrichtungen | 49 |
| 4 | Visualisierungs- und Interaktionskonzept für die Prozessüberwachung | 53 |
| 4.1 | Implikation der Blended Interaction | 53 |
| 4.2 | Grundkonzept | 56 |
| 4.3 | Überwachungs- und Diagnoseebene | 58 |
| 4.3.1 | Prozessvisualisierung | 60 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.3.2 | Interaktionskonzept | 68 |
| 4.4 | Manipulationsebene | 75 |
| 4.4.1 | Prozessvisualisierung | 76 |
| 4.4.2 | Interaktionskonzept | 77 |
| 4.5 | Bewertung des Konzeptes in Bezug auf die Blended Interaction . . . | 81 |
| 5 | Prototypische Umsetzung | 85 |
| 5.1 | Synchronisation | 86 |
| 5.2 | Aufbau des Prototyps | 87 |
| 5.3 | Prozessvisualisierung | 89 |
| 5.3.1 | HML-View | 90 |
| 5.3.2 | Folding-View | 92 |
| 6 | Evaluation | 101 |
| 6.1 | Setting | 102 |
| 6.2 | Kontrollbedingung | 103 |
| 6.3 | Ablauf | 104 |
| 6.4 | Methoden zur Datenerhebung und Auswertung | 106 |
| 6.4.1 | Fragebögen | 107 |
| 6.4.2 | Teilnehmende Beobachtung | 109 |
| 6.4.3 | Experteninterview | 109 |
| 6.4.4 | Qualitative Inhaltsanalyse | 110 |
| 6.5 | Ergebnisse | 112 |
| 6.5.1 | Navigation | 113 |
| 6.5.2 | Multifoci-Views | 119 |
| 6.5.3 | Circles | 131 |
| 6.5.4 | Kamerabilder | 132 |
| 6.5.5 | Meldungen | 133 |
| 6.5.6 | Multitouch | 133 |
| 6.6 | Diskussion | 134 |
| 7 | Fazit und Ausblick | 143 |
| | Literaturverzeichnis | 148 |
| A | Kontinuierliche Transformation der Folding-View | 163 |
| B | Rechteckige HML | 167 |
| C | Testunterlagen | 169 |
| D | Inhalt der DVD | 191 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Beispiele für Leitwarten, in welchen innerhalb einer Multimonitor-Umgebung verschiedene Sichten auf einen Informationsraum realisiert werden: (links) Beispiel einer Verkehrsleitzentrale [Deu]; (rechts) Beispiel einer Leitzentrale für die U-Bahn-Überwachung [SIE08] | 8 |
| 2.1 | Evolution der Prozesssteuerung: (links) Dezentrale Prozesssteuerung; (Mitte) analoge Prozesssteuerung; (rechts) digitale Prozesssteuerung. (auf Basis von Böhle et al. [BR92] und Kurz [Kur08], modifiziert durch Schwarz et al. [SHB ⁺ 11]) | 15 |
| 2.2 | Power vs. Reality Tradeoff in der Prozesssteuerung [SHB ⁺ 11] | 18 |
| 2.3 | Fenster zum Prozess [Cha98] | 19 |
| 2.4 | Verkehrsleitzentrale Hessen [Hes] | 21 |
| 2.5 | Schematische Darstellung der sequenziellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen als Leiterdiagramm, in Anlehnung an Rasmussen [Ras84] und mit Beispielen aus einer Verkehrsleitwarte ergänzt. | 23 |
| 2.6 | Verkehrsbeeinflussungsanlage [Str] | 24 |
| 2.7 | Leitwarte eines Heizkraftwerks mit Visualisierungen von Prozessausschnitten auf dem Wanddisplay [Gri] | 26 |
| 3.1 | Die vier Leitprinzipien der RBI [JGH ⁺ 08] | 33 |
| 3.2 | Die vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction [SOR11] | 36 |
| 3.3 | (links) Space-Scale Digramm [AT92]; (rechts) Semantisches Zooming [Spe07] | 39 |
| 3.4 | (links) DragMag-Linse; (rechts) MagicLens zur Darstellung von zusätzlichen Informationen [Spe07] | 42 |
| 3.5 | Fisheye-Verzerrungen: (links) Grafisches Fisheye; (Mitte) Round Lens Fisheye; (rechts) Flat Lens Fisheye [GS03] | 43 |
| 3.6 | Visualisierung von Flugverbindungen mittels Mélange Space Folding [EHRF08] | 44 |
| 3.7 | Faltung des Informationsraums mit Mélange [EHRF08] | 45 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.8 | Prozessvisualisierung einer Destillationskolonne mit der Möglichkeit der Ausschnittsvergrößerung: (links) Übersichtsbild; (rechts) Detailansicht [KASE97] | 46 |
| 3.9 | Fisheye-View für die Prozessvisualisierung [Zin95b] | 46 |
| 3.10 | Perspective+Detail: Der Übersichtsbereich wird in Richtung der z-Achse fortgesetzt [SHLR12] | 47 |
| 3.11 | (links) Mockup eines Perspective+Detail-Interfaces; (rechts) Prototypische Umsetzung [SHLR12] | 48 |
| 4.1 | Leitzentrale für die Tram-Überwachung als Beispiel für eine schwer zu durchschauende Arbeitsumgebung [Cam] | 55 |
| 4.2 | Setting mit zwei Operatorenarbeitsplätzen und einem gemeinsam genutzten Wanddisplay | 59 |
| 4.3 | Overview+Detail: Ein SplitScreen-Interface zur Visualisierung von Prozessvariablen [SBMR11] | 60 |
| 4.4 | Focus+Context: Ein Fisheye-Interface zur Visualisierung von Prozessvariablen [SBMR11] | 61 |
| 4.5 | Übersicht über den Überwachungsraum am Beispiel einer Verkehrsleitwarte, inklusive zweier Fokuspunkte (blaues und rotes Rechteck) . . | 62 |
| 4.6 | Integration der HML-View in das Gesamtkonzept | 63 |
| 4.7 | Geometrie der HML | 64 |
| 4.8 | HML-View am Beispiel einer Verkehrsleitwarte: Darstellung des gesamten Prozesses in einer stark abstrahierten Ansicht, wobei lediglich die kumulierte Verkehrssituation auf den Straßen farblich kodiert wurde. Für die Darstellung von Detailinformationen, im Speziellen der Verkehrssituation auf jeder einzelnen Farbspur werden zwei HML eingesetzt. | 65 |
| 4.9 | Zwei HML mit unterschiedlichen Zoomstufen | 66 |
| 4.10 | Integration der Folding-View in das Gesamtkonzept | 66 |
| 4.11 | Folding-View am Beispiel einer Verkehrsleitwarte: Darstellung des gesamten Prozesses, wobei in den Falten lediglich die kumulierte Verkehrssituation auf den Straßen farblich kodiert dargestellt wird und nur innerhalb der Fokusregionen Detailinformationen, das heißt im Speziellen die Verkehrssituation auf jeder einzelnen Fahrspur, dargestellt werden | 68 |
| 4.12 | Einsatz von animierten Circles zur Visualisierung von Veränderungen in der Prozessdynamik: (links) HML-View; (rechts) Folding-View . | 69 |
| 4.13 | Funktionen des SpaceNavigators: (links) Kippen; (Mitte) Drehen; (rechts) Drücken/Ziehen | 69 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.14 | TokenContainer: (links) Screenshot der Manipulationsebene; (rechts) Selektion eines Fokuspunktes über SpaceNavigator | 70 |
| 4.15 | Status des TokenConainers: (1) Enabled, Selektion des Fokuspunktes möglich; (2) Disabled, Selektion des Fokuspunktes nicht möglich; (3) Fokuspunkt selektiert, keine Verbindung zur Straße; (4) Fokuspunkt selektiert, Verbindung zur Straße, keine zusätzlichen Detailinformationen; (5) Fokuspunkt selektiert, Verbindung zur Straße, zusätzliche Detailinformationen | 71 |
| 4.16 | Polymodales Navigationselement: (links) Richtungspfeil; (rechts) Wechsel in die inhaltssensitive Navigation möglich | 72 |
| 4.17 | Polymodales Navigationselement: (links) Geschlossenes Rechteck als Feedback für die Verbindung zur Straße; (rechts) Selektion der Straße an einer Kreuzung | 74 |
| 4.18 | Integration von Detailinformationen: Positionierung der Kamerabilder (jeweils ein Kamerabild pro Fahrtrichtung) abhängig vom Straßenverlauf am Beispiel der Folding-View | 76 |
| 4.19 | Manipulationsebene bestehend aus drei Teilen: Prozessvisualisierung, TokenContainern und Meldungsliste | 77 |
| 4.20 | Das CircularMenu zur Manipualtion von Prozessvaribalen auf einem Multitouch-Display | 80 |
| 4.21 | Die Meldungsliste zur Verwaltung von Aufgaben | 82 |
| 5.1 | Übersicht über das ZOIL Framework mit einer roten Markierung der genutzten Komponenten | 87 |
| 5.2 | Klassendiagramm des Prototyps reduziert auf die zentralen Klassen . | 88 |
| 5.3 | Variablen zur Berechnung der Geometrie einer HML | 91 |
| 5.4 | Überblick über den Algorithmus zur Faltung des Informationsraums | 96 |
| 6.1 | Screenshot der Manipualtionsebene: Integration von zwei Operatoren-arbeitsplätze auf einem Display | 102 |
| 6.2 | Testsetting: (links) Labor-Setting; (rechts) Mobiles Setting | 103 |
| 6.3 | Ablauf der Expertenbeurteilung | 105 |
| 6.4 | Expertenbeurteilung mit jeweils zwei Experten und zwei Beobachtern: (links) Labor-Setting; (rechts) mobiles Setting | 111 |
| 6.5 | Bewertung der Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators | 114 |
| 6.6 | Bewertung der Funktion um einem Straßenverlauf zu folgen und an Kreuzungen abzubiegen | 115 |
| 6.7 | Bewertung der Navigationsgeschwindigkeit und der Navigation mit dem SpaceNavigator im Vergleich mit der Maus | 116 |
| 6.8 | Bewertung der Sprung-Funktion und der Synchronisation der Ebenen | 118 |

| | | |
|------|--|-----|
| 6.9 | Bewertung der einzelnen Prozessvisualisierungen in Bezug auf die Alltagstauglichkeit, die Orientierung und die Übersicht | 122 |
| 6.10 | Durchschnittliche Bewertung der Subskalen des NASA-TLX | 123 |
| 6.11 | Bewertung der Prozessvisualisierung anhand des SUS (links) und NASA-TLX Fragebogens (rechts) | 125 |
| 6.12 | Wahl der präferierten Prozessvisualisierung | 127 |
| 6.13 | Bewertung der Integration der Kamerabilder innerhalb der Überwachungs- und Diagnoseebene | 133 |
| 6.14 | Bewertung der Touch-Interaktion und der körperlichen Beanspruchung | 134 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|---|-----|
| 2.1 | Zielsetzung | 27 |
| 3.1 | Vor- und Nachteile der Ausrichtung eines Displays | 51 |
| 4.1 | Probleme und Lösungsansätze anhand der Gestaltungsebenen der Blended Interaction | 56 |
| 6.1 | Soziodemografische Daten der Probanden | 113 |
| 6.2 | Beanspruchung der Experten in den sechs Subdimensionen mit ANOVA- Analyse auf Unterschiede zwischen den Visualisierungen | 126 |
| 6.3 | Resultierende Kategorien der Expertenbeurteilung | 139 |

Kapitel 1

Einleitung

Die Prozessführung zeichnete sich lange Zeit als Innovationstreiber im Bereich der Interaktion zwischen Mensch und Maschine aus. Während in den Anfängen der Prozessführung zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts einzelne Maschinen von Operatoren direkt vor Ort bedient wurden, handelt es sich bei modernen Leitwarten um Mehrmonitor-Umgebungen, in welchen der zu überwachenden Prozess auf unterschiedliche Weisen abgebildet wird (siehe Abbildung 1.1). Die Begriffe Leitwarte und Leitzentrale werden hierbei synonym gebraucht. Leitwarten, wie sie beispielsweise bei der Energieerzeugung und Verkehrsüberwachung eingesetzt werden, sind technische Einrichtungen um Prozesse zu kontrollieren und zu steuern. Die für diesen Zweck eingesetzten Prozessvisualisierungen dienen dabei als einzige Schnittstelle zwischen den Operatoren und dem technischen Prozess. Die Prozessvisualisierungen müssen den Operatoren das Überwachen des Prozesses, das frühzeitige Erkennen von Abweichungen von Prozesszielen und die Möglichkeit zum gezielten Eingreifen in den Prozess ermöglichen [Heu98]. Das heißt, die Operatoren sind darauf angewiesen, anhand der Prozessdarstellungen frühzeitig Abweichungen vom Sollzustand des Prozesses innerhalb der großen Zahl an Einzelinformationen zu erkennen, um so auf neue Situationen angemessen reagieren zu können [Ing98]. Obwohl mit dem Einzug moderner Computertechnologie gerade im Bereich der Prozessvisualisierung enorme Vorteile entstanden sind, führten die gestiegene Komplexität von Prozessen, die stärkere Automatisierung, welche den Verlust von Fertigkeiten in der manuellen Prozessführung zur Folge hatte, und der größere Verantwortungsbereich der Operatoren aufgrund der umfassenden Automatisierung über die Jahre zu erhöhten Anforderungen an die Operatoren [RWLN97].

Durch die zunehmende Automatisierung wurde es den Operatoren erschwert, ein vollständiges mentales Modell der zu überwachenden Prozesse zu erlangen. Die Generierung eines mentalen Modells ist jedoch essenziell für die Überwachung des aktuellen Prozesszustandes, im Speziellen beim Feststellen von Veränderungen in der Prozessdynamik [WH00]: Innerhalb von Produktionsprozessen lassen sich zwischen 70% und 90% aller Unfälle auf menschliches Versagen zurückführen [Kün02]. Mensch-



Abb. 1.1: Beispiele für Leitwarten, in welchen innerhalb einer Multimonitor-Umgebung verschiedene Sichten auf einen Informationsraum realisiert werden: (links) Beispiel einer Verkehrsleitzentrale [Deu]; (rechts) Beispiel einer Leitzentrale für die U-Bahn-Überwachung [SIE08]

liche Fehler haben ihre Ursache meist darin, dass der Mensch mit seinen angeborenen Fähigkeiten und Schwächen beim Entwurf der Systeme nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Passend dazu zeigt Grams [Gra98a, Gra98b] die Gefahr auf, dass eine ungeeignete Gestaltung der Arbeitsumgebung eine Ursache für Fehler seitens der Operatoren bei Prozesseingriffen darstellt. Rasmussen et al. [RAG94] fordern aus diesem Grund, dass Prozessvisualisierungen und Interaktionstechniken entwickelt werden, welche der Natur sowohl der menschlichen Wahrnehmung und Informationsaufnahme, der mentalen Modelle der Operatoren als auch der menschlichen Problemlöse- und Planungsvorgänge angepasst sind. Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft bestätigen dabei, dass eine enge Verbindung zwischen Denkprozessen, Wahrnehmung und körperlichen sowie sozialen Handlungen besteht [Dou01]. Daraus folgt für das Design von interaktiven Systemen, dass der Mensch mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten, seinem Kontext und seinem sozialen Umfeld zu betrachten ist [Dou01].

1.1 Motivation

Diese Arbeit ist eingebettet in das Forschungsprojekt „Holistic Workspace“ [Arbb]. Ziel des Forschungsprojektes ist die Gestaltung einer ganzheitlichen Arbeitsumgebung für Operatoren in Leitwarten. Um der Forderung nachkommen zu können, den Mensch mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten, seinem Kontext und seinem sozialen Umfeld bei der Entwicklung einer ganzheitlichen Arbeitsumgebung zu berücksichtigen, wurde innerhalb des Projektes „Holistic Workspace“ eine domänenübergreifende Nutzungskontextanalyse von Schwarz et al. [SKOR10] durchgeführt. Ziel der Analyse war es, ein Verständnis für die Anforderungen und die Aufgaben sowie für die soziale und physische Umgebung von Operatoren als Nutzer komplexer, sicherheitskritischer Systeme zu entwickeln. Die Analyse zeigte dabei auf, dass die

Operatoren bei der Arbeit in Informationsräumen mit netzwerkartiger Struktur, wie beispielsweise bei Straßen-, Strom- und Wasserversorgungsnetzen, nicht ausreichend unterstützt werden. Aktuell wird für die Erfüllung der Hauptaufgaben eines Operators, das heißt für die Überwachung eines Prozesses, die Diagnose einer Problemursache und das steuernde Eingreifen in den Prozess [Joh93], eine Mehrmonitor-Umgebung genutzt, welche verschiedene Sichten auf die gleiche Menge von Informationen auf getrennten Displays bereitstellt (siehe Abbildung 1.1). Innerhalb der meisten Leitwarten wird eine Kombination aus großen, gemeinsam genutzten Wanddisplays für die Darstellung einer Übersicht über den zu überwachenden Prozess und kleineren, privaten Displays an den Arbeitsplätzen der Operatoren für die Darstellung von Detailansichten eingesetzt. Baudisch et al. [BGS01] nennen als Hauptnachteil eines solchen Overview+Detail-Entwurfsmusters die räumliche Trennung der verschiedenen, voneinander abhängigen Sichten. Diese räumliche Trennung hat ein ständiges visuelles Umschalten des Benutzers zwischen den Sichten zur Folge, was den Benutzer jedes Mal zusätzliche Zeit kostet und eine erhöhte mentale Beanspruchung zur Folge hat. Klump et al. [KSO02] identifizierten weitere Probleme, mit denen Operatoren bei der Benutzung der aktuellen Systeme konfrontiert sind: So kritisierten Operatoren in einer Studie, wie schwierig Informationen auf entfernten Displays zu erkennen sind, wie unaufgeräumt die existierenden Displays sind und wie deren Mangel an Flexibilität die Typen von Information, welche visualisiert werden können, einschränkt. An dieser Stelle ist es also sinnvoll, die bestehende Gestaltung eines Leitstandes zu überdenken und diesen gegebenenfalls zu restrukturieren, vorhandene Bestandteile neu zu kombinieren oder diese mit weiteren Elementen zu ergänzen.

Ziel dieser Arbeit ist daher die Gestaltung einer holistischen Arbeitsumgebung für Operatoren unter der Berücksichtigung neuer Technologien und Ansätze aus der Mensch-Computer Interaktion. Leitbild bei der Konzeptentwicklung ist dabei eine Arbeitsumgebung, welche den Operator bei der Ausübung seiner Tätigkeiten und der Einbindung in seine Arbeitsumgebung unter Berücksichtigung seiner Erfahrungen und Fähigkeiten bestmöglich unterstützt. In Anbetracht dessen ist es notwendig, einen aufeinander abgestimmten Ansatz für einen Operatorenarbeitsplatz zu entwickeln, der in Anlehnung an das neue Interaktionsparadigma der Blended Interaction [Arba] sowohl die persönliche Interaktion, die Arbeitsabläufe als auch die physischen Räumlichkeiten und sozialen Interaktionen berücksichtigt.

Die dieser Arbeit zugrundeliegende Idee ist die Visualisierung des Prozesses unter Einsatz von Multifoci-Ansichten, basierend auf Focus+Context-Techniken. Diese Art der Prozessvisualisierung bietet das Potenzial, das Problem des ständigen visuellen Umschaltens des Benutzers zwischen den verschiedenen Sichten zu mindern. Die Prozessvisualisierung wird im allgemeinen Sprachgebrauch oftmals mit der Benutzungsoberfläche gleichgesetzt, auch wenn dies genau genommen nicht zulässig ist. Im

Gegensatz zur reinen Visualisierung des Prozesses gilt die Benutzungsoberfläche als Sammelbegriff für alle wahrnehmbaren Komponenten einer Maschine zur Kommunikation mit ihrem Benutzer, welche alle Funktionen für das Bedienen und Beobachten des Prozesses bereitstellt [Hau00]. Ein Grund für die Gleichsetzung der Begriffe der Prozessvisualisierung und der Benutzungsoberfläche könnte in der Verwendung von Standards für fensterorientierte, vollgrafische Benutzungsoberflächen (engl. graphical user interface – GUI) liegen, welche die Bedienung im Vergleich zur Ausgabe hochdynamischer Prozessbilder als eigentliche Aufgabe der Prozessvisualisierung in den Hintergrund rückt [Lan94]. Besonders beim Einsatz von Focus+Context-Techniken stellt die Interaktion jedoch einen kritischen Faktor in Bezug auf die Qualität der Visualisierung dar, welcher untrennbar mit der Visualisierung verbunden ist. Die vorliegende Arbeit stellt aus diesem Grund sowohl die Erstellung geeigneter Prozessvisualisierungen als auch die Handhabung der Benutzungsoberfläche in den Mittelpunkt.

1.2 Aufbau

Beginnend mit Kapitel 2 wird zunächst die Entwicklung von den ersten Leitwarten in den 1950er Jahren bis heute umrissen, aus welcher einige Implikationen für eine zukünftige Generation von Leitwarten abgeleitet werden. Im Anschluss daran folgt eine Definition der konkreten Problemstellung. Hierzu wird die aktuelle Arbeitsumgebung eines Operators am Beispiel einer Verkehrsleitwarte beschrieben und hieraus bestehende Defizite aktueller Systeme abgeleitet sowie die Zielsetzung dieser Arbeit verdeutlicht.

In Kapitel 3 folgt ein Überblick über wissenschaftliche Beiträge, welche die Grundlage für diese Arbeit bilden. Hierbei wird zunächst das neue Interaktionsparadigma der Blended Interaction erläutert, welches die vier Gestaltungsebenen der persönlichen Interaktion, der sozialen Interaktion und Kommunikation, der Arbeitsabläufe sowie die Gestaltung der physischen Umgebung umfasst. Das entwickelte Visualisierungs- und Interaktionskonzept versucht in der Folge, jede dieser vier Ebenen zu berücksichtigen. Da die Entwicklung einer Prozessvisualisierung unter Einsatz einer Focus+Context-Technik einen der Kernpunkte dieser Arbeit darstellt, wird im Anschluss daran ein Überblick über verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten sogenannter Multiscale-Anwendungen gegeben und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Abgeschlossen wird Kapitel 3 mit einer Analyse der Nutzung von vertikalen und horizontalen Displays. Erkenntnisse aus diesem Forschungsgebiet sind für diese Arbeit relevant, da neue Konzepte die Stärken beziehungsweise Schwächen der unterschiedlichen Display-Ausrichtungen berücksichtigen sollten.

Kapitel 4 beginnt mit der Zuordnung der in Kapitel 2 identifizierten Probleme

moderner Leitwarten zu den vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction, um anschließend Optimierungspotenziale aufdecken zu können. Darauf folgt schließlich die Beschreibung des innerhalb dieser Arbeit entwickelten Visualisierungs- und Interaktionskonzeptes mit seinen unterschiedlichen Ausprägungen. Dieses Konzept erhebt den Anspruch generisch einsetzbar zu sein, das heißt es ist für den Einsatz in Leitwarten aus unterschiedlichen Domänen geeignet. Um die Vorteile des entwickelten Konzeptes deutlich zu machen, wird dieses im Rahmen dieser Arbeit entlang des konkreten Beispiels einer Verkehrsleitwarte verdeutlicht.

Im Anschluss daran folgt in Kapitel 5 eine Beschreibung der Implementierung des Prototyps. Hierfür wird zunächst ein Überblick über die zugrundeliegende Software-Infrastruktur gegeben. Einige Komponenten der prototypischen Umsetzung wurden nicht im Rahmen dieser Arbeit entwickelt, sind aber für das Verständnis der technischen Zusammenhänge hilfreich. Daraufhin folgen ein Überblick über den groben Aufbau des prototypischen Systems sowie eine detaillierte Beschreibung der für die Prozessvisualisierung entwickelten Algorithmen.

Das entwickelte Konzept wurde im Rahmen einer Expertenbeurteilung im Kontext einer Verkehrsleitwarte evaluiert. In Kapitel 6 werden zunächst der Ablauf der Expertenbeurteilung und die eingesetzten Erhebungsmethoden beschrieben. Darauf folgt eine detaillierte Betrachtung der durch die Expertenbeurteilung gewonnenen Erkenntnisse.

Abschließend wird in Kapitel 7 eine Diskussion der Erkenntnisse in Bezug auf die vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction vorgenommen sowie ein Ausblick auf Lösungsansätze für bestehende Probleme und Optimierungspotenziale gegeben.

Kapitel 2

Leitwarten als Designdomäne

Leitwarten, wie sie beispielsweise in der Energieerzeugung oder bei der Verkehrsüberwachung eingesetzt werden, sind technische Einrichtungen um Prozesse zu kontrollieren und zu steuern [HW05]. Sie bilden somit die Schnittstelle zwischen dem technischen Prozess und dem Operator. In nahezu allen Leitwarten ist es dabei erforderlich, große Datenmengen zu visualisieren [KSO02]. Diese Daten können dabei sehr unterschiedlich aufbereitet sein: Sie können in Form von grafischen Übersichten, Detailansichten oder textuellen Detailinformationen vorliegen. Innerhalb der Leitwarte übernehmen Operatoren durch ihre Tätigkeit die Rolle des Prozessführers [Her08]. Johannsen [Joh93] und Sheridan [She87] bezeichnen die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine auch als “supervisory control”. Das heißt, der Operator übernimmt die leitende Kontrolle im automatisierten System ein. Häufig handelt es sich bei Leitwarten um Mehrbenutzerumgebungen, in welchen mehrere Operatoren in komplexen Kooperations- und Kollaborationsstrukturen arbeiten [BHRD05].

Im Folgenden wird zunächst kurz die Entwicklung von den ersten Leitwarten in den 1950er Jahren bis heute erläutert, wobei hieraus einige Implikationen für eine zukünftige Generation von Leitwarten abgeleitet werden (siehe hierzu auch [SHB⁺11]). Im Anschluss daran wird die konkrete Problemstellung beleuchtet, welche in den folgenden Kapiteln betrachtet wird. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die Prozessvisualisierung sowie die Interaktion mit dieser geworfen. Hierzu wird die aktuelle Arbeitsumgebung eines Operators am Beispiel einer Verkehrsleitwarte beschrieben und hieraus bestehende Defizite aktueller Systeme abgeleitet sowie die Zielsetzung dieser Arbeit verdeutlicht.

2.1 Evolution der Leitwarten

Mit dem Eintreten der industriellen Revolution und der weitläufigen Etablierung von Produktionsprozessen wurde die gezielte parallele oder sequentielle Steuerung von mehreren technischen Geräten ein zentrales Thema. Dabei zeichnete sich die

Prozessführung lange Zeit als Innovationstreiber im Bereich der Interaktion zwischen Mensch und Maschine aus. In den Anfängen der Prozessführung zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts wurden einzelne Maschinen von Operatoren direkt vor Ort bedient (siehe Abbildung 2.1, links). Zu finden waren die am Prozess beteiligten Anlagen in verschiedenen Bereichen einer Produktionshalle oder in verschiedenen Gebäuden. Somit waren viele unterschiedliche Personen für die Bedienung der Anlagen und den damit verbundenen Teilprozessen verantwortlich.

Mit der Einführung von Steuerschränken ab den Dreißigern des zwanzigsten Jahrhunderts wurde der erste Schritt weg von der dezentralen Prozesssteuerung hin zu einer zentralen Prozesssteuerung vollzogen. Zu Beginn der zentralen Prozesssteuerung bildete jeder Steuerschrank die Bedienhandlungen einer Maschine beziehungsweise eines Prozessabschnitts ab. Statt einer direkten Bedienung der Anlagen vor Ort, konnten sie mit den Möglichkeiten eines Steuerschranks „ferngesteuert“ werden. In den 50er Jahren wurde schließlich die Interaktion zwischen Mensch und Maschine an einem Ort zentralisiert. Diese Einrichtungen können als die ersten Leitzentralen angesehen werden. An diesem Ort konnte nun der Prozess als Ganzes gesteuert und beobachtet werden. Durch die stetig voranschreitende technische Entwicklung kristallisierten sich im Laufe der Zeit verschiedene Paradigmen für die Interaktion innerhalb der Leitzentralen heraus. Der Begriff Paradigma wird dabei in Anlehnung an Kuhn [Kuh70] definiert als übereinstimmendes und etabliertes Verständnis in der Art der Interaktion innerhalb der Leitzentralen mit einer definierten Bandbreite an Technologien. Paradigmen können sich über die Zeit oder durch neue, meist technische, Möglichkeiten verändern. Diese evolutionären oder revolutionären Veränderungen – auch Paradigmenwechsel genannt – enden wiederum in einem neuen Paradigma. Historisch gesehen lassen sich demzufolge für die in Leitzentralen eingesetzten Interaktionstechnologien zwei Paradigmen identifizieren ([SHB⁺11]): Die analoge Prozesssteuerung (siehe Abbildung 2.1, Mitte) und die digitale Prozesssteuerung (siehe Abbildung 2.1, rechts).

Paradigma 1: Zentrale, analoge Prozesssteuerung Das Erscheinungsbild der ersten Leitwarten war geprägt durch Wandtafeln mit elektromechanischen Anzeigegeräten, auf denen die durch Sensoren aufgenommenen Prozessinformationen dargestellt wurden [Rai84, Her96]. Entsprechend der technologischen Möglichkeiten wurde dabei pro Sensor ein Anzeigegerät verwendet, so dass die Prozessinformationen auf unterster Ebene vermittelt wurden. Abgeleitete Größen wie der Erfüllungsgrad von Prozesszielen oder situationsabhängige Sichten auf den Produktionsprozess konnten dem Operator nicht angeboten werden. Diese als ein-Sensor-eine-Anzeige-Philosophie (engl. single-sensor-single-indicator, SSSI) bekannte Art der Anzeige führt zu dem Problem einer sehr hohen Zahl an Anzeigen und Alarmen [Fla90]. Für die Manipulation von Prozessvariablen waren die ersten Leitzentralen mit analoger Schalttechnik, das

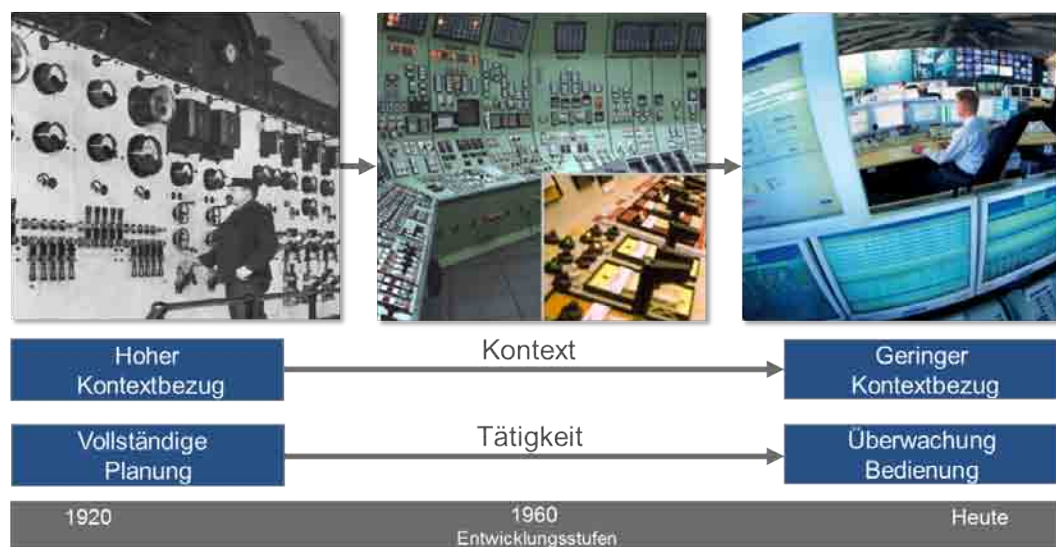


Abb. 2.1: Evolution der Prozesssteuerung: (links) Dezentrale Prozesssteuerung; (Mitte) analoge Prozesssteuerung; (rechts) digitale Prozesssteuerung. (auf Basis von Böhle et al. [BR92] und Kurz [Kur08], modifiziert durch Schwarz et al. [SHB⁺11])

heißt mit Knöpfen, Drehreglern, Kippschaltern etc., ausgestattet (siehe 2.1, Mitte). Ein einzelner Operator musste sich entlang der Bedieninstrumente bewegen um alle Prozessvariablen abdecken zu können. Diese Form der Interaktion hatte neben den Vorteilen einer expliziten Bedienhandlung (zum Beispiel spürbare und wechselnde Widerstände bei der Betätigung mechanischer Hebel oder Handrädern), den Vorteil einer impliziten, nonverbalen Kommunikation zwischen den Operatoren. Durch die statische Positionierung von Bedienelementen im Raum war sich ein Operator stets darüber bewusst, an welcher Stelle des Prozesses sein Kollege aktuell beschäftigt ist. Die voranschreitende Digitalisierung in den darauf folgenden Jahren eröffnete neue Möglichkeiten, welche einen Paradigmenwechsel in den Leitzentralen auslösten.

Paradigma 2: Zentrale, digitale Prozesssteuerung Das Bild der modernen Leitzentrale, welche in den Achtziger Jahren eingeführt wurde, ist von Computermonitoren bis hin zu Wandprojektionen geprägt [Gei96]. Der technische Fortschritt eröffnete den Operatoren einen völlig neuen Interaktionsraum mit vielfältigen neuen Möglichkeiten: Statt über mechanische Bedienelemente und analoge Anzeigen konnte der Prozess nun über Bildschirme beobachtet und gesteuert werden. Gerade durch digitale Prozessvisualisierungen konnte die Leistungsfähigkeit der Anlagen beträchtlich erhöht werden. So wird dem Operator mit Hilfe der Desktop-Metapher ein visueller Interaktionsraum (mit Fenster, Icons, Menüs oder Animationen) dargeboten. Die Darstellung der Objekte, wie beispielsweise eine detaillierte Visualisierung

einer Anlage im Kraftwerksbereich, sollte dabei den kognitiven Aufwand, welcher zur Überwachung des Prozesses nötig ist, reduzieren.

Mit der Veränderung der Leitzentralen einher geht eine fortschreitende Automatisierung. Das klassische Ziel der Automatisierung ist es, menschliche Kontroll-, Planungs- und Problemlösungstätigkeiten durch Automatisierungseinrichtungen und Computer zu ersetzen [Bai83], mit der Absicht eine Steigerung an Produktivität, Qualität und eine Senkung von Kosten und Umweltbelastungen zu erreichen. Die überwiegende Zeit regulieren automatisierte Regelkreise das System. Die Aufgabe des Operators besteht somit vorwiegend darin, den Zustand des Systems zu beobachten. Die früheren manuellen Regelungstätigkeiten der Operatoren sind durch Überwachungstätigkeiten verdrängt worden [SINH98], wodurch sich die Aufgaben auf eine höhere und kognitiv anspruchsvollere konzeptuelle Ebene verlagerten.

Während die Digitalisierung bis dato ungeahnte Verarbeitungs- und Darstellungsmöglichkeiten hervorbrachte, sind bei der Gestaltung jener Systeme die kognitiven, physischen und sozialen Fähigkeiten des Operators nicht ausreichend bedacht worden. So werden Maus und Tastatur bis heute als vorherrschende indirekte Eingabemodalität zwischen Operator und Prozess genutzt [SKOR10]. Bei der Übernahme dieses etablierten Konzepts wird jedoch außer Acht gelassen, dass diese Form der Interaktion gerade für kollaborative Szenarien, wie beispielsweise anormale Betriebszustände, nicht optimal geeignet ist. Des Weiteren verschwanden mit den Veränderungen in den Leitzentralen immer mehr Informationsquellen für den Operator. So zum Beispiel der sich ändernde Widerstand eines Drehreglers oder auch die Position eines Kollegen im Raum, welche Aufschluss über dessen aktuelle Tätigkeit gab. Dieses Informationsdefizit muss durch die Gestaltung der Prozessvisualisierung beziehungsweise eine geeignete Interaktionstechnik ausgeglichen werden. Die Prozessvisualisierung hat jetzt einen tieferen Einblick in das Prozessgeschehen zu geben, sie muss als transparentes Fenster fungieren, das dem Operator wieder eine Vertrautheit zum Prozess ermöglicht.

Implikationen für die Gestaltung einer Leitzentrale der Zukunft Die zuvor beschriebenen Paradigmen zur Interaktion in Leitzentralen zeigen die Vor- und Nachteile der jeweiligen Interaktionsform auf [SHB⁺11]. Auf Basis dieser Erkenntnisse können neue Wege für die persönliche aber auch soziale Interaktion zwischen den Operatoren geschaffen werden. So hat sich der Kontextbezug über die Jahre hinweg sehr stark verändert. Die Rolle der Operatoren veränderte sich aufgrund der Automatisierung von einem Bediener hin zu einem reinen Überwacher [ZZ04]. Die technologische Weiterentwicklung treibt die qualitative und quantitative Ausnutzung der industriellen Prozesse weiter voran. Dabei steigen die Anforderungen durch den verstärkten Einsatz der Automatisierung an. Bainbridge [Bai83] spricht in diesem Zusammenhang von der Ironie der Automatisierung. Das heißt die Automatisierung soll einerseits Fehler

vermeiden, ist aber gleichzeitig die Ursache neuer Fehler. Der Operator wird daran gehindert, sich ein mentales Modell des Systems beziehungsweise des Prozesses zu bilden, da die Systeme Routineaufgaben automatisch ausführen.

Jacob et al. [JGH⁺08] beschreiben passend dazu in ihrem Modell Power vs. Reality wie gegensätzlich sich die Mensch-Maschine-Schnittstelle entwickelte. So bildet die Dimension "Power" die Rechenleistungen und digitale Funktionsvielfalt der Mensch-Maschine-Schnittstelle ab, wohingegen die Dimension "Reality" das physische bzw. realweltliche im Sinne von Greifen oder Berühren (wie beispielsweise der Schalter in einer Anlage) beschreibt. Einer groben Einteilung von Schwarz et al. [SHB⁺11] zufolge können die Evolutionsschritte der Leitzentralen innerhalb dieses Modells wie in Abbildung 2.2 zu sehen eingeordnet werden. Eine Betrachtung des früher vorherrschenden Paradigmas der Interaktion in Leitzentralen führt zu dem Schluss, dass durch die physischen Artefakte wie Drehregler, Schalter oder Knöpfe einige Vorteile bestanden, die in der heutigen Prozesssteuerung verloren gingen. Zum einen besteht keine Möglichkeit des direkten „Fühlens“ des Prozesses mehr, zum anderen bestand eine gleichberechtigte (demokratisierte) Form der sozialen Interaktion, die heute nicht mehr so implizit gegeben ist. So konnten früher mehrere Operatoren beispielsweise bei anormalen Betriebszuständen gleichzeitig mit verschiedenen Bedienelementen direkt interagieren. Soziale Konventionen, wie das Besprechen von Abläufen, fanden dadurch unmittelbar Berücksichtigung [SHB⁺11]. Jedoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass mit dem Einzug moderner Computertechnologie gerade im Bereich der Prozessvisualisierung enorme Vorteile entstanden sind. So können komplexe Prozesszusammenhänge unter Berücksichtigung der heute zur Verfügung stehenden Medien (z. B. Animation, Grafik (Visualisierungstechniken), Text etc.) und deren spezifischen Eigenschaften dargestellt werden.

2.2 Problemstellung

Innerhalb eines Leitstandes übernehmen die Operatoren die leitende Kontrolle im automatisierten System. Die Primäraufgaben eines Operators umfassen dabei in nahezu allen Leitwarten das Überwachen des Prozesses, die Diagnose eines Prozesszustandes, sowie die Manipulation von Prozessvariablen [Joh93]. Neben diesen Primäraufgaben müssen Operatoren auch unterschiedlichste Sekundäraufgaben bearbeiten. Hierzu gehören zum Beispiel das Führen eines Schichtbuches, oder die Schichtübergabe. Im Folgenden wird der Fokus auf die Primäraufgaben eines Operators gelegt.

In einer domänenübergreifenden Nutzungskontextanalyse von Schwarz et al. [SKOR10] zeigte sich, dass die Operatoren durch heutige Systeme bei der Erfüllung der Primäraufgaben nicht ausreichend unterstützt werden. Um die Probleme zu verdeutlichen, wird im Folgenden zunächst aufgezeigt, welche Eigenschaften die in Leitwarten zu

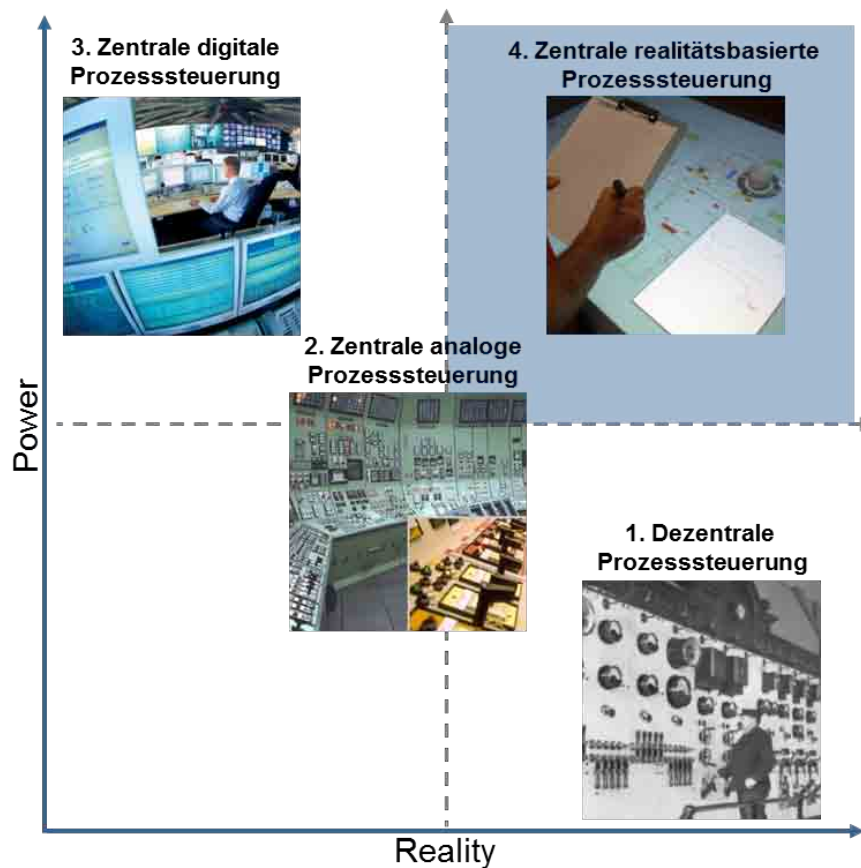


Abb. 2.2: Power vs. Reality Tradeoff in der Prozesssteuerung [SHB⁺11]

überwachenden Prozesse aufweisen und wie die Prozessvisualisierungen in heutigen Leitwarten gestaltet sind. Anschließend wird die Unterstützung der Operatoren bei der Erfüllung der Primäraufgaben durch heutige Systeme detailliert beschrieben und dabei die Defizite dieser Systeme aufgedeckt.

2.2.1 Prozessvisualisierung

Ein zentrales Element in Leitwarten ist die Prozessvisualisierung. Unter dem Begriff Prozessvisualisierung ist allgemein das „Sichtbarmachen“ eines meist technischen Prozesses zu verstehen. Präziser lässt sich die Visualisierung als Überführung von Daten, Sachverhalten, Zusammenhängen und anderen für die Führung von Prozessen notwendigen Informationen, welche ursprünglich nicht bildlich vorliegen, in eine meist grafische Darstellung definieren [Cha94]. Mit Hilfe einer Prozessvisualisierung sollen Informationen übersichtlich, einprägsam und leicht aufnehmbar dargestellt und verborgene Informationen sichtbar gemacht werden. Das heißt die Hauptaufgabe der Prozessvisualisierung besteht darin, den betrachteten Prozess hinsichtlich seines

Zustands für den Operator transparent einsichtig und damit steuerbar zu machen [Joh93]. Somit dient die Prozessvisualisierung als Hilfsmittel, um den Prozess zu beobachten, zu führen und ihn möglichst in seinem Sollzustand zu halten bzw. in diesen zurück zu führen. Charwat [Cha94] bezeichnet die Prozessvisualisierung aus diesen Gründen auch als „Fenster zum Prozess“ (siehe Abbildung 2.3). Mit der steigenden Automatisierung und der damit verbundenen wachsenden Anzahl an Informationen nimmt die Bedeutung der Prozessvisualisierung zu. Eine Aufbereitung dieser Informationen in einer Form, welche der Operator schneller und zuverlässiger aufnehmen und interpretieren kann, führt zu einer wirtschaftlicheren Arbeitsweise in Bezug auf die Leistungsfähigkeit des Operators. Somit ist ein Operator in der Lage, seine Arbeit aufmerksamer, ermüdungs- und stressfreier zu verrichten [Joh86].

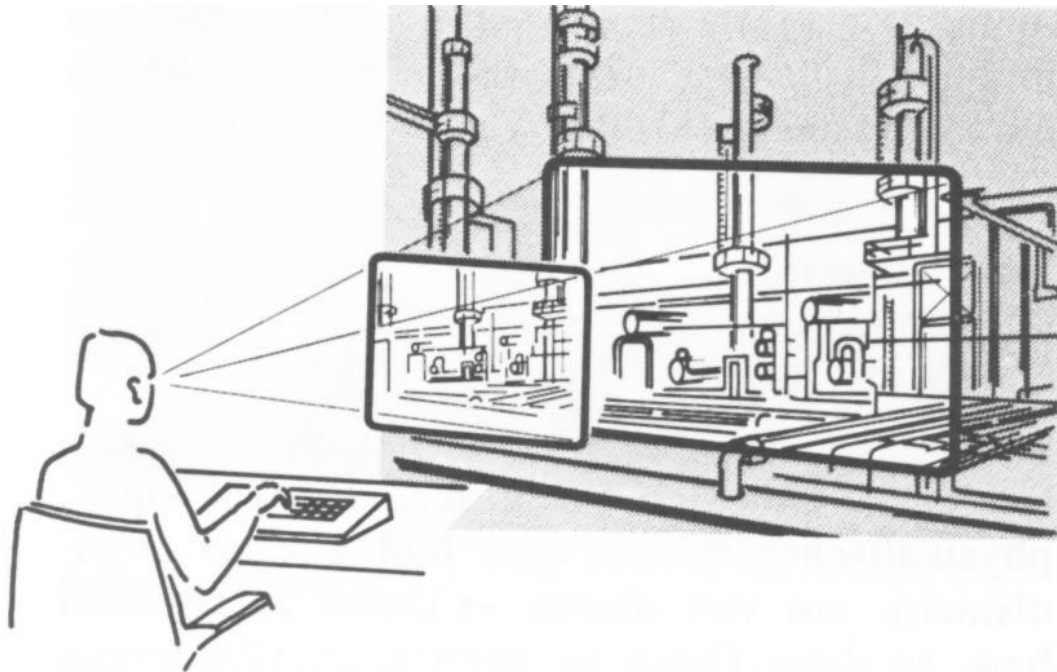


Abb. 2.3: Fenster zum Prozess [Cha98]

Wie die im Rahmen des Forschungsprojektes “HolisticWorkspace” durchgeführte Nutzungskontextanalyse zeigt weist der zu überwachende beziehungsweise zu steuernde Prozess meist eine netzwerkartige Struktur auf, wie zum Beispiel Straßen-, Strom- und Wasserversorgungsnetze. Die am weitesten verbreiteten Visualisierungskonzepte zur Darstellung solcher Prozesse basieren auf einer topologischen Darstellung entsprechend der VDI/VDE-Richtlinie 3695 [VDI98] beziehungsweise der neuen VDI/VDE-Richtlinie 3699 [VDI99]. Die Topologie beschreibt dabei sowohl die Lage als auch die Anordnung von Objekten im Raum, es werden also die geometrischen Wechselbeziehungen vermittelt, ohne dass ein genaues Abbild der Objekte dargestellt werden muss [Cha94]. Die Prozesse werden in Form von schematischen Visualisierun-

gen, welche Zusammenhänge im Prozess erkennen lassen und den Stoff-, Energie- und Informationstransport innerhalb des Prozesses verdeutlichen, dargestellt. Durch die Integration von Anzeigeobjekten wird der aktuelle Prozesszustand anhand von unterschiedlichen Prozessvariablen angezeigt. Die zu vermittelnden Prozessinformationen beziehungsweise Prozessvariablen umfassen sowohl vom Operator direkt manipulierbare Werte als auch aktuelle Messwerte, die zumeist entsprechend den physikalischen Systemkomponenten strukturiert sind. In kritischen oder ungewöhnlichen Situationen birgt die Masse der zumeist ungefiltert dargestellten, sich schnell ändernden Informationen die Gefahr der Überfrachtung des Operators mit Informationen, was zu einer kognitiven Überbeanspruchung führen kann [SPT85]. Durch die Komplexität des Überwachungsraums und die Vielzahl der nötigen Informationen sollten die Prozessvariablen nur bei Bedarf angezeigt werden (engl. *details on demand*). Ein dauerhaftes Visualisieren aller Informationen würde zu einer Informationsüberflutung (engl. *information overload*) führen [TS04]. Dies bedeutet, dass der Anwender die dargebotenen Informationen nicht mehr vollständig verarbeiten kann, da zu viele Informationen gleichzeitig auf dem Bildschirm angezeigt werden. Informationen können somit vom Benutzer übersehen, irrtümlich als irrelevant wahrgenommen oder als störend empfunden werden [TS04].

Prozessvisualisierungen werden aktuell hauptsächlich auf zwei unterschiedlichen Displayebenen (siehe Abbildung 2.4) eingesetzt: Zum einen als Übersicht über den Prozess auf großen von den Operatoren gemeinsam genutzten Wanddisplays (*Public Space*) und zum anderen als Visualisierungen zum Abrufen von Detailinformationen zu einem Prozessabschnitt auf kleineren Displays direkt am Arbeitsplatz der Operatoren (*Private Space*). Somit handelt es sich bei der in Leitwarten dominierenden Anwendungsart um eine Variante des *Overview+Detail*-Entwurfsmusters. Dieses Entwurfsmuster ist in aktuellen Leitstandssystemen in einer Mehrmonitor-Umgebung realisiert, das heißt die verschiedenen Sichten auf die gleiche Menge von Informationen werden auf getrennte Displays verteilt. Die Einteilung in diese zwei Ebenen wird durchgeführt, da die Komplexität der meisten Prozesse, das heißt die Größe, die Struktur sowie die zahlreichen Prozessvariablen, es nicht zulassen, den gesamten Überwachungsbereich mit allen für den Operator relevanten Informationen gleichzeitig auf einem Display darzustellen. Baudisch et al. [BGS01] nennen als Hauptnachteil des *Overview+Detail*-Entwurfsmusters, dass die verschiedenen, voneinander abhängigen Sichten räumlich voneinander getrennt sind. Dies bedeutet, dass ein ständiges visuelles Umschalten des Benutzers zwischen den verschiedenen Sichten notwendig ist, was den Benutzer jedes Mal zusätzlich Zeit kostet und eine erhöhte mentale Beanspruchung nach sich zieht.

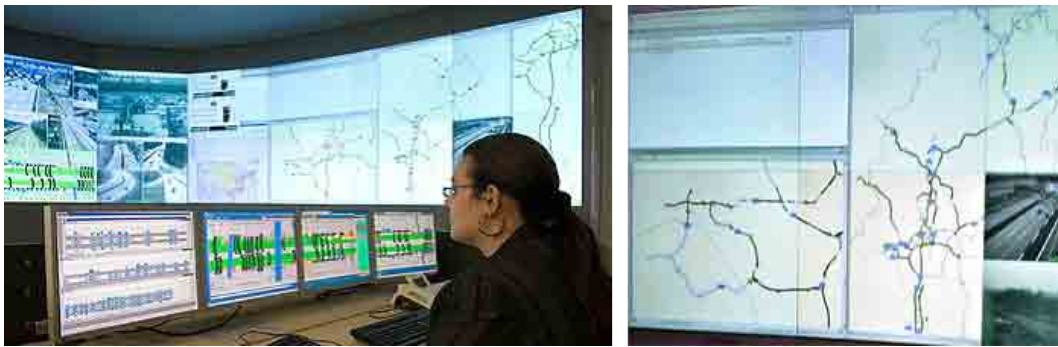


Abb. 2.4: Verkehrsleitzentrale Hessen [Hes]

2.2.2 Aufgaben der Operatoren

Im Folgenden wird zunächst ein generischer Überblick über Primäraufgaben eines Operator in einer Leitzentrale gegeben. Das heißt die Aufgaben werden domänenübergreifend betrachtet. Im Anschluss daran werden diese Aufgaben am konkreten Beispiel einer Verkehrsleitzentrale nochmals verdeutlicht.

Innerhalb der Nutzungskontextanalyse von Schwarz et al. [SKOR10] zeigte sich, dass die derzeitigen Arbeitsumgebungen die Operatoren bei der Erfüllung ihrer Primäraufgaben nicht ausreichend unterstützen. Eines der identifizierten Probleme basiert auf dem Übersichts-Detail-Paradoxon: Operatoren benötigen bei der täglichen Arbeit sowohl eine Übersicht über den gesamten Überwachungsraum als auch Detailinformationen zu einzelnen Prozessausschnitten. Dabei sind Detailinformationen besonders für den Arbeitsschritt der Diagnose erforderlich. Das Problem des Übersichts-Detail-Paradoxons kann noch deutlicher gemacht werden, wenn die Arbeitsabläufe eines Operators genauer betrachtet werden. Für die Überwachung eines Prozesses ist es zunächst nötig, einen Überblick über den gesamten Prozess zu erlangen, um so Änderungen in der Prozessdynamik unmittelbar wahrnehmen zu können. Wird eine Änderung bzw. Störung im Prozess identifiziert, so muss diese diagnostiziert werden, das heißt die Ursache der Störung ermittelt werden. Für die Diagnose der Problemursache werden zusätzliche kontextsensitive Prozessvariablen zum betroffenen Objekt sowie zu benachbarten Objekten benötigt. Wurde die Ursache der Veränderung in der Prozessdynamik diagnostiziert, versucht der Operator das Gleichgewicht des Prozesses durch eine Manipulation der Prozessvariablen wieder herzustellen. Um einen Prozess im Gleichgewicht zu halten, ist durch die zunehmende Komplexität eine ständige Koordination der Operatoren während der Erfüllung dieser Aufgaben unerlässlich. So muss zum Beispiel eine Abstimmung erfolgen, welcher Operator auf ein eintretendes Ereignis reagiert.

Eine detaillierte Beschreibung dieses Ablaufs wird von Rasmussen [Ras84, Ras86] mit seinem Modell der sequentiellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse

des Menschen geliefert (siehe auch [Joh93]). Das Modell beschreibt Aktivitäten, welche bei Kontroll und Problemlösetätigkeiten hintereinander durchlaufen werden. Zusätzlich zu den Tätigkeiten der Informationsverarbeitung werden die zugehörigen Zustände des Wissens, die sich als Resultat aus den Informationsverarbeitungstätigkeiten ergeben, beschrieben. Abbildung 2.5 stellt das Modell mit den Elementen und den Beziehungen zwischen den Elementen in Form eines Leiterdiagramms dar. Dabei wurde das Modell auf die Domäne der Verkehrsleitzentralen angewandt. Der Operator durchläuft dieses Modell bei seinen Kontroll- und Problemlösetätigkeiten beginnend mit der Aktivierung, die gleichbedeutend mit der Entdeckung eines Handlungsbedarfs ist (siehe Abbildung 2.5, links unten), je nach seinem Kenntnis- und Erfahrungsstand bis zur Spitze. Dort angelangt wird über eine wissensbasierte Analyse der Situation eine Bewertung vorgenommen, aufgrund derer die wissensbasierte Planung der Handlungen vorgenommen wird. Das Modell endet in der Ausführung der Handlungen (siehe Abbildung 2.5, rechts unten). Es ist durchaus möglich, aufgrund von bereits vorhandenen Erfahrungen regelbasierte Abkürzungen innerhalb des Modells zu nehmen. Das heißt es können auch nur Teilstücke des Modells durchlaufen werden, wenn sich Regeln aus bereits erfolgreich gelösten Aufgabensituationen ableiten lassen.

Um dieses Vorgehen zu veranschaulichen, werden im Folgenden die Kernaufgaben eines Operators am Beispiel einer Verkehrsleitwarte verdeutlicht (siehe auch Abbildung 2.5). Die Kernaufgaben werden anhand des Modell der sequentiellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen [Ras84] beschrieben. Hierzu wurde das Modell in Abbildung 2.5 mit Beispielen aus einer Verkehrsleitwarte ergänzt. In Verkehrsleitwarten entspricht der zu überwachende Prozess dem Verkehrsfluss auf einem Straßennetz eines bestimmten Verkehrsraumes. Die netzwerkartige Struktur des Prozesses besteht somit aus dem Straßennetz dieses Gebiets. Die Prozessvariablen umfassen unter anderem das Verkehrsaufkommen auf einzelnen Fahrbahnen, Kamerabilder zu Streckenabschnitten oder dynamisch veränderbare Straßenschilder (Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA), siehe Abbildung 2.6). Die beschriebenen Prozessvariablen sind hierbei lediglich als ein beispielhafter Auszug zu verstehen. Die folgenden Betrachtungen fokussieren sich jedoch auf diese elementaren Informationen.

Wie im Modell von Rasmussen beschrieben, entdeckt der Operator einen Handlungsbedarf, zum Beispiel über eine Veränderung in der Prozessvisualisierung oder durch einen Telefonanruf (siehe Aktivierung in Abbildung 2.5). Bei heutigen Systemen in Verkehrsleitwarten wird das zu überwachende Straßennetz meist auf einem großen vertikalen Wanddisplay abgebildet, wobei der Überwachungsraum auf Grund des zu hohen Platzbedarfs nicht vollständig dargestellt werden kann. Das Wanddisplay wird dabei als öffentliches Display genutzt, um ein einheitliches Verständnis des Prozesses über alle Operatoren hinweg zu erreichen. Um alle Bereiche des Überwachungsraums einsehen zu können, wird dieser häufig in kleinere Segmente unterteilt

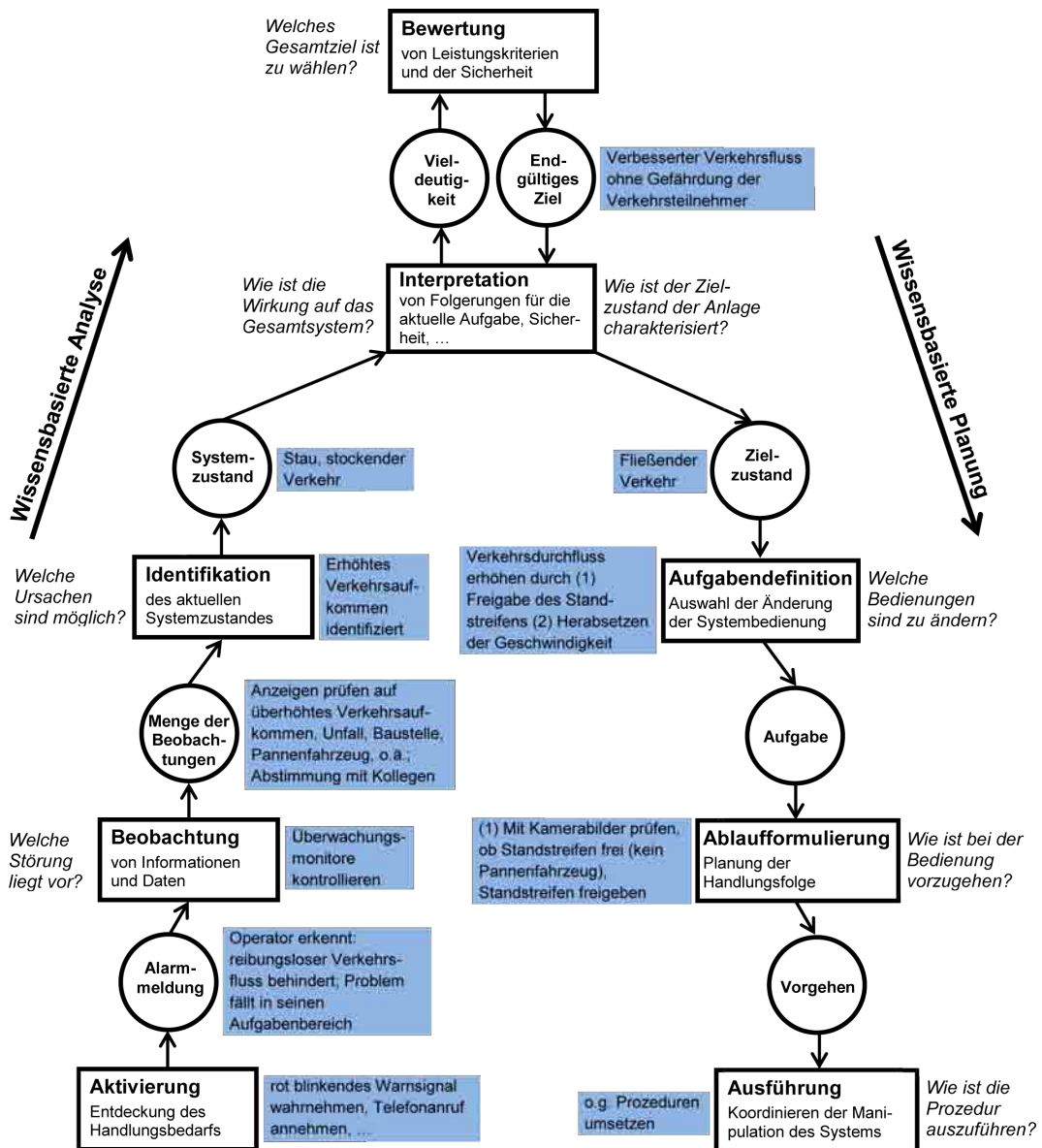


Abb. 2.5: Schematische Darstellung der sequenziellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen als Leiterdiagramm, in Anlehnung an Rasmussen [Ras84] und mit Beispielen aus einer Verkehrsleitwarte ergänzt.

(siehe Abbildung 2.4). Innerhalb dieser Segmente ist ein Verschieben des sichtbaren Ausschnitts des Straßennetzes über Scroll-Balken möglich. Das Verkehrsaufkommen wird über eine farbliche Kodierung der Straßen dargestellt. Eine grüne Einfärbung eines Streckenabschnitts signalisiert ein geringes Verkehrsaufkommen, eine gelbe Färbung steht für ein mittleres Verkehrsaufkommen, eine rote Einfärbung hingegen signalisiert einen Stau auf dem entsprechenden Abschnitt (siehe Beobachtung in Abbildung 2.5). Diese Informationen werden für den gesamten Streckenabschnitt aggregiert dargestellt, das heißt eine rote Einfärbung eines Streckenabschnittes gibt

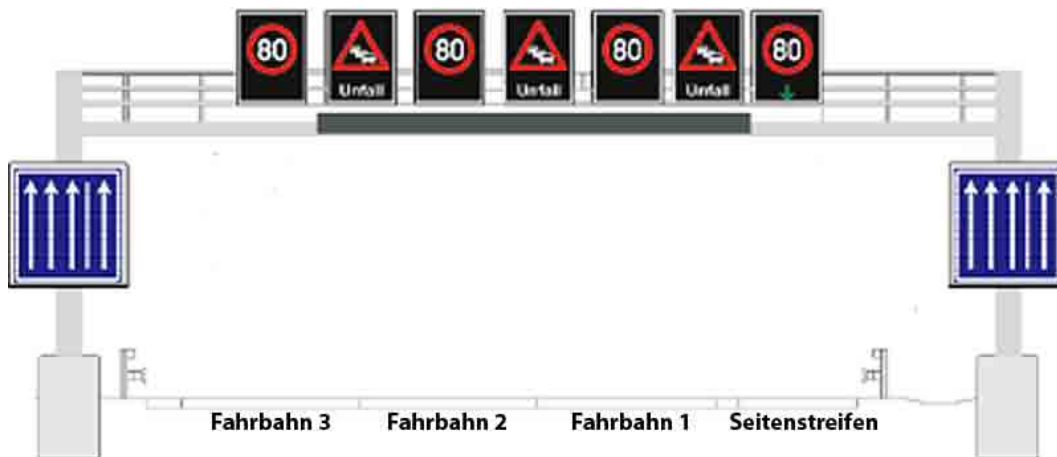


Abb. 2.6: Verkehrsbeeinflussungsanlage [Str]

zum Beispiel keinen Aufschluss darüber, in welcher Fahrtrichtung sich ein Stau gebildet hat. Wurde eine solche Veränderung in der Prozessvisualisierung entdeckt muss der Operator die entsprechenden Prozessvariablen abrufen, um herauszufinden, worin die Ursache für diese Veränderung liegt (siehe Identifikation in Abbildung 2.5). Das Abrufen der Prozessvariablen geschieht häufig über ein sequentielles Durchschalten der einzelnen Streckenabschnitte auf der Detaildarstellung des Private Space, das heißt auf den Displays direkt an den Arbeitsplätzen der Operatoren. Eine Verbindung zum Public Space, also dem gemeinsam genutzten Wanddisplay, besteht derzeit nicht. Wurde die Ursache des Staus mit Hilfe der Prozessvariablen diagnostiziert, kann eine entsprechende Steuerung des Verkehrsflusses durch den Operator eingeleitet werden. In diesem Beispiel wird angenommen, dass lediglich das Verkehrsaufkommen zugenommen hat und kein Unfall oder Pannenfahrzeug Ursache des Staus ist. Ziel des Operators ist es nun, den Stau so schnell wie möglich zu beseitigen, das heißt den Sollzustand des Prozesses wiederherzustellen. Um dieses Ziel zu erreichen, stehen unterschiedliche Handlungsalternativen zur Manipulation der Prozessvariablen zur Verfügung (siehe Aufgabendefinition in Abbildung 2.5). In dem hier beschriebenen Fall kann zum Beispiel über Verkehrsbeeinflussungsanlagen die Geschwindigkeit in den Streckenabschnitten vor dem Stau herabgesetzt werden, um so das Auftreffen von weiteren Fahrzeugen auf das Stauende hinaus zu zögern. In der gewonnenen Zeit kann sich der Stau langsam auflösen. Eine andere Handlungsalternative ist die Freigabe des Standstreifens, um so einen höheren Verkehrsdurchfluss zu erreichen. Dabei muss jedoch zunächst mit Hilfe der Kamerabilder entlang der Strecke überprüft werden, ob der Standstreifen frei ist, das heißt sich kein Pannenfahrzeug auf diesem befindet. Hierzu muss der Operator über einen Zahlencode die entsprechende Kamera auswählen und mit Hilfe einer Art Joystick die Kamera über den Streckenabschnitt schwenken. Anschließend wird wiederum über einen Zahlencode

die nächste auf der Strecke verfügbare Kamera ausgewählt. Das heißt der Operator muss die entsprechende ID einer Kamera kennen, um diese auswählen zu können. Wurde kein Pannenfahrzeug auf dem Standstreifen entdeckt, kann dieser über die Verkehrsbeeinflussungsanlage freigegeben werden (siehe Ablaufformulierung und Ausführung in Abbildung 2.5). Dieser Arbeitsablauf ist dabei eingebettet in eine komplexen Kooperations- und Kollaborationsstruktur [BHRD05], das heißt, dass sich die Operatoren ständig abstimmen, um Fehlbedienungen zu vermeiden und die Effizienz zu erhöhen.

Die innerhalb des Forschungsprojektes “HolisticWorkspace” durchgeführte Nutzungskontextanalyse zeigt, dass die geschilderten Sachverhalte und besonders das Problem des Übersicht-Detail-Paradoxons auch auf andere Domänen als Verkehrsleitzentralen zutreffen, wie beispielsweise in Leitwarten für die Überwachung von Kraftwerken, oder in der Energieverteilung. Die Probleme mit heutigen Arbeitsumgebungen von Operatoren bestehen somit domänenübergreifend. So werden aufgrund der begrenzten Fläche des Wanddisplays häufig mehrere Ausschnitte des gesamten Überwachungsraums mit einem geringeren Detailgrad dargestellt. Eine Prozessvisualisierung auf einem Wanddisplay im Kontext der Energieerzeugung ist in Abbildung 2.7 zu sehen. Durch diese getrennte Darstellung von Prozessausschnitten wird die Bildung eines mentalen Modells über den gesamten Informationsraum für die Operatoren erheblich erschwert. Die Manipulation des sichtbaren Bereichs eines Prozessausschnittes ist dabei wenn überhaupt lediglich über ein vertikales/horizontales Scrollen möglich, wodurch der Navigationsprozess in künstliche Teilschritte zerlegt wird. Nach Aussagen der Operatoren liegt die größte Problematik jedoch im Verlust der Übersicht über den gesamten Überwachungsraum. Des Weiteren sind Änderungen in der Prozessdynamik in aktuell nicht sichtbaren Bereichen für den Operator nicht zu erfassen. Wird eine Auffälligkeit im Prozess mit Hilfe eines der Prozessausschnitte auf dem Wanddisplay identifiziert, müssen die für die Diagnose benötigten Detailinformationen in einem erneuten Arbeitsschritt auf dem Private Display sequentiell abgerufen werden. Eine Synchronisation der beiden Displayebenen besteht dabei nicht. Darüber hinaus findet die Darstellung der Detailinformationen völlig getrennt von ihrem Kontext statt. Eine solche räumliche Trennung der Informationen hat einen ständigen Blickwechsel zur Folge, was zu einer geteilten Aufmerksamkeit führt [CKB08].

2.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die in diesem Kapitel aufgezeigten Defizite heutiger Systeme für die Überwachung von Prozessen zu adressieren. Hierzu soll ein holistischer Ansatz verfolgt werden. Das heißt es steht nicht nur ein einzelner Arbeitsplatz mit einem Anwender im Fokus der Betrachtung, sondern die Leitwarte muss als eine

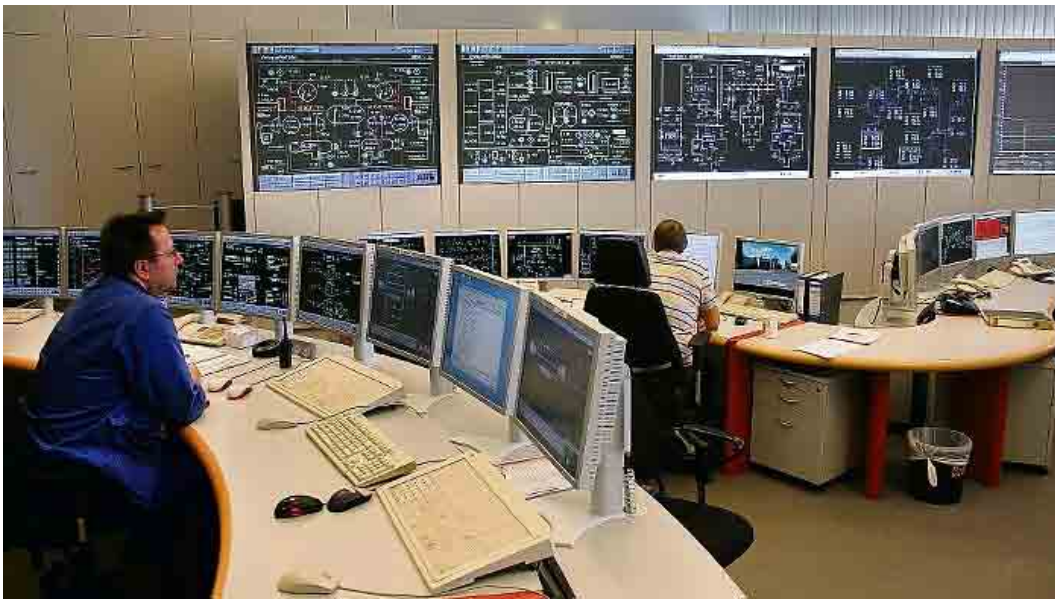


Abb. 2.7: Leitwarte eines Heizkraftwerks mit Visualisierungen von Prozessausschnitten auf dem Wanddisplay [Gri]

Mehrmonitor- und Mehrbenutzerumgebung verstanden werden, für die mittels einer Umgestaltung eine umfassende Verbesserung erreicht werden soll.

Dazu müssen insbesondere die folgenden Aspekte Beachtung finden: Ein zentrales Werkzeug zur Überwachung von Prozessen stellt die Prozessvisualisierung dar, wobei die Operatoren heute häufig mit dem Übersichts-Detail-Paradoxon konfrontiert werden. Eine Prozessvisualisierung eines neuen Systems zur Prozessüberwachung und Steuerung sollte dieses Problem adressieren, indem Detailinformationen wie Prozessvariablen in den Kontext integriert werden. Die Operatoren können die Kontextinformationen dazu nutzen, sich zu orientieren und die Detailinformationen zu interpretieren. Ein Tunnelblick (Verlust der peripheren Informationen) kann zu einer schwerwiegenden Orientierungslosigkeit führen [BPV96]. Durch eine nahtlose Integration von Prozessvariablen und Kontext könnten demzufolge die negativen Effekte einer geteilten Aufmerksamkeit beseitigt oder zumindest abgeschwächt werden. Um eine Informationsüberflutung zu vermeiden, sollten diese jedoch nur bei Bedarf dargestellt werden. Wichtig ist es dabei zu berücksichtigen, dass häufig mehrere Operatoren gleichzeitig mit einer Prozessvisualisierung arbeiten. Ziel eines neuen Konzeptes ist es, innerhalb der Mehrbenutzerumgebung einer Leitwarte jedem Operator die Möglichkeit zu geben, lokale Details abrufen zu können, ohne dabei den Kontext zu verlieren. Entscheidend für den Erfolg eines neuen Konzeptes ist weiter die Berücksichtigung der Primäraufgaben eines Operators. Das heißt es muss sowohl die Überwachung des Prozesses, die Diagnose einer Problemursache, als auch die Manipulation von Prozessvariablen unterstützt werden. Zusätzlich wird versucht, verlorengangene

Stärken aus den Anfängen der Prozesssteuerung zurück zu gewinnen. Im Speziellen heißt dies, dass besonders die nonverbale Koordination zwischen den Operatoren durch geeignete Interaktions- und Visualisierungstechniken gefördert werden sollte, wobei durch den Einsatz neuer Interaktionstechniken auch ein direkteres Erfühlen des Prozesses ermöglicht werden kann.

Innerhalb von Tabelle 2.1 werden die beschriebenen Lösungsansätze zu den geschilderten Problemen zusammengefasst.

Tab. 2.1: Zielsetzung

| | |
|---|---|
| Vermeiden des Übersicht-Detail- Paradoxons | <ul style="list-style-type: none"> • Übersicht über den gesamten Prozess • Details on Demand • Integration von Kontext und Detailinformationen • Unterstützung einer Mehrbenutzerumgebung |
| Unterstützung des Arbeitsablaufes | <ul style="list-style-type: none"> • Überwachen des gesamten Prozesses • Diagnose einer Problemursache • Manipulation von Prozessvariablen |
| Berücksichtigung alter Stärken | <ul style="list-style-type: none"> • Förderung der nonverbalen Koordination • Direkteres Fühlen des Prozesses |

Kapitel 3

Stand der Forschung

Innerhalb dieses Kapitels wird zunächst der theoretische Hintergrund des neuen Interaktionsparadigmas der Blended Interaction erläutert und dieses Paradigma anschließend vorgestellt. Bei der Entwicklung des Visualisierungs- und Interaktionskonzeptes wurde darauf geachtet, die vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction zu berücksichtigen. Im zweiten Teil dieses Kapitels werden Techniken und Konzepte vorgestellt, um das in Kapitel 2 erläuterte Problem des Übersicht-Detail-Paradoxons der Prozessvisualisierung zu mindern beziehungsweise zu lösen. Die unter dem Begriff der Multiscale-Anwendungen bekannten Ansätze ermöglichen es, auf einer begrenzten Darstellungsfläche ausreichend detaillierte Informationen anzuzeigen, ohne dass der Überblick über die Gesamtsituation verloren geht. Zum Abschluss des Kapitels wird ein Überblick über aktuelle Forschungsergebnisse zur Ausrichtung von Displays (horizontal/vertikal) gegeben. Erkenntnisse aus diesem Forschungsgebiet sind für den Kontext von Leitwarten relevant, da neue Konzepte die Stärken beziehungsweise Schwächen der unterschiedlichen Display-Ausrichtungen berücksichtigen sollten. Jedes der drei innerhalb dieses Kapitels behandelten Unterkapitel wird mit der Implikation der Arbeiten aus diesem Bereich für das intendierte Visualisierungs- und Interaktionskonzept für Leitzentralen, abgeschlossen.

3.1 Neue Formen der Interaktion

Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) stellt heute das dominante Interaktionsparadigma dar. Durch neue Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft als auch die Vision des Ubiquitous Computing [Wei91] sowie der Augmented Reality [WMG93] wird dieses Interaktionsparadigma jedoch immer mehr hinterfragt. Ein mögliches neues Interaktionsparadigma stellt dabei die Blended Interaction [JGSR12] dar. Die Blended Interaction folgt der Annahme, dass für Realisierung einer natürlichen computergestützten Zusammenarbeit in interaktiven Räumen (engl. interactive spaces), ein holistisches Verständnis von der persönlichen Interaktion, der soziale Interaktion, den Arbeitsabläufen sowie der physische Umgebung vorhanden sein muss. All diese

Bereiche müssen bei der Entwicklung neuer Konzepte Berücksichtigung finden. Interaktive Räume im Sinne der Blended Interaction sind Umgebung basierend auf der Vision des Ubiquitous Computing, für die computergestützte Kollaboration, welche bestehende kognitive, physische und soziale Fähigkeiten von Benutzern oder Gruppen von Benutzern nutzen und fördern.

Im Folgenden Kapitel wird zunächst der theoretische Hintergrund der Blended Interaction erläutert. Hierbei spielen sowohl die Embodied Cognition, das Ubiquitous Computing, das Tangible Computing, das Social Computing sowie die Reality-Based Interaction eine entscheidende Rolle. Im Anschluss an einen Überblick über die Erkenntnisse aus diesen Forschungsgebieten wird die Blended Interaction mit ihren vier Gestaltungsebenen beleuchtet.

3.1.1 Embodied Cognition

Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft bestätigen, dass eine enge Verbindung zwischen Denkprozessen, der Wahrnehmung und körperlichen sowie sozialen Handlungen besteht [Dou01]. Diese als Embodied Cognition bezeichnete Sichtweise ist dabei sowohl für die geistige Entwicklung als auch für unser Alltagsverhalten sehr bedeutsam. Dourish [Dou01] folgert für das Design von interaktiven Systemen, dass der Mensch mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten, seinem Kontext und seinem sozialen Umfeld zu betrachten ist. Dieser von Dourish [Dou01] als Embodied Interaction bezeichnete Ansatz münzt somit die Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft auf die Mensch-Computer Interaction.

Ein Ansatz um den Forderungen der Embodied Interaction zumindest teilweise gerecht zu werden, stellt die Multimodal Interaction dar [Ovi08]. Grundlage des Ansatzes der multimodalen Interaktion ist ein Modell des Arbeitsgedächtnisses, welches von funktionell trennbaren Komponenten ausgeht. Jede dieser Komponenten ist auf die Verarbeitung von Informationen einer bestimmten Sinnesmodalität spezialisiert (z.B. der "auditory loop" für akustische Informationen). Diese Komponenten können dabei parallel aktiv sein, ohne sich gegenseitig die limitierten Verarbeitungsressourcen des Arbeitsgedächtnisses streitig zu machen. In diesem Modell entspricht die vollständige Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ungefähr der Summe der Kapazitäten der einzelnen Komponenten. Neueste neurowissenschaftliche Erkenntnisse unterstützen verstärkt dieses Modell des Arbeitsgedächtnisses [SSR⁺04]. Wenn nun eine Komponente überfüllt sein sollte, so könnten theoretisch andere - noch nicht ausgelastete - Komponenten genutzt werden, um parallel mehr Informationen zu verarbeiten. Durch die gleichzeitige Inanspruchnahme verschiedener Komponenten des Arbeitsgedächtnisses kann somit die Verarbeitungskapazität gesteigert werden. Dafür ist es aber notwendig, die entsprechenden Informationen über eine andere Sinnesmodalität zu vermitteln. Dies wird als multimodale Interaktion verstanden und

bietet ein großes Potenzial für neue Mensch-Maschine-Schnittstellen, die sich an die Arbeitsbelastung des Benutzers anpassen können. Zusätzlich zu der schon erwähnten bestmöglichen Kapazitätsausnutzung lässt sich durch eine multimodale Interaktion auch die Reaktionsfähigkeit von Benutzern erheblich erhöhen und eine umfassendere Verarbeitungstiefe der Informationen erreichen [SSR⁺04]. Neben der Spracheingabe stellen zum Beispiel auch berührungsempfindliche Displays sowie die Manipulation von Realweltobjekten in Kombination mit digitalen Displays eine Möglichkeit dar, eine multimodale Interaktion zu realisieren. Diese Form der Interaktion wird auch als Tangible Computing bezeichnet.

3.1.2 Ubiquitous Computing

Das Ubiquitous Computing steht für die von Weiser [Wei91] entwickelte Vision des Computers des 21. Jahrhunderts. Das Ubiquitous Computing basiert auf der Annahme, dass der traditionelle PC als dominierendes Medium der Mensch-Computer Interaktion an Bedeutung verliert und in Zukunft von einer Vielzahl von vernetzten, kontextsensitiven interaktiven Geräten mit ganz unterschiedlichen Formfaktoren ersetzt wird. Das Ziel des Ubiquitous Computing ist es, diese computergestützten Artefakte und Interfaces in die Umwelt zu integrieren und die Technologie somit für den Anwender unsichtbar zu machen. Obwohl diese Vision sehr technologie getrieben ist, erläuterten Abowd und Mynatt [AM00] in ihrer Reflexion der Entwicklung des Ubiquitous Computing das berücksichtigt werden muss, dass Menschen sprechen, gestikulieren und Schreibutensilien nutzen, um mit anderen Menschen zu kommunizieren oder physische Artefakte zu verändern. Diese natürlichen Aktionen können und sollen als explizite oder implizite Eingaben für sogenannte UbiComp-Systeme eingesetzt werden. Implizit ist daher in der Vision des Ubiquitous Computing die Annahme enthalten, dass sich die Interaktion zwischen dem Menschen und dem Computer an der Art und Weise orientiert, wie wir in der realen Welt mit Dingen und Menschen interagieren.

3.1.3 Tangible Computing

Mit dem Aufkommen der Graspable [FIB95] beziehungsweise Tangible User Interfaces (TUIs) [IU97] am Ende des 20. Jahrhunderts entstand eine Form der Interaktion als ein wichtiges Mittel, um sowohl die Vision des Ubiquitous Computing zu adressieren, das heißt Rechenleistung in die physische Welt zu integrieren als auch dem Ansatz der Multimodel Interaction gerecht zu werden. Mit dem Tangible Computing sowie dem Ubiquitous Computing entstand ein zur Virtualisierung gegenläufiger Trend. Das heißt die reale, materielle Welt wird nicht ersetzt, sondern bereichert und erweitert. Sie bleibt Ausgangspunkt und integraler Bestandteil, erweitert um digitale Eigenschaften. Das heißt die gewohnten Umgangsformen mit Artefakten bleiben

erhalten, zugleich wird aber die Möglichkeit geschaffen, diese mit neuen Funktionen zu versehen. Der Begriff *Tangible User Interface* wurde 1997 durch Ischii [IU97] geprägt. Ischii bemerkte, dass der Mensch eine zwiegespaltene Interaktion mit dem Computer führt. In der bisher vorrangigen GUI-Metapher werden die Augen und Ohren des Menschen zu "windows to digital worlds", während der Körper und damit auch der Sinn des Fühlens in der Realität bei Maus und Tastatur hängen bleibt. Das heißt ungeachtet dessen, ob Texte geschrieben, gemalt, dreidimensionale Gegenstände entworfen, Statistiken berechnet oder einen Hochofen gewartet werden, wird dies mit immer den gleichen Bewegungen, das heißt dem Bedienen der Maus und Tastatur, durchgeführt. Verloren geht dabei die Vielfältigkeit der Alltagswelt, der Reichtum an Umgangsmustern mit der realen Welt sowie die körperliche, alle Sinne mit einbeziehende Interaktion mit Gegenständen. Ullmer und Ischii [UI00] schlagen daher vor, digitale Informationen durch physische Objekte zu repräsentieren, sodass auf diese Weise digitale Informationen durch Interaktion mit den materiellen Repräsentationen manipuliert werden können. Die dadurch erreichte Aufhebung der Trennung von (digitalem) Datenraum und (physischem) Körperraum erlaubt eine natürlichere Art der Interaktion. Ishii [Ish08] formulierte später präziser, dass TUIs digitalen Information eine tangible Repräsentation bereitstellen, die durch eine intangible Repräsentation ergänzt wird. Die Balance materieller und digitaler Repräsentationen ist dabei sehr wichtig, wobei die Integration von physischen Objekten sowohl die Nutzung der körperlichen Affordanz als auch eine verteilte (und nicht sequentielle) Interaktion ermöglicht.

3.1.4 Social Computing

Neben der Körperlichkeit spielt beim Embodiment auch die soziale Kommunikation eine wichtige Rolle. Das heißt neben der Körperlichkeit, die zum Beispiel beim *Tangible Computing* berücksichtigt wird, müssen auch die sozialen Komponenten, die aus zwischenmenschlicher Kommunikation und Interaktion resultieren, in die Betrachtungen mit einbezogen werden. Diese Form der Interaktion wird unter dem Begriff *Social Computing* in der Forschung geführt und trägt vor allem dem Umstand Rechnung, dass heute vielfach Aufgaben oder Probleme in Gruppen gelöst werden, wie es beispielsweise auch innerhalb von Leitzentralen der Fall ist. So kann das *Social Computing* als ein Versuch verstanden werden, das soziologische Verständnis der Welt in interaktive Systeme zu übertragen. Eine Betrachtung über den traditionellen *Single-User-Arbeitsplatz* hinaus, das heißt das Einbeziehen von anderen Menschen und ihren Aktivitäten, kann dabei helfen, die Interaktion zu verbessern [Dou01].

3.1.5 Reality-Based Interaction

Die Erkenntnisse aus der Kognitionspsychologie, der Multimodal Interaction sowie des Tangible [IU97] und Social Computing werden zu einem neuen Paradigma unter dem Begriff Reality-Based Interaction (RBI) [JGH⁺08] zusammengefasst. Ziel der Reality-Based Interaction ist es, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine an der realen Welt zu orientieren. Somit können gelernte und evolutionsbedingte Charakteristiken des Menschen genutzt werden, um Interaktion begreifbarer zu gestalten. Innerhalb der RBI kann zwischen zwei Klassen unterschieden werden: die Interaktion in der realen Welt (in the real world) und die Interaktion wie in der realen Welt (like the real world). Die erste Klasse konzentriert sich auf computergestützte physische Artefakte. Die zweite Klasse umfasst den Transfer von Wissen aus der realen Welt in die virtuelle Welt. Jacob et al. [JGH⁺08] entwickelten vier Leitprinzipien zur Gestaltung einer realitätsbasierten Interaktion, welche sehr eng mit der Embodied Cognition zusammenhängen (siehe Abbildung 3.1):

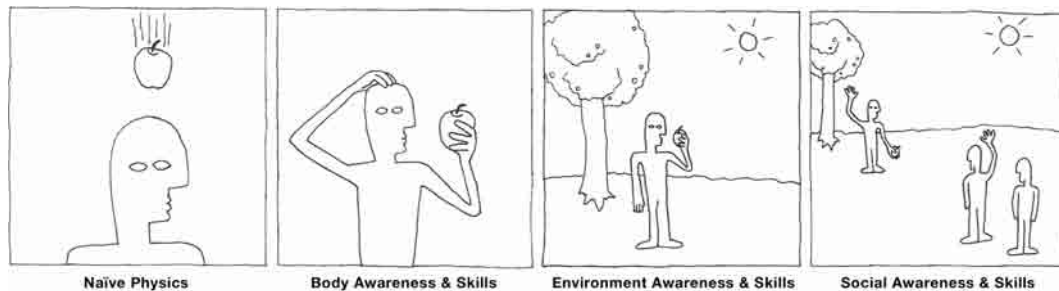


Abb. 3.1: Die vier Leitprinzipien der RBI [JGH⁺08]

- **Naive Physics:** Naive Physics steht für die untrainierte menschliche Wahrnehmung von grundlegenden physikalischen Phänomenen. Bereits in einem sehr jungen Alter sammeln Kinder Wissen über ihre physische Umgebung. Konkret umfasst Naive Physics zum Beispiel grundlegende Kenntnisse über Schwerkraft, Reibung oder Geschwindigkeit. Im Sinne der Reality-Based Interaction sollte dieses Alltagsverständnis der Menschen über physikalische Gegebenheiten beim Entwurf von interaktiven Systemen berücksichtigt werden. Ein Beispiel für die Adressierung des Leitprinzips der Naive Physics sind TUIs, die durch den Einsatz von physischen Beschränkungen dieses Alltagsverständnis beachten [JGH⁺08].
- **Body Awareness & Skills:** Dieses Leitprinzip steht für das Körperbewusstsein und die körperlichen Fähigkeiten der Menschen. Das Körperbewusstsein bezieht sich auf die Vertrautheit und das Verständnis, welches die Menschen über ihren eigenen Körper haben - unabhängig von der Umwelt. Das heißt dass

die Menschen ein Bewusstsein für ihre physischen Körper (zum Beispiel die relative Position der Gliedmaßen, die Beweglichkeit oder die Sinne) und deren Koordination besitzen. Mit dieser Idee im Hinterkopf können Interaktionsdesigner eine viel größere Vielfalt von Eingabemodalitäten einsetzen. Es zeichnet sich ein Trend ab, bei welchem Schnittstellen eine zunehmend breitere Palette an Eingabetechniken auf der Basis dieser Fähigkeiten unterstützen, so zum Beispiel die zweihändige Interaktion oder auch die Interaktion unter Einsatz des gesamten Körpers (zum Beispiel eine Gestensteuerung mittels der Microsoft Kinect).

- **Environmental Awareness & Skills:** Das Leitprinzip postuliert die Berücksichtigung des räumlichen Bewusstseins und der räumlichen Fähigkeiten der Menschen. In der realen Welt haben die Menschen eine physische Präsenz in ihrer räumlichen Umgebung, wobei sie von Objekten und der Szene umgeben werden. Hinweise, die in der natürlichen Umgebung eingebettet sind, erleichtern unsere Orientierung und verbessern das räumliche Verständnis. Zum Beispiel wird durch den Horizont ein Gefühl für Richtungen vermittelt, während atmosphärische Farben, Nebel, Licht und Schatten Tiefenhinweise bieten [BKLP04]. Menschen entwickeln viele Fähigkeiten, um innerhalb ihrer Umwelt zu navigieren und diese zu verändern. Jacob et al. [JGH⁺08] schlagen vor, diese menschlichen Fähigkeiten für rechnerbasierte Artefakte zu nutzen. So kann zum Beispiel die Position und Blickrichtung des Anwenders ermittelt werden und Informationen abhängig davon im physischen Raum angezeigt werden [BBE⁺02, BSK⁺05]. Zusätzlich entwickeln die Menschen Fähigkeiten, um Objekte in ihrer Umwelt zu manipulieren, wie beispielsweise das Aufnehmen, Positionieren, Ändern und Anordnen von Objekten. Neue Interaktionsformen nutzen diese Fähigkeiten der Objektmanipulation. Zum Beispiel kann bei TUIs ein Objekt ausgewählt werden, indem es der Nutzer greift. Einige dieser Objekt-Manipulationen beziehen sich auch auf die Leitprinzipien der Naiven Physics sowie der Body Awareness & Skills. Des Weiteren können Techniken für die Informationsvisualisierung dabei helfen die hochentwickelte menschliche visuelle Wahrnehmung und Mustererkennung besser auszuschöpfen, um so eine flüssigere und effizientere Interaktion mit großen Datenmengen zu ermöglichen [EMJ⁺11].
- **Social Awareness & Skills:** Dieses Leitprinzip steht für die Berücksichtigung des sozialen Verhaltens und der sozialen Fähigkeiten der Interaktion und Kommunikation der Menschen. Menschen sind sich in der Regel über die Anwesenheit anderer Menschen bewusst und entwickeln Fähigkeiten für die soziale Interaktion. Dazu gehören die verbale und nonverbale Kommunikation, die Fähigkeit zum Austausch von physischen Objekten und die Fähigkeit, mit anderen

gemeinsam an einer Aufgabe zu arbeiten. Laut Jacob et al. [JGH⁺08] bieten zum Beispiel TUIs vielversprechende Eigenschaften, um die Zusammenarbeit zu fördern.

3.1.6 Blended Interaction

Die auf den Erkenntnissen der zuvor vorgestellten Forschungsgebiete basierende Blended Interaction kann als ein mögliches neues, auf die grafischen Benutzungsoberflächen folgendes, Interaktionsparadigma angesehen werden [Arba]. Diese neue Entwicklungsstufe in der Evolution der Mensch-Computer Interaktion ist dabei von dem Ziel geprägt, die Interaktion mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Endgeräten im Sinne des Ubiquitous Computing an den Prinzipien der Reality-Based Interaction zu orientieren [Arba]. Im Gegensatz zur Reality-Based Interaction wird innerhalb der Blended Interaction die Realität als dynamisch angesehen. So wenden Benutzer nicht nur gelernte Konzepte aus der realen, nicht-digitalen Welt an, sondern auch Konzepte, welche sie bei der Nutzung vertrauter digitaler Technologien erlernt haben. Der menschliche Verstand kann sowohl realweltliche, als auch digitale Konzepte verinnerlichen und damit ist die "Realität" auf der eine realitätbasierte Interaktion basiert, nicht statisch, sondern verändert sich über die Zeit [JGSR12].

Im Sinne der Blended Interaction interagieren die Benutzer allein oder in Teams an gleichen oder unterschiedlichen Orten und wechseln dabei nahtlos zwischen realweltlicher und computergestützter Interaktion und Kommunikation. Die Blended Interaction basiert auf vier Gestaltungsebenen (siehe Abbildung 3.2), welche im Folgenden genauer beschrieben werden:

- **Persönliche Interaktion:** Im Bereich der persönlichen Interaktion sollten die ersten drei Leitprinzipien der Reality-Based Interaction (Naive Physics, Body Awareness & Skills und Environmental Awareness & Skills) beachtet werden. Durch das Anknüpfen an die Alltagserfahrungen bezüglich der Interaktion mit Objekten der realen Welt kann eine möglichst intuitive Bedienung erreicht werden. Theoretisch kommen hier vor allem die neuen Erkenntnisse aus dem Bereich der Kognitionspsychologie (Embodied Cognition) zum Tragen. Technologisch gesehen sind innerhalb der Gestaltungsebene der persönlichen Interaktion zum Beispiel Erkenntnisse aus den Bereichen Tangible Computing beziehungsweise Ubiquitous Computing sowie der multimodalen Interaktion zu beachten.
- **Soziale Interaktion & Kommunikation:** Innerhalb der Gestaltungsebene der sozialen Interaktion & Kommunikation sollte vor allem das vierte Leitprinzip der Reality-Based Interaction (Social Awareness & Skills) berücksichtigt werden. Beispielsweise kann die soziale Kommunikation durch Multitouch-Systeme

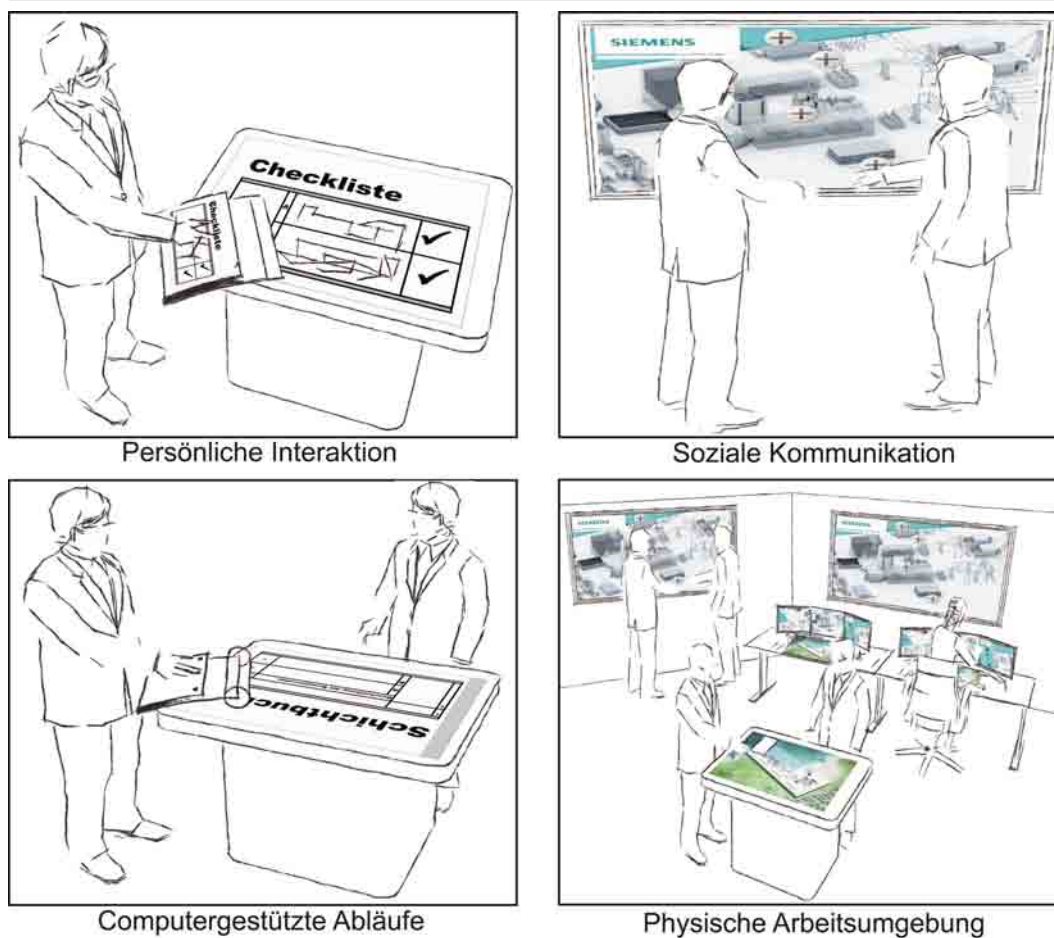


Abb. 3.2: Die vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction [SOR11]

unterstützt werden. Der Einsatz der Systeme ermöglicht eine gleichberechtigte, das heißt demokratisierte, Form der Kommunikation, da mehrere Benutzer gleichzeitig interagieren können und somit soziale Konventionen unmittelbare Berücksichtigung finden. Sowohl theoretisch als auch technologisch kann im Bereich der sozialen Interaktion & Kommunikation auf die umfassenden Vorarbeiten aus dem Bereich der Computer Supported Cooperative Work (CSCW) zurückgegriffen werden.

- **Reale und computergestützte Abläufe (Geschäftsprozesse):** Im Rahmen der computergestützten Abläufe geht es um die Gestaltung der organisatorischen Einbettung von Abläufen in umfassende Prozesse sowie deren Unterstützung durch Informationstechnologie. Moderne Organisationsstrukturen sind davon gekennzeichnet, dass unterschiedliche Arbeitsprozesse nahtlos aneinander anknüpfen (zum Beispiel ständiger Wechsel von Gruppen- und Einzelarbeit, fließender Übergang vom Arbeiten mit realen Objekten wie Papier zu virtuellen Systemen). Dabei sollte die Organisationsgestaltung an die

Abläufe des Mitarbeiters angepasst sein. So wird beispielsweise in komplexen Prozessen meist nicht nur individuell, sondern verstärkt in Teams gearbeitet. Beispielsweise können durch den Einsatz digitaler Möglichkeiten, wie der Digital Pen & Paper Technologie, Schichtprotokolle angefertigt werden, die direkt von Teamkollegen betrachtet werden können und in welchen per Suchfunktion gesucht werden kann. Theoretisch und technologisch kann auch hier auf die umfassenden Vorarbeiten aus dem Bereich der Computer Supported Cooperative Work aufgebaut werden.

- **Gestaltung der physischen Umgebung:** Die Gestaltung der physischen Umgebung umfasst die Anpassung der Architektur im weitesten Sinne und wird auch als Digital Ground bezeichnet [McC04]. Dabei werden Möbel, Räume, Gebäude sowie öffentliche Räume und Städte an neue Formen der Interaktion und Kommunikation angepasst. Dies geschieht zum Beispiel durch das Einbeziehen von Tischen, Stühlen, Wänden, Böden, Decken aber auch von Ton und Licht in die Gestaltung der Interaktion. Das heißt auch, dass Ein- und Ausgabemedien optimal an die räumlichen Gegebenheiten angepasst werden (zum Beispiel durch gebogene Displays).

In Bezug auf Leitzentralen besteht die besondere Herausforderung und der vom Standpunkt des Operators entscheidende Vorteil im sinnvollen Ineinandergreifen der erprobten Möglichkeiten der realen Welt und den digitalen Äquivalenten. In Anbetracht dessen ist es notwendig, einen aufeinander abgestimmten holistischen Ansatz für einen Operatorenarbeitsplatz im Sinne der Blended Interaction zu gestalten, der sowohl die technische Infrastruktur (Benutzungsoberfläche, Eingabe-, Ausgabe-, Kommunikationsgeräte), die Arbeitsabläufe als auch die physischen Räumlichkeiten und sozialen Interaktionen sowie Kommunikation berücksichtigt [SHB⁺11]. Interaktionskonzepte sind nur dann in der Lage eine neue Qualität der Interaktion zu bieten, wenn all diese Bereiche gleichzeitig und gleichgewichtig in die Gestaltung der Interaktion mit einbezogen werden.

3.2 Multiscale-Anwendungen

Prozessvisualisierungen in Leitzentralen haben zum Ziel, viele Informationen auf einer begrenzten Fläche geeignet und übersichtlich darzustellen. Dabei ist es wichtig, den Zugang zu Detailwissen und Übersichtswissen möglichst einfach zu gestalten. Generell gibt es zwei Grundprobleme bei der Präsentation von Daten in einem beschränkten Raum: Das Platzproblem und die Informationsüberladung. Das zweite Problem entsteht dadurch, dass mehr Informationen visualisiert werden als die Aufnahmefähigkeit des Betrachters zulässt. Die Beschränktheit der Darstellungsfläche ist der Grund

dafür, dass die Fokussierung auf Details und der globale Kontext konkurrierende Ziele sind, welche auch als Übersicht-Detail-Paradoxon bezeichnet werden. Es muss daher ein Weg gefunden werden, Information im Kontext kompakter darzustellen als in der Fokus-Sicht. Im Folgenden werden unterschiedliche Techniken vorgestellt, die es ermöglichen, sowohl eine Übersicht über den gesamten Informationsraum zu erhalten als auch die Möglichkeit bieten, lokale Details zu betrachten. Diese als Multiscale-Anwendungen [FB95] bezeichneten Lösungen zur Visualisierung von großen Informationsräumen, die es dem Betrachter erlauben Informationsobjekte und umgebende Strukturen in verschiedenen Vergrößerungsstufen zu betrachten [FB95], können in drei Gruppen eingeteilt werden: Zooming, Overview+Detail und Focus+Context. Während bei Overview+Detail-Interfaces ein distinkter Bereich für die Darstellung der Detailinformationen genutzt wird, werden diese bei Zooming und Focus+Context-Interfaces in die Informationslandschaft integriert.

Multiscale-Anwendungen basieren alle auf der Definition eines Fokuspunkts, für welchen Details dargestellt werden sollen. Multifoci-Views können als eine Spezialform der Multiscale-Anwendungen gesehen werden, bei welchen mehr als ein Fokuspunkt definiert werden kann. Eine Multifoci-View ermöglicht es, lokale Details an mehr als einem Punkt gleichzeitig zu betrachten und ist somit auch für den Einsatz in einer Mehrbenutzerumgebung geeignet. Es ist Möglich sowohl Zooming-, Overview+Detail-, als auch Focus+Context-Interfaces als Multifoci-View auszulegen, wobei die einzelnen Technik jedoch unterschiedlich gut für diesen Zweck geeignet sind.

Im Folgenden werden zunächst grundlegende Techniken vorgestellt, um das Problem des Übersicht-Detail-Paradoxons zu lösen oder zumindest abzuschwächen. Im Anschluss daran folgt eine kurze Betrachtung einiger speziell für Leitwarten entwickelter Konzepte. Abschließend werden die Implikationen der vorgestellten Techniken für das in Kapitel 4 vorgestellte Visualisierungs- und Interaktionskonzept erläutert.

3.2.1 Temporale Trennung: Zooming

Beim Zooming wird die Visualisierung unterschiedlicher Detail- beziehungsweise Vergrößerungsstufen durch eine zeitliche Trennung realisiert. Für eine Änderung der Zoomstufe wird ein Punkt im Informationsraum festgelegt, welcher als Zentrum für eine anschließende Skalierungs-Operation fungiert. Um in der vergrößerten Ansicht Punkte außerhalb des sichtbaren Bereichs (auch als Viewport bezeichnet) betrachten zu können, wird das Zooming häufig mit dem Panning, also der Möglichkeit den Viewport zu verschieben, kombiniert. Eine schematische Darstellung einer kombinierten Zoom- und Pan-Operation ist in Abbildung 3.3 (links) zu sehen.

Ein Problem von Zooming Interfaces ist, dass das Bilden einer räumlichen Vorstellung über den Informationsraum erschwert wird, da sich abhängig von den gewählten

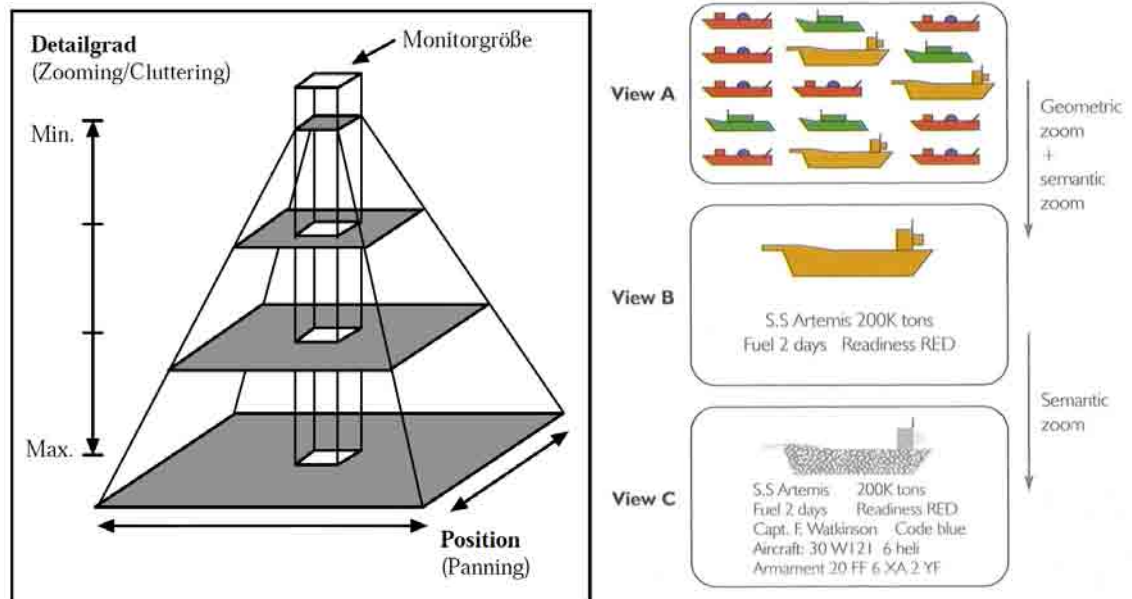


Abb. 3.3: (links) Space-Scale Digramm [AT92]; (rechts) Semantisches Zooming [Spe07]

Einstellungen für die Vergrößerung des Informationsraums und der Verschiebung des Viewports die Lage von Informationsobjekten im Raum ändert. Ein weiteres Problem bei Zooming Interfaces ist die zeitliche Trennung der unterschiedlichen Sichten auf den Informationsraum. Das heißt der Anwender muss sich zwischen der Darstellung von Details und der Betrachtung der Übersicht entscheiden. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird ein Zooming Interface häufig mit der Overview+Detail-Technik kombiniert. Problematisch beim Einsatz der Zooming Technik ist außerdem, dass die Interaktion sehr unökonomisch wird, wenn ein schnelles Umschalten zwischen verschiedenen Zoomstufen und/oder Detailansichten von geographisch weit auseinanderliegenden Punkten erforderlich ist. Hier muss eine Kette von Interaktionsschritten durchgeführt werden, um das gewünschte Ziel zu erreichen. Als mögliche Lösungsansätze erwähnen in diesem Zusammenhang Baudisch et al. [BGBS02] das Abspeichern und Wiederherstellen von Zoom- und Pan-Parametern sowie eine Umsetzung mit mehreren Fenstern, die verschiedene Ansichten darstellen. Eine Verbesserung der Situation kann auch durch das Parallelisieren von Zoom- und Pan-Operationen durch eine beidhändige Interaktion erreicht werden [BG02]. Im Gegensatz dazu verfolgen Igarashi et al. [IH00] einen eher automatisierten Ansatz. Beim Speed-dependent Automatic Zooming (SDAZ) wird eine automatische Kopplung der Zoom-Operation an die vom Nutzer ausgelöste Pan-Operation durchgeführt. Durch das automatische Verringern des Skalierungsfaktors beim schnellen Pannen oder Scrollen erhält der Anwender eine Übersicht über den Informationsraum. In Bezug auf die Überwachung

von Prozessen spielt vor allem das Konzept des semantischen Zoomings [PF93] eine große Rolle. Beim semantischen Zooming werden abhängig von der gewählten Zoomstufe Informationen in einem anderen Detailgrad dargestellt (siehe Abbildung 3.3, rechts). Durch dieses Vorgehen können die negativen Auswirkungen einer Informationsüberflutung vermieden werden. Für den Wechsel der semantischen Zoomstufen werden häufig Animationen verwendet, um es dem Anwender zu vereinfachen den pre- und post-Zoomstatus miteinander in Beziehung zu setzen.

Der Einsatz eines Zooming Interfaces ist jedoch auf einem Public Display in Mehrbenutzerumgebungen, wie zum Beispiel in Leitzentralen, problematisch. So müssen sich alle Anwender auf einen Bildausschnitt und eine Zoomstufe einigen. Eine gleichzeitige Betrachtung von mehreren auseinanderliegenden Regionen ist nicht möglich. Abhilfe hierbei schafft ein SplitScreen-Interface, welches die Möglichkeit bietet, ein Zooming Interface für den Einsatz als multifokale Sicht zu erweitern. Dabei wird der Bildschirm in zwei- oder mehr gleichwertige Bereiche aufgeteilt. Innerhalb dieser Bereiche können unabhängig voneinander Zoom- und Pan-Operationen ausgeführt werden. Der große Nachteil von SplitScreen-Interfaces liegt in der Eigenschaft, dass der gemeinsame interfokale Kontext verloren geht. Der Benutzer hat somit keine Information über Zusammenhang, Distanz und räumliche Orientierung zwischen den geteilten Bereichen.

3.2.2 Räumliche Trennung: Overview+Detail

Charakterisierend für ein Overview+Detail-Interface ist eine gleichzeitige Darstellung von sowohl einer Übersicht als auch der Detailinformationen jeweils in einem distinkten Präsentationsraum. Diese Art des Interfaces stellt dabei auch das vorherrschende Entwurfsmuster in Leitzentralen dar (siehe Abbildungen 2.4 und 2.7). Aufgrund der physischen Trennung der beiden Ansichten interagieren die Anwender mit den Ansichten separat. Aktionen, die in einer der beiden Ansichten durchgeführt werden, werden dabei jedoch meist an die andere Ansicht weitergereicht. Es existieren zahlreiche Ausprägungen von Overview+Detail-Interfaces. Einige dieser Systeme bieten dabei Möglichkeiten, um die Interaktion zu optimieren. Dazu gehören unter anderem das Ändern des Verhältnisses der Skalierung zwischen den beiden Ansichten oder die Anpassung der relativen Größe und Positionierung der Ansichten. Bei einer räumlichen Trennung der Visualisierungen tritt jedoch zwangsläufig das Problem auf, dass die unterschiedlichen Ansichten mental koordiniert werden müssen, was eine erhöhte Aufmerksamkeit erfordert. So ist ein ständiges visuelles Umschalten zwischen den beiden räumlich voneinander getrennten Bereichen notwendig, woraufhin sich der Nutzer innerhalb der jeweiligen Ansicht neu orientieren muss [BGS01]. Weiterführende Ergebnisse aus diesem Gebiet werden von Roberts [Rob07] vorgestellt.

Die meisten Techniken für die gleichzeitige Darstellung einer Übersicht und einer

Detailansicht nehmen eine Trennung auf der X- und Y-Achse vor, beziehungsweise verteilen die Ansichten auf unterschiedliche Displays. Eine weitere Möglichkeit ist es, diese Trennung in der Z-Koordinate vorzunehmen und somit die Detailansicht mit Hilfe eines Layers über die Übersicht zu legen. Meist wird dies über Linsen realisiert. Linsen stellen ein Konzept dar, bei dem ein digitaler Rahmen über dem Informationsraum platziert und verschoben werden kann. Unterschiedlichste Linsen wurden entwickelt, wobei alle Ansätze gemeinsam haben, dass die Linsen über der interessanten Region, also dem Fokusbereich, positioniert werden und eine transformierte Ansicht auf diesen bereitstellen. Obwohl solche Linsen den im folgenden Kapitel beschriebenen Techniken zur Integration der Detailinformationen in den Kontext ähneln, werden sie hier als Overview+Detail-Technik kategorisiert, da sie eine Trennung der Ansichten (auf der Z-Achse) vornehmen. Das DragMag-Verfahren [WL95], welches die interessante Region (siehe rotes Quadrat in Abbildung 3.4, links) und die Vergrößerung entkoppelt, ist eine relativ simple Methode eine Linse einzusetzen. Die Fokusregion kann dabei interaktiv verschoben werden, um verschiedene Bereiche zu vergrößern. Der Vorteil der Entkopplung ist, dass die direkte Umgebung des Fokusbereichs sichtbar bleibt und nicht durch die Vergrößerung überdeckt wird. Ein Problem hierbei ist der fehlende Übergang an den Grenzen zwischen Lupe und Kontext, so dass die Orientierung erschwert wird und es zu einer geteilten Aufmerksamkeit (engl. split attention) kommen kann.

Ein weiteres Beispiel für eine solche Separierung auf der Z-Achse sind MagicLenses [BSP⁺93]. MagicLenses sind in der Größe veränderbare, teilweise transparente Fenster, die normalerweise von der nicht-dominanten Hand des Benutzers gesteuert werden und eine transformierte Sicht auf die sich unter den Linsen befindlichen Objekten ermöglichen. So ist zum Beispiel auch eine fokussierte Betrachtung einzelner Attribute möglich, was einer semantischen Anreicherung ähnlich dem semantischen Zooming entspricht. Abbildung 3.4 (rechts) zeigt die Darstellung von zusätzlichen Informationen über das Londoner U-Bahnnetz innerhalb einer MagicLens.

3.2.3 Integration von Fokus und Kontext: Focus+Context

Die zuvor beschriebenen Methoden, um Fokus und Kontextinformationen darzustellen, separieren die beiden Ansichten entweder in der zeitlichen (Zooming) oder in der räumlichen (Overview+Detail) Dimension. Der Anwender muss diese Ansichten zunächst mental verbinden. Im Gegensatz dazu werden bei Focus+Context-Interfaces sowohl die Detail- als auch die Kontextinformationen in einer einzigen Ansicht integriert. Durch die Präsentation des Inhalts in einer einzigen kohärenten Ansicht versuchen Focus+Context-Interfaces das Kurzzeitgedächtnis zu entlasten, da die Verbindung von Fokus und Kontextinformationen erleichtert wird. Die meisten Ansätze beruhen dabei auf einer Verzerrung des Informationsraums. Bei Verzerrungstech-

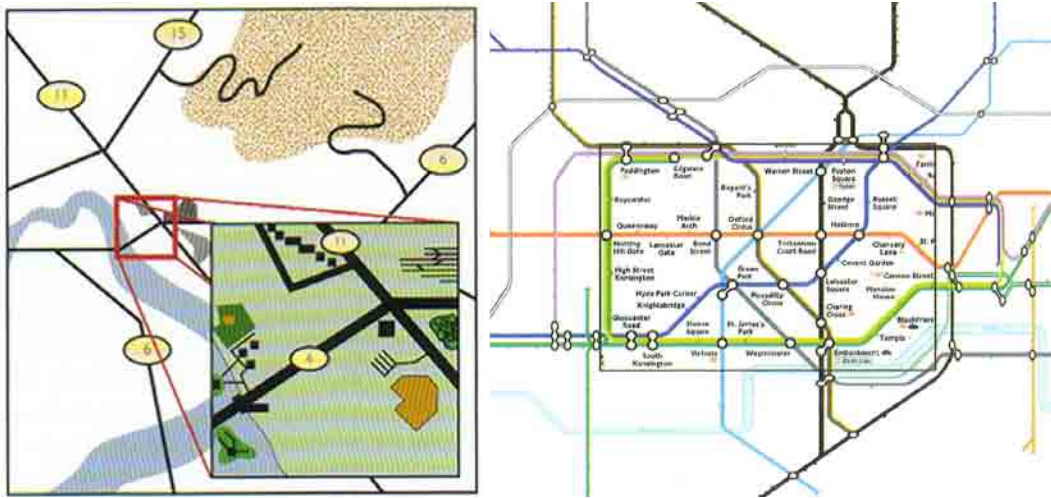


Abb. 3.4: (links) DragMag-Linse; (rechts) MagicLens zur Darstellung von zusätzlichen Informationen [Spe07]

niken werden die aus Sicht des Anwenders uninteressanten Bereiche verkleinert beziehungsweise die interessanten Bereiche vergrößert. Somit ermöglichen es Verzerrungstechniken dem Anwender, Details einzelner Gebiete zu untersuchen und gleichzeitig den globalen Überblick zu behalten. Die einfachste Form einer Verzerrungstechnik ist ein Vergrößerungsglas. Durch eine Vergrößerung von Teilbereichen benötigen diese jedoch mehr Platz, was zu einer Verdeckung von anderen Bereichen führt. Diese Bereiche befinden sich zwar nicht im Fokus des Anwenders und sind somit potenziell uninteressanter, jedoch für die Orientierung im Raum und den Erhalt des Kontextes dennoch essenziell. Dieses Problem kann durch eine sogenannte Fisheye-Verzerrung (siehe Abbildung 3.5, links) gelöst oder zumindest abgeschwächt werden [LA94]. Fisheye-Linsen ermöglichen es, Detailinformationen innerhalb ihres Kontextes darzustellen. Der Übergang vom vergrößerten Fokusbereich zu seinem Kontext wird dabei über einen weichen Verlauf zwischen den Regionen realisiert. Unterschiedliche Ansätze nutzen auch andere Verzerrungen als es bei klassischen Fisheye-Linsen der Fall ist. Zum Beispiel werden bei der *Mélange Space Folding* Technik [EHRF08] Teile des Informationsraumes in die dritte Dimension gefaltet. Sowohl die Fisheye-Linsen als auch die *Mélange Space Folding* Technik werden im Folgenden näher beschrieben.

Fisheye Das Konzept der Fisheye-Views wurde von Furnas [Fur86] entwickelt. Bei dieser Technik wird jedem Informationsobjekt ein Wert basierend auf seiner Wichtigkeit zugewiesen (a priori importance) sowie ein zweiter Wert, welcher auf der Distanz des Informationsobjekts zum aktuellen Fokuspunkt basiert. Über eine auf diesen Parametern basierende Funktion wird jedem Objekt ein Degree of Interest (DOI) zuge-

wiesen. Der DOI dient als Grenzwert dafür, ob eine Information dargestellt wird oder nicht. Somit können die wichtigeren Informationsobjekte detaillierter und die weniger wichtigen Informationsobjekte abstrahierter dargestellt werden. Sarkar und Brown [SB92] erweiterten dieses Konzept und entwickelten die mathematischen Grundlagen für die grafische Anwendung von Fisheye-Views. Über die Jahre wurden zahlreiche unterschiedliche Formen der grafischen Anwendung einer Fisheye-Verzerrung entwickelt. Zwei mögliche Verzerrungen für Fisheye-Linsen werden von Gutwin und Skopik [GS03] beschrieben. Die zwei entwickelten Fisheye-Transformationen sind in Abbildung 3.5 zu sehen. Das Round Lens Fisheye (siehe Abbildung 3.5, Mitte) nutzt dabei eine halbkugelförmige Verzerrung. Die von der Verzerrung betroffene Region ist in einem dunkleren Grau dargestellt, um dem Anwender die Verzerrung des Raums begreifbar zu machen. Der höchste Punkt der Halbkugel entspricht bei der Round Lens Verzerrung auch dem Punkt mit der maximalen Vergrößerung. Der Nachteil dieser Verzerrung ist, dass gerade Linien in gekrümmte Linien transformiert werden. Einige Informationen werden jedoch nutzlos, wenn solche Eigenschaften nicht bewahrt werden, wie zum Beispiel Straßenkarten oder der Grundriss einer Wohnung. Eine gleichmäßige Skalierung sollte daher zumindest innerhalb des Fokusbereichs gewährleistet werden [CCD97]. Ein Flat Lens Fisheye (siehe Abbildung 3.5, rechts) wird erstellt, indem die Halbkugel der Round Lens abgeschnitten wird. So wird eine konstante Vergrößerung im Bereich um den Fokuspunkt erreicht. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass eine gleichmäßige Skalierung der X- und Y-Achse im Fokusbereich entsteht. Eine solche Verzerrung erhält die Winkel sowie die Proportionen der Distanzen zwischen Linien.

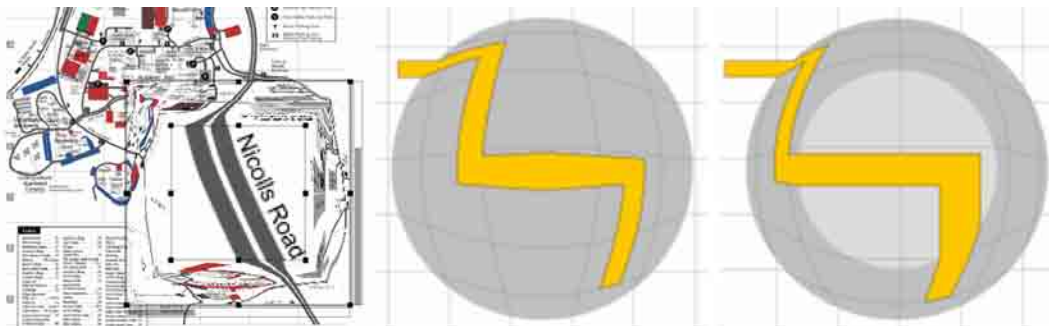


Abb. 3.5: Fisheye-Verzerrungen: (links) Grafisches Fisheye; (Mitte) Round Lens Fisheye; (rechts) Flat Lens Fisheye [GS03]

Diese zwei Fisheye-Verzerrungen wurden innerhalb einer deiktischen Aufgabe mit zwei Overview+Detail-Interfaces verglichen, wobei die Ergebnisse dieser Studie von Gutwin und Skopik [GS03] zeigen, dass Fisheye-Views bei einer deiktischen Aufgabe ebenso gut abschneiden wie traditionelle Benutzungsschnittstellen. Andere Studien deuten jedoch darauf hin, dass diese Darstellungen Usability-Probleme beim

3 Stand der Forschung

Anvisieren oder Einprägen von Objekten auslösen können und somit je nach Aufgabe schlechter abschneiden als Overview+Detail-Interfaces [HF01]. Zahlreiche weitere Studien wurden in diesem Bereich durchgeführt. Die kontroversen Ergebnisse wurden von Cockburn et al. [CKB08] zusammengetragen.

Um Fisheye-Linsen innerhalb einer Mehrbenutzerumgebung einzusetzen zu können, ist es möglich, mehr als eine Linse zu nutzen. Hierdurch ist eine voneinander unabhängige Betrachtung von mehr als einem Fokuspunkt möglich und die Fisheye-Technik somit auch als Multifocus-View einsetzbar.

Mélange Die Mélange Technik [SSTR93] verfolgt einen ähnlichen Ansatz wie Fisheye-Views, wobei sie auch als eine Art SplitScreen-Visualisierung betrachtet werden kann. Mélange Space Folding ist eine Verzerrungstechnik sowohl für den zwei- als auch für den dreidimensionalen Raum [EHRF08]. Diese Technik bietet die Möglichkeit, mehrere Fokuspunkte zu definieren, denen mehr Platz auf dem Display eingeräumt wird. In Anlehnung an die Metapher eines gefalteten Papiers werden die Bereiche außerhalb der Fokusregionen in die Tiefe des Bildschirms gefaltet (siehe Abbildung 3.6). Das heißt die gefalteten Bereiche werden in einer dreidimensionalen Perspektive dargestellt. Somit wird auch bei dieser Technik der Kontext zu den einzelnen Fokuspunkten erhalten, wobei über die Metapher der Faltungen dem Anwender zusätzlich ein Gefühl für die Distanzen zwischen den Fokuspunkten sowie allgemein der Größe des Informationsraums übermittelt wird.

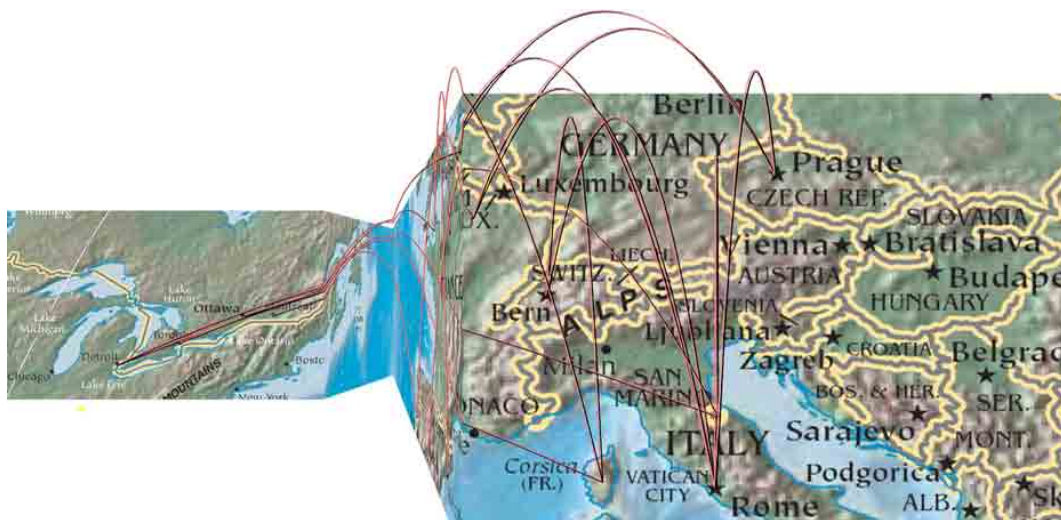


Abb. 3.6: Visualisierung von Flugverbindungen mittels Mélange Space Folding [EHRF08]

Abbildung 3.7 zeigt eine schematische Übersicht über den Prozess des Faltens. Der Viewport wird über einem Fokuspunkt zentriert (siehe Hauptfokuspunkt A in Abbildung 3.7, links). Wird ein zweiter Fokuspunkt definiert (Fokuspunkt B) wird

der Informationsraum so gefaltet, dass auch dieser Punkt innerhalb des Viewports sichtbar wird (siehe Abbildung 3.7, rechts). Ein gewisser Bereich des Bildschirms wird genutzt, um den Kontext zu den Fokusregionen darzustellen.

Von Elmqvist et al. [ERRF10] wurde ein kontrolliertes Experiment durchgeführt, in welchem die *Mélange* Technik mit einer Split-Screen Visualisierung verglichen wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die *Mélange* Technik einen Vorteil gegenüber der SplitScreen-Methode bietet. Mit Hilfe der *Mélange* Technik war es den Anwendern möglich, ein Bewusstsein für den relevanten Kontext und die Distanz zwischen zwei Fokuspunkten zu erlangen, was bei der Erfüllung von kontextbezogenen Aufgaben hilfreich ist. Dabei wird nach Ansicht der Autoren weder zu viel Bildschirmplatz für den Kontext verwendet noch ist die kognitive Anstrengung, die durch die Verzerrung entsteht, zu hoch. Space Folding wird dabei als ein erster Schritt angesehen, um die Exploration großer visueller Räume zu unterstützen. Dabei liegt der Fokus bislang auf den Aspekten der Visualisierung und weniger auf der Interaktion. Durch eine verfeinerte Interaktion könnte eine Exploration des Datenraums weiter verbessert werden.

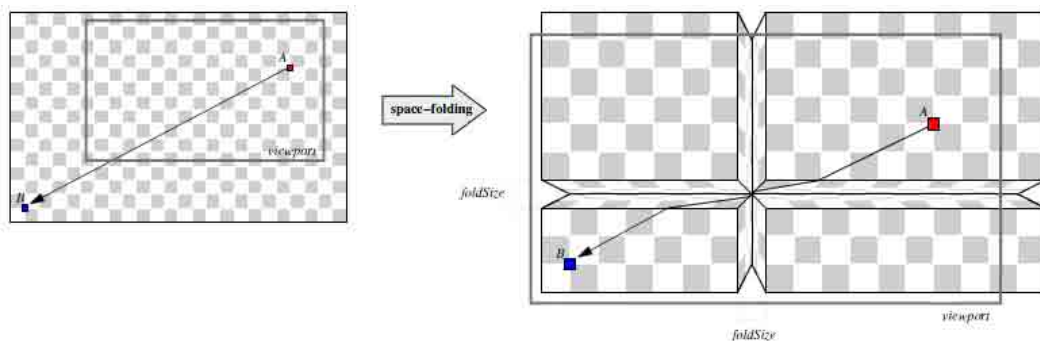


Abb. 3.7: Faltung des Informationsraums mit *Mélange* [EHRF08]

3.2.4 Multiscale-Anwendungen in Leitwarten

Abschließend wird in diesem Abschnitt auf Forschungsarbeiten beziehungsweise Produktivsysteme eingegangen, die sich mit grafischen Benutzungsschnittstellen im Kontext von Leitzentralen auseinandersetzen. Dabei sind Prozessvisualisierungen aus allen drei zuvor vorgestellten Bereichen vertreten. Ein Beispiel für eine Visualisierung eines Prozesses, in der der Grad an Information über ein Zooming gesteuert werden kann, beschreiben Kurle et al. [KASE97] für einen Trainingssimulator, mit dem Operatoren ausgebildet werden (siehe Abbildung 3.8). Innerhalb dieser Prozessvisualisierung werden die Möglichkeiten des Zoomings, also der gezielten Ausschnittvergrößerung, integriert. Je nach Zoomstufe werden zusätzliche Detailinformationen dargestellt oder verborgen. Abbildung 3.8 zeigt zum einen eine Übersicht über den Prozess (links)

3 Stand der Forschung

und zum anderen einen Detailausschnitt zu einem bestimmten Bereich (rechts). Der Operator kann mittels der Maus das Zentrum des zu vergrößernden Ausschnittes festlegen, wobei ab einer bestimmten Vergrößerung die entsprechenden Detailinformationen dem Bild hinzugefügt werden (semantisches Zooming). Ein Beispiel für eine Prozessvisualisierung unter Einsatz einer Focus+Context-Technik wird von Zinser [Zin95b, Zin95a] vorgestellt. Zinser setzt dabei eine Fisheye-Verzerrung ein, welche einen fokussierten Ausschnitt aus dem gesamten Prozess vergrößert und gleichzeitig die Randbereiche verkleinert (siehe Abbildung 3.9). Durch diese Technik verliert der Operator den Überblick über den Prozess nicht aus den Augen und kann gleichzeitig lokale Details im Fokuspunkt erfassen.

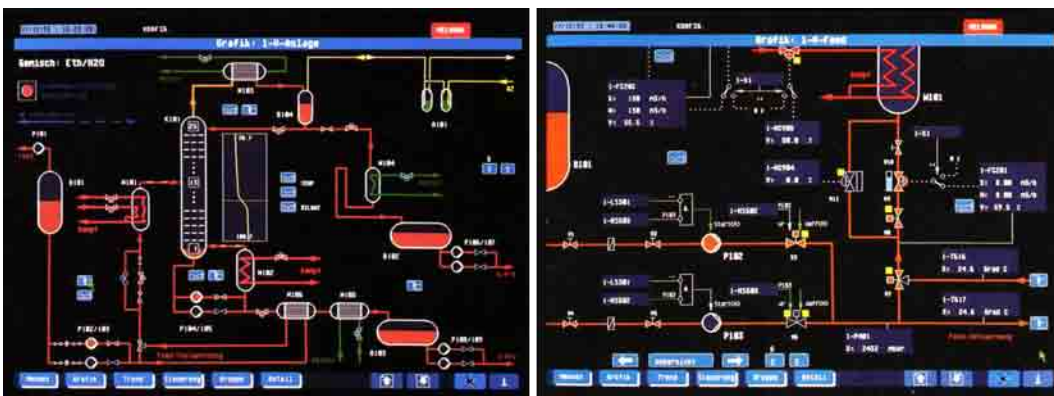


Abb. 3.8: Prozessvisualisierung einer Destillationskolonne mit der Möglichkeit der Ausschnittsvergrößerung: (links) Übersichtsbild; (rechts) Detailansicht [KASE97]

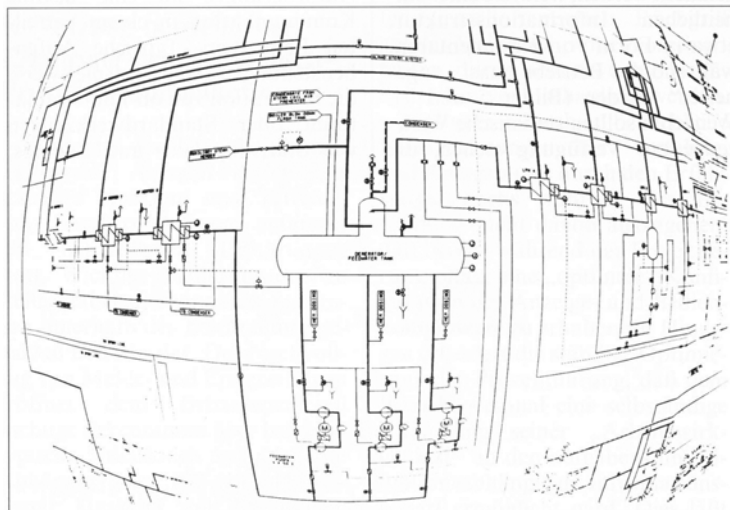


Abb. 3.9: Fisheye-View für die Prozessvisualisierung [Zin95b]

Ein Visualisierungs- und Interaktionskonzept basierend auf einem Overview+Detail-

Interface wurde von Schwarz et al. [SHLR12] entwickelt. Dabei wird ein sogenanntes Curved Display eingesetzt, das einem Arbeitsplatz entspricht, bei welchem eine interaktive Tischoberfläche in ein vertikales Display übergeht, ohne dass sich zwischen den Displayebenen ein Rahmen oder eine Kante befindet [WHS⁺10, WWSB10]. Das von Schwarz et al. entwickelte Konzept besteht darin, das klassische Overview+Detail-Entwurfsmuster mit je einem Anzeigebereich für Übersicht und Detailansicht um einen weiteren Bereich zu erweitern, der sowohl die geographische als auch die inhaltliche Lücke zwischen den beiden Hauptbereichen schließen kann. Abbildung 3.10 zeigt eine schematische Übersicht des Konzeptes.

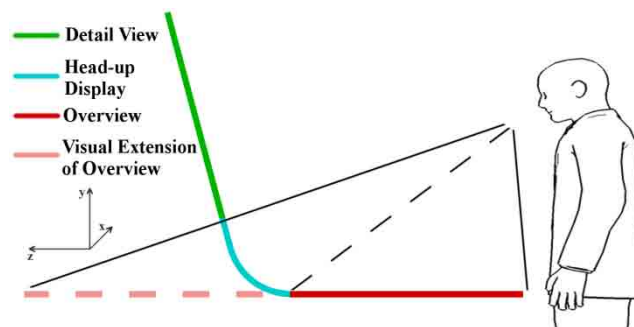


Abb. 3.10: Perspective+Detail: Der Übersichtsbereich wird in Richtung der z-Achse fortgesetzt [SHLR12]

Auf dem horizontalen Displaybereich wird dabei eine Übersicht über den Prozess dargestellt (siehe Abbildung 3.10, rote Kennzeichnung). Bei der Darstellung auf diesem Bereich des Displays handelt es sich um eine zweidimensionale Visualisierung. Innerhalb des Kurvenbereichs, das heißt in dem Bereich, in dem das horizontale auf das vertikale Displaysegment trifft, wird die Übersicht jedoch um die dritte Dimension erweitert. Hiermit soll der Eindruck vermittelt werden, dass die Übersichtskarte in das vertikale Displaysegment hineinragt (siehe Abbildung 3.10, rosa Kennzeichnung). Auf der vertikalen Anzeigefläche (siehe Abbildung 3.10, grüne Kennzeichnung) werden dynamisch Detailinformationen zu einzelnen Punkten der Übersicht auf dem horizontalen Displaysegment eingeblendet. Der Kurvenbereich (in der Abbildung 3.10 blau gekennzeichnet) dient dabei als Head-Up-Display und ermöglicht dem Nutzer einerseits weiterhin die Sicht auf den dahinterliegenden Informationsraum, andererseits wird hier eine Teilmenge der Detailinformationen dargestellt. Als Vorbild dienen hierbei Head-Up-Displays wie sie in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Durch die Nutzung einer perspektivischen Verzerrung wird dieses Entwurfsmuster von den Autoren auch als Perspective+Detail bezeichnet. Abbildung 3.11 zeigt sowohl einen Mockup des Interfaces (links) als auch die prototypische Umsetzung des Perspective+Detail-Konzeptes (rechts). Durch das von Schwarz et al. [SHLR12] entwickelte Konzept wird im Gegensatz zu klassischen Overview+Detail-Interfaces

eine einheitlichere Wahrnehmung des gesamten Systems erreicht. Ein weiterer Vorteil besteht im Gewinn an Präsentationsfläche, welcher durch die Darstellung des Informationsraumes in Richtung der z-Achse erreicht wird und die Orientierung im Informationsraum verbessert.

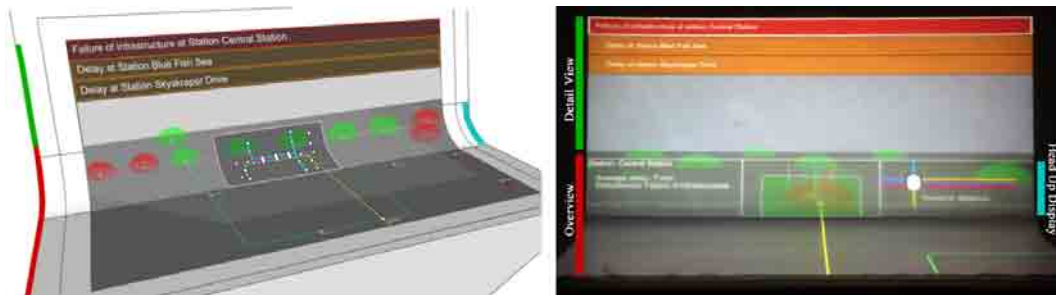


Abb. 3.11: (links) Mockup eines Perspective+Detail-Interfaces; (rechts) Prototypische Umsetzung [SHLR12]

3.2.5 Implikation der Multiscale-Anwendungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Kernaussagen und Ergebnisse der vorgestellten Techniken und Konzepte aus dem Bereich der Multiscale-Anwendungen zusammengefasst und auf deren Relevanz für das intendierte Visualisierungs- und Interaktionskonzept, das im nächsten Kapitel vorgestellt wird, eingegangen. Alle vorgestellten Techniken und Konzepte können genutzt werden, um das Problem des Übersicht-Detail-Paradoxons der Prozessvisualisierung in Leitzentralen abzuschwächen oder zu lösen. Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, sollte dabei darauf geachtet werden, dass der Bezug der Detailinformationen zum Kontext nicht verloren geht. Des Weiteren ist es wichtig, die Möglichkeit zu schaffen, Detailinformationen nur bei Bedarf darzustellen, da es sonst zu einer Informationsüberflutung kommen kann. Eine Möglichkeit, Detailinformationen nur auf Wunsch des Anwenders darzustellen, ist mit allen Darstellungskonzepten möglich. Jedoch ist nur bei einem semantischen Zooming dieser Punkt ein wichtiger Bestandteil des Konzeptes selbst. Sowohl bei Overview+Detail-Darstellungen als auch bei Focus+Context-Visualisierungen ist eine zusätzliche Interaktion nötig, um die Detailinformationen ein- beziehungsweise auszublenden. Das Zooming hat jedoch den großen Nachteil, dass Kontext und Detailinformationen nicht gleichzeitig dargestellt werden können. Dies hingegen ist durch ein Overview+Detail- oder ein Focus+Context-Interface möglich. Bei der Integration von Kontext und Detailinformationen bietet ein Focus+Context-Interface die größte Unterstützung, da bei diesen Visualisierungen ein fließender Übergang der Detailinformationen in den Kontext gewährleistet wird. Overview+Detail-Interfaces haben hier ihre Schwierigkeiten: Die Beziehung zwischen den Detailinformationen und dem Kontext muss bei diesen Interfaces vom Anwender selbst hergestellt werden, was eine

erhöhte mentale Beanspruchung (engl. mental effort) mit sich bringt [BGBS02]. Das Zooming hingegen ermöglicht die Integration von Detailinformationen und Kontext, allerdings nur über eine zeitliche Trennung. Durch geeignete Animation kann allerdings in diesem Fall die mentale Beanspruchung, welche nötig ist, um die einzelnen Ansichten zueinander in Beziehung zu setzen, deutlich reduziert werden.

Die Betrachtung der drei vorgestellten Gruppen von Multiscale-Anwendungen in Bezug auf die Einsatzfähigkeit in Mehrbenutzerumgebungen, macht klar, dass sowohl Overview+Detail- aber insbesondere Zooming-Interfaces mit weiteren Techniken ergänzt werden müssen, um einen sinnvollen Einsatz zu ermöglichen. SplitScreen-Interfaces stellen dabei durch den Verlust des gemeinsamen interfokalen Kontextes keine befriedigende Lösung dar. Hingegen eignen sich viele der Fokus+Context-Ansätze auch für den Einsatz in einer Mehrbenutzerumgebung. So können zum Beispiel mehrere Fisheye Linsen gleichzeitig eingesetzt werden, wobei jeder Anwender eine dieser Linsen kontrollieren kann. Ebenfalls möglich ist der Einsatz einer Verzerrungstechnik wie *Mélange Space Folding*, da auch hier mehr als ein Fokuspunkt gesetzt werden kann. Für die *Space Folding* Technik fehlt allerdings noch eine geeignete Interaktionstechnik, die die Bedienung einer solchen Ansicht auch durch mehr als einen Anwender ermöglicht.

3.3 Eigenschaften von Displayausrichtungen

Bei Leitwarten handelt es sich um Mehrmonitor-Umgebungen. Jedes Display dient dabei der Erfüllung einer anderen Aufgabe. Erkenntnisse darüber, welche Ausrichtung eines Displays für die Erfüllung welcher Aufgabe geeignet ist, wurden in zahlreichen Arbeiten diskutiert [Wei93, Wei95, SGH98]. In einer Arbeit von Morris et al. [MFW10] wird zum Beispiel festgestellt, dass auf horizontalen Displays häufig Metaphern zu Gegenständen oder Tätigkeiten in der realen Welt Verwendung finden: Die Intuitivität bei der Durchführung von Aktionen wie dem Ausbreiten, Stapeln und Organisieren von Informationen wie auf einer Schreibtischplatte wird als eine der Stärken von horizontalen Displays gesehen. Außerdem ist für (Touch-)Interaktionen, bei denen der Benutzer beide Hände gleichzeitig benutzt, das horizontale Display besser geeignet als das vertikale, da hier eine bequemere Armhaltung möglich ist [MBM07]. Andererseits wird jedoch auch festgestellt, dass es auf Dauer ermüdend sein kann, mit horizontalen Displays zu arbeiten: So beklagen einige Teilnehmer einer Studie von Morris et al. [MBM07] Muskelverspannungen im Bereich der Halswirbelsäule, die vermutlich durch die gebückte Haltung hervorgerufen werden. Dadurch sind horizontal ausgerichtete Displays auch für das Lesen von längeren Texten und die Dateneingabe via Tastatur nur begrenzt geeignet. Studienteilnehmer beklagten neben der unbequemen Haltung auch den ungünstigen Betrachtungswinkel beim Lesen auf

horizontalen Displays [MBM07]. Morris et al. leiten aus diesen Ergebnissen daher die Forderung ab, horizontale Displays und vertikale Displays in einer Arbeitsumgebung ergänzend zu verwenden, umso die Stärken von beiden Displayarten miteinander kombinieren zu können. In einer späteren Arbeit überprüfen Morris et al. [MBM08], wie gut horizontale Displays geeignet sind, einen mit einem oder mehreren vertikalen Displays ausgestatteten Arbeitsplatz zu erweitern und sinnvoll zu ergänzen. Die Versuchskandidaten wurden hierbei über einen Zeitraum von sechs Wochen in den verschiedenen Versuchsanordnungen bei der Ausübung ihrer normalen Büroarbeiten beobachtet. Ein Ergebnis war dabei, dass die These, ein zusätzliches horizontales Display würde den Arbeitsplatz bereichern, sich zunächst nicht bestätigen ließ. Die meisten der Versuchsteilnehmer fanden das horizontale Display überflüssig und unnötig und nutzten es auch in allen Versuchsanordnungen seltener als das vertikale Display. Als wichtiger Grund wird hierfür die Schwierigkeit, dass der Nutzer sich gleichzeitig auf zwei Ebenen konzentrieren muss, genannt. Beim Arbeiten auf dem vertikalen Bildschirm kann es, zumindest ohne entsprechende visuelle Hinweise, schnell zu einer Überforderung kommen, wenn die Aufmerksamkeit plötzlich auf dem horizontalen Bildschirm erforderlich wird. Für eine sinnvolle Kombination von horizontalen und vertikalen Displays, sollte der Anwendungsentwickler dieses Problem kennen und den Fokus des Nutzers entsprechend lenken [MBM08]. Das Problem der schlechten ergonomischen Eigenschaften horizontaler Displays im Dauereinsatz beschreiben auch Benko et al. [BMBW09] bei ihrer Untersuchung über die Nutzung von Tabletops. Viele der von Benko et al. Befragten klagten über Muskelverspannungen nach längerer Arbeit an horizontalen Displays und halten deswegen ein vertikales Display als Primäranzeige für unverzichtbar. Bezüglich der Vorzüge von horizontalen Displays werden in ihrer Studie neben der Displaygröße, der Möglichkeit zur Nutzung von Tangible User Interfaces (TUI) und den Vorteilen in Mehrbenutzerszenarien, besonders die Touch- beziehungsweise Multitouch-Funktionalität, hervorgehoben.

Neben den in Bezug auf die längere Beobachtung des Prozesses besseren Eigenschaften eines horizontalen Displays bieten diese eingesetzt als Wanddisplays zusätzliche Vorteile. So untersuchten Hagemann et al. [HKB11] den Einfluss dieser Wanddisplays auf die Zusammenarbeit der Operatoren. Die Autoren gehen davon aus, dass, Wanddisplays sowohl die Kongruenz der mentalen Modelle von interdependent arbeitenden Teamkollegen als auch die Leistung des Teams beeinflussen. Die Kongruenz ist dabei wegen ihrer Auswirkungen auf die Team-Koordinations-Prozesse eine Voraussetzung für effektive Teamarbeit. Geteilte mentale Modelle (engl. shared mental models (SMM)) der Aufgaben- und Team-Interaktion beeinflussen die gegenseitigen Erwartungen in Bezug auf die Verhaltensweisen der Teamkollegen. Sie erleichtern die stillschweigende Koordination, das gegenseitige Performance-Monitoring und das proaktive Anbieten von Unterstützung. Die Autoren fanden heraus, dass obwohl

3.3 Eigenschaften von Displayausrichtungen

Wanddisplays keinen signifikanten Einfluss auf die SMM der Aufgaben und der Team-Interaktion haben, sie den Wissenserwerb und die Leistung des Teams deutlich positiv beeinflusst. Darüber hinaus wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der SMM-Kongruenz und der teambezogenen Selbstwirksamkeit festgestellt.

Für die Entwicklung eines neuen Visualisierungs- und Interaktionskonzeptes für die Überwachung, Diagnose und Manipulation in Leitwarten ist es wichtig, die in diesem Kapitel diskutierten Vor- und Nachteile der jeweiligen Displayausrichtung zu berücksichtigen. Nur so kann eine optimale Unterstützung der Operatoren erreicht werden.

Tabelle 3.1 fasst die Vor- und Nachteile der jeweiligen Ausrichtung eines Displays zusammen. Dabei wird deutlich, dass durch eine Kombination aus Displays mit horizontaler Ausrichtung und Displays mit vertikaler Ausrichtung die Vorteile beider Orientierungen zwar kombiniert werden können, dies jedoch auf Kosten einer geteilten Aufmerksamkeit geschieht.

Tab. 3.1: Vor- und Nachteile der Ausrichtung eines Displays

| | Vorteile | Nachteile |
|--------------------------------|---|--|
| horizontale Ausrichtung | <ul style="list-style-type: none"> • Nutzen realweltlicher Methaphern • Armhaltung bei Touchinteraktion • Nutzung von Tangible User Interfaces | <ul style="list-style-type: none"> • Nicht ergonomisch bei längerer Beobachtung • Ungünstiger Betrachtungswinkel beim Lesen |
| vertikale Ausrichtung | <ul style="list-style-type: none"> • Vorteile bei Mehrbenutzerszenarien • Bessere Ergonomie bei längerer Betrachtung • Bessere Einsicht vom Arbeitsplatz des Operators (Wanddisplay) • Unterstützung der Teamabstimmung (Wanddisplay) | <ul style="list-style-type: none"> • Armhaltung bei Touchinteraktion • Einschränkungen in Bezug auf Tangible User Interfaces |
| Kombination | <ul style="list-style-type: none"> • Nutzung der Stärken der horizontalen und vertikalen Ausrichtung | <ul style="list-style-type: none"> • Konzentration auf zwei Ebenen nötig (engl. split attention) |

Kapitel 4

Visualisierungs- und Interaktionskonzept für die Prozessüberwachung

In diesem Kapitel wird ein Visualisierungs- und Interaktionskonzept für die Überwachung eines Prozesses, die Diagnose einer Problemursache, sowie die Manipulation von Prozessvariablen innerhalb von Leitwarten vorgestellt. Das Konzept wurde unter Berücksichtigung des Interaktionsparadigmas der Blended Interaction entwickelt. Hierfür werden zunächst die in Kapitel 2 erläuterten Schwachstellen heutiger Systeme den vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction zugeordnet, um anschließend Optimierungspotenziale aufdecken zu können. Im Anschluss daran wird der grundsätzliche Aufbau des entwickelten Visualisierungs- und Interaktionskonzepts beschrieben. Darauf folgt die Erklärung der einzelnen Elemente und Funktionen des Konzeptes für die Überwachung eines Prozesses, die Diagnose einer Problemursache, sowie die Manipulation von Prozessvariablen. Das Konzept hat den Anspruch, dass es domänenübergreifend einsetzbar ist. Aus diesem Grund werden die einzelnen Elemente und Funktionen zunächst abstrakt erläutert und im Anschluss mit Beispielen aus einer Verkehrsleitzentrale untermauert.

4.1 Implikation der Blended Interaction

Durch eine genauere Betrachtung der in Kapitel 2.2 aufgezeigten Arbeitsabläufe stellt sich heraus, dass die identifizierten Schwachstellen alle vier Gestaltungsebenen des in Kapitel 3.1.6 vorgestellten Interaktionsparadigmas der Blended Interaction betreffen. Im Folgenden werden die Probleme und daraus abgeleitete Anforderungen anhand dieser vier Gestaltungsebenen dargestellt.

Persönliche Interaktion: Ein Problem, das innerhalb der Gestaltungsebene der persönlichen Interaktion identifiziert wurde, ist die Interaktion mit dem Wanddisplay. Ein Verschieben des auf diesem Wanddisplay abgebildeten Ausschnitts des Prozesses gestaltet sich über die vorherrschende Interaktionstechnik der

Scrollbalken, die mit der Maus bedient werden müssen, als umständlich. Beim Arbeiten mit der Maus auf einem entfernten Display kommt es zu einem ständigen Nachgreifen und zum anderen sind sehr filigrane Bewegungen nötig, um den Mauszeiger korrekt zu positionieren, unabhängig davon, dass dieser auch schwer zu erkennen ist. Ein weiteres Problem auf der Ebene der persönlichen Interaktion ist die Selektion der Prozessvariablen (wie zum Beispiel im Kontext der Verkehrszentralen die Verkehrssituation auf den einzelnen Fahrspuren, die Schaltungen der Verkehrsbeeinflussungsanlagen oder auch Kamerabilder). Diese Selektion über ein sequenzielles Durchschalten einzelner Detailansichten führt zu dem, dass meist mehrere Interaktionsschritte erforderlich sind, um an die entsprechenden Prozessvariablen zu gelangen, zum anderen haben diese auch keinen Bezug zu ihrem Kontext, welcher für die Interpretation der Prozessvariablen eine entscheidende Rolle spielt.

Allgemein stellt sich die Frage, ob die vorherrschenden Eingabegeräte wie Maus und Tastatur für die Aufgaben eines Operators geeignet sind, oder ob weitere Eingabemodalitäten im Sinne der multimodalen Interaktion beziehungsweise des Tangible Computing oder der Reality-Based Interaction genutzt werden sollten um den Operator bestmöglich zu unterstützen und somit verlorengangene Qualitäten früherer Leitzentralen wie zum Beispiel spürbare und wechselnde Widerstände bei der Betätigung mechanischer Hebel oder Handräder zurück zu gewinnen. Dabei sollte sowohl die Interaktion auf dem Private Space am Arbeitsplatz des Operators wie auch die Interaktion auf dem Public Space betrachtet werden.

Soziale Interaktion & Kommunikation: Bereits bei heutigen Systemen in Leitwarten werden große Wanddisplays genutzt, um ein gemeinsames Verständnis über den Zustand des Prozesses über alle Operatoren hinweg zu erreichen. Der Nutzen der Wanddisplays für eine implizite Kommunikation zwischen den Operatoren, wie Sie in früheren Leitwarten durch die Position von Schaltschränken ermöglicht wurde (vgl. Kapitel 2), wird jedoch von aktuellen Systemen nicht unterstützt. Konkret heißt das, dass über die gemeinsam genutzte Prozessvisualisierung eine implizite Kommunikation über die aktuell von jedem Operator durchgeführten Aufgaben erfolgen sollte. Eine solche nonverbale Abstimmung ist gerade in kritischen Situationen, wenn eine Zusammenarbeit der Operatoren erforderlich ist, entscheidend. Ohne ein Bewusstsein darüber zu haben, an welcher Stelle des Prozesses der jeweilige Kollege aktuell arbeitet, wird eine solche Zusammenarbeit deutlich erschwert.

Reale und computergestützte Abläufe (Geschäftsprozesse): In Kapitel 2 wurde der typische Arbeitsablauf eines Operators beschrieben. Probleme bei heutigen Systemen bestehen dabei vor allem darin, dass es sich bei der öffentlichen

Übersicht auf dem Wanddisplay und den privaten Displays am Arbeitsplatz der Operatoren meist um zwei völlig voneinander losgelöste Systeme handelt. Somit müssen die Informationen auf beiden Systemen auch separat abgerufen und vom Operator in Bezug zueinander gesetzt werden. Des Weiteren wird das sequenzielle Abrufen von Detailinformationen, wie es beispielsweise zur Freigabe eines Standstreifens in Verkehrszentralen benötigt wird, nicht unterstützt. Ein Konzept im Sinne der Blended Interaction sollte die Abläufe, wie sie von Rasmussen [Ras84] (vgl. Kapitel 2) beschrieben wurden, in vollem Umfang unterstützen.

Gestaltung der physischen Umgebung: Innerhalb heutige Leitzentralen wird meist eine Kombination aus großen Wanddisplays und kleinen Displays am Arbeitsplatz des Operators eingesetzt. Häufig ist eine solche Umgebung über die Zeit gewachsen, was zu einer nur schwer zu durchschauenden Arbeitsumgebung führt (siehe Abbildung 4.1). Moderne Leitwarten berücksichtigen diese Gestaltungsebene jedoch im Gegensatz zu vielen anderen Domänen bereits heute sehr detailliert. So werden moderne Leitwarten auch in ihrer Architektur an die Aufgaben der Operatoren angepasst. Bei der Entwicklung eines neuen Konzeptes muss diese Architektur jedoch neu betrachtet werden. Das heißt, dass zum Beispiel die Ausrichtung und Position eines Displays innerhalb der Leitwarte in Abhängigkeit davon gewählt werden muss, welche Aufgabe mit Hilfe des Displays zu erfüllen sein wird.



Abb. 4.1: Leitzentrale für die Tram-Überwachung als Beispiel für eine schwer zu durchschauende Arbeitsumgebung [Cam]

Tabelle 4.1 fasst die identifizierten Defizite aktueller Leitstandsumgebungen anhand der vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction zusammen. Zusätzlich

4 Visualisierungs- und Interaktionskonzept für die Prozessüberwachung

werden die intendierten Lösungsansätze aufgezeigt, welche mit Hilfe des im Folgenden beschriebenen Visualisierungs- und Interaktionskonzeptes adressiert werden.

Tab. 4.1: Probleme und Lösungsansätze anhand der Gestaltungsebenen der Blended Interaction

| | aktuell | intendiert |
|--|---|--|
| Persönliche Interaktion | <ul style="list-style-type: none"> • Private Space: Interaktion lediglich über Maus und Tastatur. • Public Space: Keine Interaktion oder Verschieben des Viewports über Scrollbalken. | <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz einer multimodalen Interaktion mit dem Private und dem Public Space. • Nutzung unterschiedlicher Eingabemodalitäten angepasst an die Aufgabe. |
| Soziale Interaktion & Kommunikation | <ul style="list-style-type: none"> • Statischer Charakter des Public Space ermöglicht keine nonverbale Koordination. | <ul style="list-style-type: none"> • Zurückbringen der alten Kommunikationsform. • Nonverbale Koordination der Operatoren über das Wanddisplay. • Möglichkeit der Zusammenarbeit in Notfallsituationen. |
| Reale und computergestützte Abläufe (Geschäftsprozesse) | <ul style="list-style-type: none"> • Ständiges visuelles Umschalten zwischen dem Public und dem Private Space zur Erfüllung der Aufgaben nötig. • Fehlende Synchronisation zwischen dem Public und Private Space erfordert erneute Auswahl des Kontextes. | <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung des Arbeitsablaufs in Anlehnung an das Modell der Informationsverarbeitungsprozesse. |
| Gestaltung der physischen Umgebung | <ul style="list-style-type: none"> • Nur vertikale Displays im Einsatz. • Keine Ausrichtung abhängig von der Aufgabe. | <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Displays welche in Bezug auf die Position und Ausrichtung an die Aufgabe angepasst sind. |

4.2 Grundkonzept

Ausgehend von den Primäraufgaben der Operatoren, welche die Überwachung, die Diagnose und die Manipulation von Prozessvariablen umfassen, werden innerhalb des entwickelten Konzeptes Displays eingesetzt, welche diese Aufgaben bestmöglich unterstützen. Das heißt dass die Ausrichtung (horizontal/vertikal), die Position im

Raum sowie die Größe der Displays abhängig von den Aufgaben, die mit dem jeweiligen Display erfüllt werden sollten, gewählt wurden. Die folgenden Betrachtungen betreffen in Bezug auf das Interaktionsparadigma der Blended Interaction demnach vor allem die Ebene der Gestaltung der physischen Umgebung.

Durch eine genaueren Betrachtung der Primäraufgaben eines Operators lässt sich ein grundlegender Unterschied erkennen: Während es sich bei der Überwachung um eine passive, beobachtende Tätigkeiten handelt, ist die Manipulation von Prozessvariablen eine auf die Interaktion bezogen wesentlich aktivere Tätigkeit. Die Diagnose einer Problemursache kann dabei als Kombination dieser beiden Extrema angesehen werden, wobei sich die Interaktion im Rahmen der Diagnose auf das Abrufen der entsprechenden Detailinformationen beschränkt, die dann vom Operator interpretiert werden müssen. Forschungsergebnisse darüber, welche Ausrichtung eines Displays dabei für die Erfüllung welcher Aufgabe geeignet ist, wurden in Kapitel 3.3 diskutiert. Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Konzept entwickelt, welches sowohl ein vertikales Wanddisplay als auch ein horizontales Multitouch-Display am Arbeitsplatz des Operators umfasst. Die Nutzung der beiden Displays wurde dabei so gestaltet, dass die Vor- beziehungsweise Nachteile der jeweiligen Ausrichtung der Displays berücksichtigt wurden. Während das vertikale Wanddisplay als Public Space zur Unterstützung der Primäraufgaben der Überwachung und Diagnose fungiert (im Folgenden als Überwachungs- und Diagnoseebene bezeichnet), wird das horizontal ausgerichtete Multitouch-Display als Private Space zur Manipulation von Prozessvariablen genutzt (im Folgenden als Manipulationsebene bezeichnet).

Überwachungs- und Diagnoseebene: Da die Hauptaufgabe eines Operators die Überwachung des Prozesses darstellt, sollte diese Aufgabe mit Hilfe des vertikalen Wanddisplays lösbar sein. Dies ist erforderlich, da, wie die Nutzungskontextanalyse im Rahmen des Projektes “Holistic Workspace” ergab, Operatoren den Großteil ihrer Arbeitszeit mit dem reinen Beobachten des Prozesses verbringen. Eine Verlagerung dieser Aufgabe auf ein horizontales Display ist aus ergonomischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll. Des Weiteren wird ein großes Wanddisplay eingesetzt, um es den Operatoren zu erleichtern, einen gemeinsamen Überblick über den laufenden Prozess zu erlangen. Das heißt, dass das große Wanddisplay innerhalb des Konzeptes als gemeinsame Übersicht über den gesamten Prozess und somit als Überwachungs- und Diagnoseebene fungiert. Große Wanddisplays bieten den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu privaten Displays am Arbeitsplatz des Operators eine gemeinsame Kommunikationsoberfläche für die Operatoren bereitstellen. Ein derartiges für alle sichtbares Diskussionsforum kann bei Problemen, die durch mehrere Beteiligte gemeinsam zu lösen sind, hilfreich sein [MLS98].

Manipulationsebene: Im Gegensatz zum Wanddisplay übernimmt das horizontal ausgerichtete Multitouch-Display die Aufgabe einer Manipulationsebene. Auf dieser horizontalen Manipulationsebene können somit die Vorteile dieser Ausrichtung wie beispielsweise die bequemere Armhaltung bei der Multitouch-Interaktion genutzt werden. Des Weiteren ermöglichen horizontal orientierte Displays eine sehr natürliche Art der Interaktion; insbesondere, wenn geeignete Metaphern verwendet werden, wird die Arbeit hier als intuitiver und realitätsnäher empfunden [MFW10]. Geeignete Metaphern sind hier besonders solche, die der Arbeit mit physischen Gegenständen auf einer Arbeitsplatte nachempfunden sind [MFW10]. Für die horizontale Anzeigefläche wurde innerhalb des entwickelten Konzeptes unter anderem eine Art der Interaktion verwendet, die dem Verschieben eines Papierbogens (wie eine Landkarte, ein Bauplan oder ein hochauflösendes Foto) auf einer Tischplatte nachempfunden wurde. Durch die relativ geringe Zeit, die ein Operator mit der tatsächlichen Manipulation von Prozessvariablen verbringt, spricht aus ergonomischen Gesichtspunkten nichts gegen den Einsatz einer horizontal ausgerichteten Manipulationsebene. Horizontal bedeutet in diesem Fall mit einer Neigung von 16° . In einer Studie von Bützler et al. [BVJS10] in welcher drei Displaywinkel (0° , 8° und 16°) miteinander verglichen wurden, bevorzugten die Probanden sowohl im Stehen als auch im Sitzen einen Winkel von 16° . Der Einsatz von TUIs ist auch bei diesem Winkel noch problemlos möglich, wenn die TUIs mit einer Gummibeschichtung versehen werden.

Abbildung 4.2 skizziert ein mögliches Setting, das zwei Operatorenarbeitsplätze mit jeweils einem Multitouch-Display als Manipulationsebene und ein gemeinsam genutztes Wanddisplay als Überwachungs- und Diagnoseebene umfasst. Wie in Kapitel 3 beschrieben ist es bei der Kombination eines horizontal und eines vertikal ausgerichteten Displays wichtig, den Fokus des Anwenders auf das entsprechende Display zu lenken [MBM08]. Innerhalb des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzeptes wurde aus diesem Grund eine starke Trennung der Displays in Bezug auf die mit diesen zu erfüllenden Aufgaben, vorgenommen.

4.3 Überwachungs- und Diagnoseebene

Für die Überwachung eines Prozesses ist es nötig, einen Überblick über den gesamten Prozess zu erlangen, um so Änderungen in der Prozessdynamik unmittelbar wahrnehmen zu können. Für die Diagnose einer Problemursache werden wiederum zusätzliche kontextsensitive Prozessvariablen zum betroffenen Objekt sowie zu benachbarten Objekten benötigt. In diesem Kapitel wird ein Lösungsansatz für das Übersichts-Detail-Paradoxon innerhalb der Mehrbenutzerumgebung einer Leitwarte beschrieben.

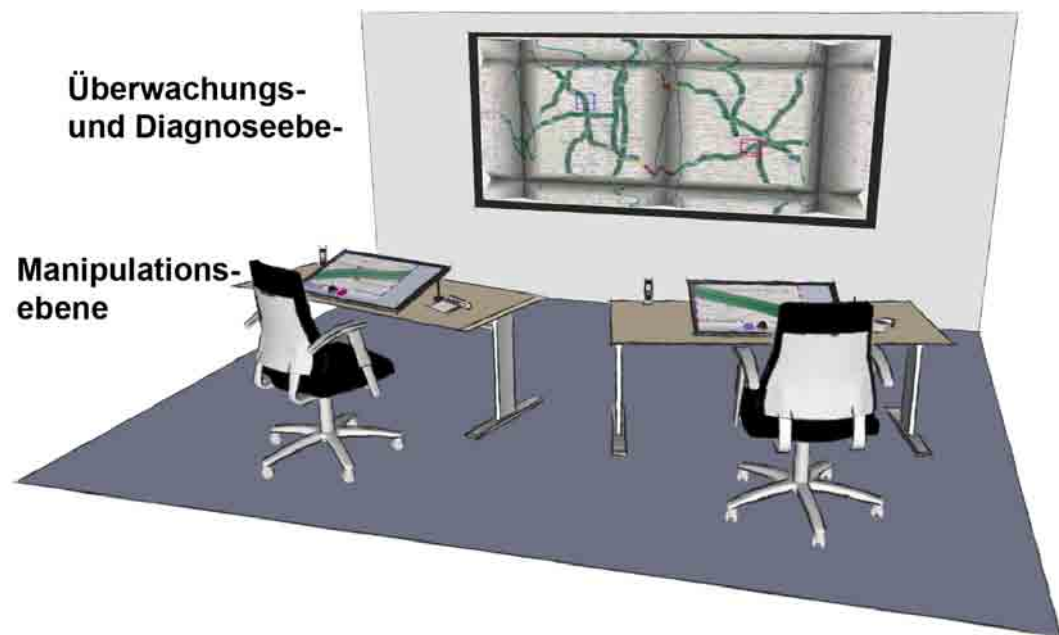


Abb. 4.2: Setting mit zwei Operatorenarbeitsplätzen und einem gemeinsam genutzten Wanddisplay

Das zentrale Element des Ansatzes stellt die Prozessvisualisierung dar, welche auf der Überwachungs- und Diagnoseebene für alle Operatoren einsehbar dargestellt wird. Die für den Operator relevanten Informationen in der Prozessvisualisierung haben die Eigenschaften, dass sie in der Regel sehr dynamisch und zeitkritisch sind. Sie müssen den Bediener des Systems in Echtzeit über den aktuellen Zustand informieren und eine schnelle und sichere Interaktion ermöglichen, um Fehlersituationen und eine Gefährdung für das System, den Bediener und die Umwelt zu vermeiden. Daher ist bei der Gestaltung derartiger Informationsdarstellungen besonderer Wert auf die Berücksichtigung von menschlichen kognitiven Eigenschaften zu legen [Wit00]. Zwei der zentralen Aspekte des Konzeptes sind aus diesem Grund die Vermeidung des Problems einer geteilten Aufmerksamkeit sowie einer Informationsüberflutung. Das heißt, dass Detailinformationen nur bei Bedarf (engl. *details on demand*) und an der Stelle, an der sie der Operator benötigt, dargestellt werden. Die Selektion der vom Operator benötigten Detailinformationen geschieht dabei über das Positionieren von Fokuspunkten auf der Überwachungs- und Diagnoseebene. Da mehrere Operatoren gleichzeitig mit der selben Überwachungs- und Diagnoseebene arbeiten, ist es dabei erforderlich, dass mehrere Fokuspunkte gesetzt werden können. Ansichten, welche dies unterstützen, werden wie in Kapitel 3 beschrieben als *Multifoci-View* bezeichnet.

Im Folgenden werden zunächst die zur Visualisierung des Prozesses eingesetzten *Multifoci-Views* detailliert beschrieben. Im Anschluss daran folgt die Beschreibung der Interaktion mit der Überwachungs- und Diagnoseebene, welche sich hauptsächlich auf

das setzen der Fokuspunkte beschränkt. In Bezug auf das Interaktionsparadigma der Blended Interaction werden innerhalb dieses Kapitels vor allem die zwei Gestaltungsebenen der persönlichen Interaktion und der sozialen Interaktion & Kommunikation betrachtet.

4.3.1 Prozessvisualisierung

In einer Vorstudie wurde ein Vergleich einer Overview+Detail- und einer Focus+Context-Darstellung zur Visualisierung von Prozessvariablen innerhalb einer Verkehrsleitwarte mit 24 studentischen Probanden durchgeführt [SBMR11]. Während es sich bei der Overview+Detail-Darstellung um ein SplitScreen-Interface handelte (siehe Abbildung 4.3), wurde für das Focus+Context-Interface eine Fisheye-Linse (siehe Abbildung 4.4) eingesetzt.

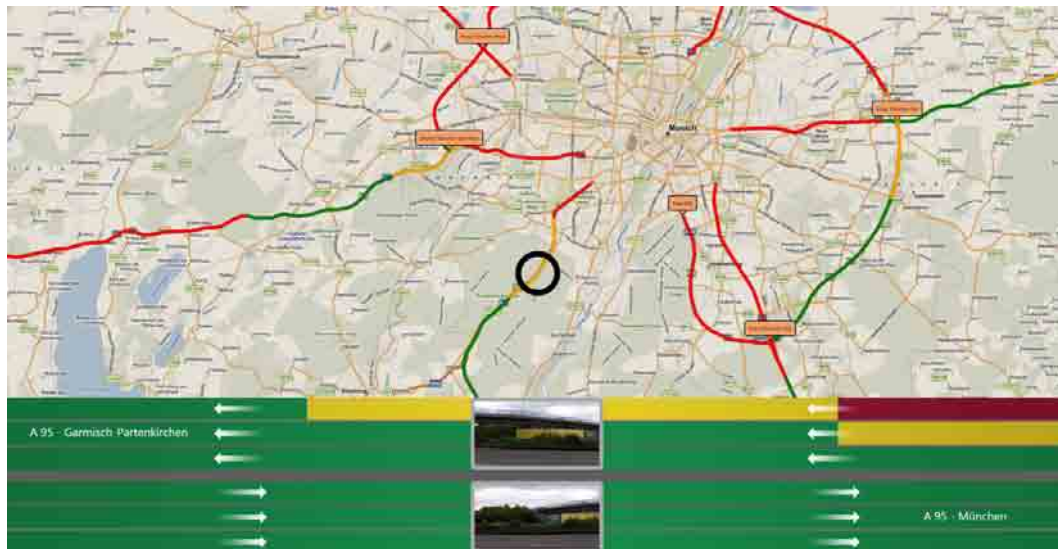


Abb. 4.3: Overview+Detail: Ein SplitScreen-Interface zur Visualisierung von Prozessvariablen [SBMR11]

Durch die Studie war eine klare Tendenz der Studienteilnehmer in Bezug auf die präferierte Visualisierung in Richtung der Focus+Context-Darstellung erkennbar. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden bei der SplitScreen-Darstellung große Schwierigkeiten hatten die Detailinformationen mental mit dem Kontext in Bezug zu setzen. Die Fisheye-Darstellung wurde der SplitScreen-Darstellung gegenüber deutlich bevorzugt, da wichtige Detailinformationen näher am Kontext angezeigt wurden. Als größter Vorteil der Focus+Context-Darstellung (Fisheye-Interface) gegenüber der Overview+Detail-Variante (SplitScreen-Interface) wurde jedoch die Eindeutigkeit der Verbindung von Detail- und Kontextinformationen genannt. Den Probanden fiel es bei der Fisheye-Darstellung deutlich leichter, eine Verbindung zwischen den Detailinformationen und dem Kontext herzustellen. Dies ist ein Grund,



Abb. 4.4: Focus+Context: Ein Fisheye-Interface zur Visualisierung von Prozessvariablen [SBMR11]

aus dem bei den hier vorgestellten Visualisierungskonzepten das Focus+Context-Entwurfsmuster eingesetzt wird. Das heißt, dass die Detailinformationen in die Übersichtsdarstellung integriert werden. Die Möglichkeit der Betrachtung von lokalen Details innerhalb der Übersichtsdarstellung ist vor allem wichtig, um einen als störend empfundenen Blickwechsel zwischen einem Übersichtsdisplay (Public Space) und einem Detaildisplay (Private Space) zu vermeiden [BGS01]. Ein weiterer Vorteil des Focus+Context-Entwurfsmusters ist, wie in Kapitel 3 diskutiert, der Vorteil gegenüber Overview+Detail- beziehungsweise Zooming-Interfaces, wenn diese als Multifoci-View genutzt werden.

Das entwickelte Konzept kann jedoch auch als Kombination aus allen drei Gruppen der Multiscale-Anwendungen angesehen werden, wobei das Focus+Context-Entwurfsmuster den Ausgangspunkt bildet und mit Funktionen aus den Gruppen der Overview+Detail-Interfaces als auch der Zooming Interfaces kombiniert wird. Es wird vermutet, dass eine Kombination von verschiedenen Techniken zur Darstellung von Prozessvariablen dabei helfen kann, die Qualität des Interfaces weiter zu verbessern.

Im Folgenden wird zum einen ein als HybridMagicLens-View bezeichnetes Visualisierungskonzept basierend auf Fisheye-Linsen vorgestellt, zum anderen eine Variante mit dem Namen Folding-View, welche eine adaptierte Form die Mélange Space Folding Technik nutzt. Beide Visualisierungsvarianten basieren auf denselben Konzepten, setzen diese jedoch auf unterschiedliche Weisen um. Ausgangspunkt ist bei beiden Konzepten eine Visualisierung des gesamten Prozesses in einem so geringen Detailgrad, dass diese vollständig auf der Überwachungs- und Diagnoseebene dargestellt werden können. Abbildung 4.5 zeigt eine solche Visualisierung am Beispiel

einer Verkehrsleitzentrale. Innerhalb der Verkehrsleitzentrale entspricht der Prozess einem Straßennetz. Ein geringer Detailgrad bedeutet in diesem Fall, dass lediglich die akkumulierte Verkehrssituation auf den Straßen dargestellt wird.

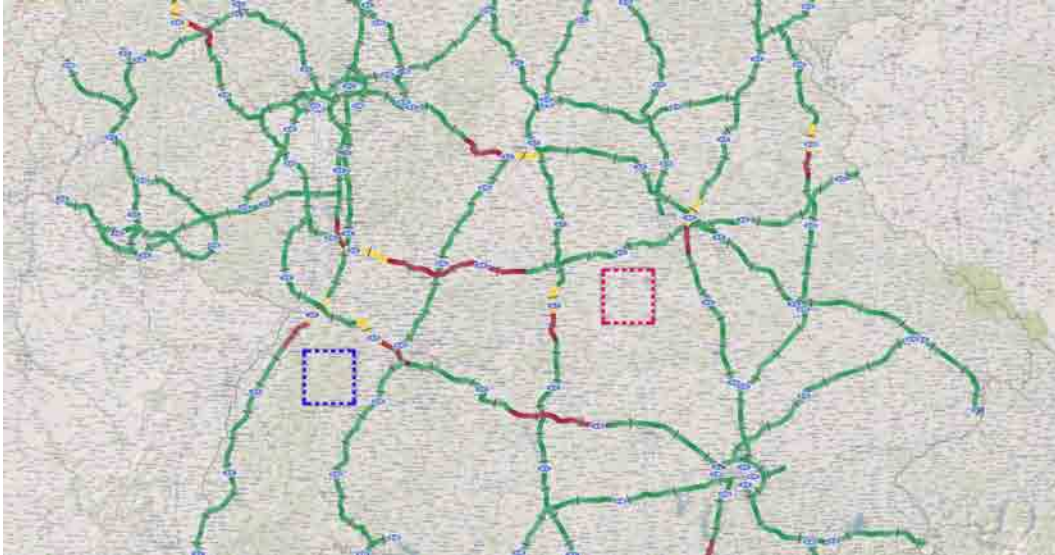


Abb. 4.5: Übersicht über den Überwachungsraum am Beispiel einer Verkehrsleitwarte, inklusive zweier Fokuspunkte (blaues und rotes Rechteck)

Zentrales Element der Visualisierungen sind die Fokuspunkte (siehe 4.5, blaues und rotes Rechteck), welche von einem oder mehreren Operatoren über die Visualisierung hinweg bewegt werden können. Die Art und Weise wie das Verschieben der Fokuspunkte erfolgt, wird in Kapitel 4.3.2 behandelt. Die Fokuspunkte geben an, zu welcher Stelle des Prozesses Detailinformationen vom Operator benötigt werden (engl. details on demand). Detailinformationen im Kontext einer Verkehrsleitzentrale sind zum Beispiel die Verkehrssituation auf den einzelnen Fahrspuren. Durch die Darstellung der Detailinformationen lediglich an diesen Stellen, wird das Problem einer Informationsüberflutung vermieden. Im Folgenden werden die zwei Visualisierungskonzepte zur Integration dieser Detailinformationen in die Gesamtübersicht des Prozesses konkret beschrieben und ihr Nutzen am Beispiel einer Verkehrsleitzentrale praktisch beleuchtet. Des Weiteren wird das Circles Konzept beschrieben, welches in Kombination mit den Visualisierungskonzepten (HybridMagicLens-View beziehungsweise Folding-View) eingesetzt werden kann um Veränderungen in der Prozessdynamik besser erfassen zu können.

4.3.1.1 HybridMagicLens-View

Bei der HybridMagicLens-View handelt es sich um eine Ansicht, bei welcher jeder Fokuspunkt um eine sogenannte HybridMagicLens (HML) ergänzt wird. Diese Linsen werden von den Operatoren über den Bereichen des Prozesses positioniert, welche

genauer betrachtet werden müssen und stellen eine transformierte Ansicht auf den Prozess bereit (siehe Abbildung 4.6). Eine solche HybridMagicLens ermöglicht es dem Operator, die für ihn interessanten Bereiche des zu überwachenden Prozesses genauer zu beobachten und mit Detailinformationen anzureichern, ohne dabei den räumlichen Kontext zu verlieren. Das heißt die HML erlaubt sowohl eine semantische als auch eine grafische Vergrößerung von Teilen der auf der Überwachungs- und Diagnoseebene dargestellten Prozessvisualisierung. Bei einer HML handelt es sich um eine Kombination aus einer Fisheye-Verzerrung und einem MagicLens-Filter. Beide Konzepte werden im Folgenden erläutert und es wird beschrieben, wie eine Kombination aus beiden Ansätzen für den Einsatz in Leitwarten genutzt werden kann.



Abb. 4.6: Integration der HML-View in das Gesamtkonzept

Für eine HML wird eine grafische Form einer Fisheye-Verzerrung genutzt. Das heißt, dass die Fisheye-Verzerrung eingesetzt wird, um den Bereich um den Fokuspunkt, die Fokusregion, räumlich gesehen zu vergrößern, also diesem mehr Platz auf dem Display einzuräumen. Um zu gewährleisten, dass eine grafische Vergrößerung nicht zu Lasten einer kontinuierlichen Darstellung geht, wird durch die Fisheye-Verzerrung der Bereich um die Fokusregion gestaucht. Für den Einsatz in dem hier behandelten Szenario muss dabei ein Algorithmus für eine Fisheye-Lens eingesetzt werden, welcher den Fokusbereich der Lens lediglich vergrößert und nicht verzerrt. Durch eine gleichmäßige Skalierung der X- und Y-Achse im Fokusbereich werden die Winkel sowie die Proportionen der Distanzen zwischen Linien erhalten. Die Geometrie der hier eingesetzten Fisheye-Linse entspricht einem Pyramidenstumpf (siehe Abbildung 4.7). Diese rechteckige Form einer Fisheye-Verzerrung wurde gewählt, da zum einen eine gleichmäßige Skalierung der Fokusregion gegeben ist und zum anderen die

Fokusregion der Linse auf der in Kapitel 4.4 vorgestellten Manipulationsebene erneut aufgegriffen wird. Hierbei wird sowohl auf der Überwachungs- und Diagnoseebene als auch auf der Manipulationsebene dieselbe Geometrie gewählt, um die mentale Verknüpfung dieser beiden Ansichten zu erleichtern. Des Weiteren wird vermutet, dass die Geometrie eines Pyramidenstumpfes für die Anwender leichter verständlich ist als eine abstraktere Form. Durch die Geometrie eines Pyramidenstumpfes soll dem Anwender der Eindruck vermittelt werden, dass sich die Linse dreidimensional aus der Prozessvisualisierung erhebt (siehe Abbildung 4.8). Um diesen Effekt zu erzeugen, wurde die Fisheye-Verzerrung mit einer Schattierung ergänzt. Wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, stellen auch Gutwin und Skopik [GS03] die Verzerrung ihrer Fisheye-Linse in einem dunkleren Grau dar, um dem Anwender die Verzerrung des Raums begreifbar zu machen. Der Einsatz von Schattierungen verfolgt den gleichen Zweck, vermittelt aber zusätzlich einen räumlichen Effekt, welcher das Verständnis für die Art der Verzerrung weiter verbessern soll.

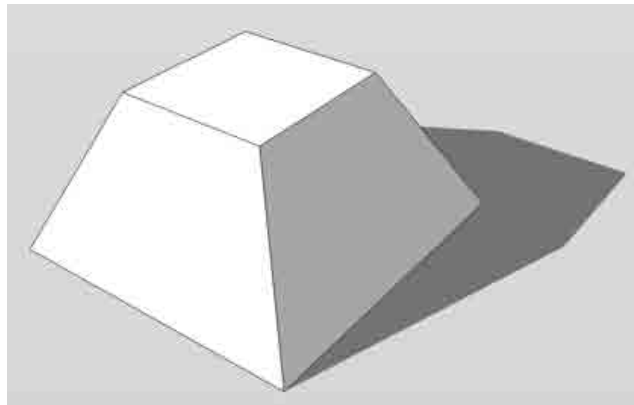


Abb. 4.7: Geometrie der HML

Innerhalb der Fokusregion der Fisheye-Verzerrung wird über einen MagicLens-Filter eine semantische Anreicherung des Prozessausschnitts durchgeführt. Konkret heißt dies, dass über einen MagicLens-Filter im Zentrum der Fisheye-Verzerrung Prozessvariablen zu dem sich unter der Linse befindlichen Bereich dargestellt werden können (siehe Abbildung 4.8).

Der Detailgrad der zusätzlichen Informationen innerhalb der HML kann dabei über einen semantischen Zoom gesteuert werden. In diesem Fall wird jedoch durch das Zooming nicht die gesamte Prozessvisualisierung skaliert, sondern lediglich die Geometrie der Fisheye-Linse und die Filtereigenschaften der MagicLens verändert. Ein Zoomen der gesamten Prozessvisualisierung ist aus zwei Gründen nicht möglich: Zum einen verschwinden durch ein Zoomen Bereiche der Prozessvisualisierung außerhalb des sichtbaren Bereichs und zum anderen müssten sich die Operatoren hierbei auf eine Zoomstufe festlegen, was abhängig von der jeweiligen Aufgabe des

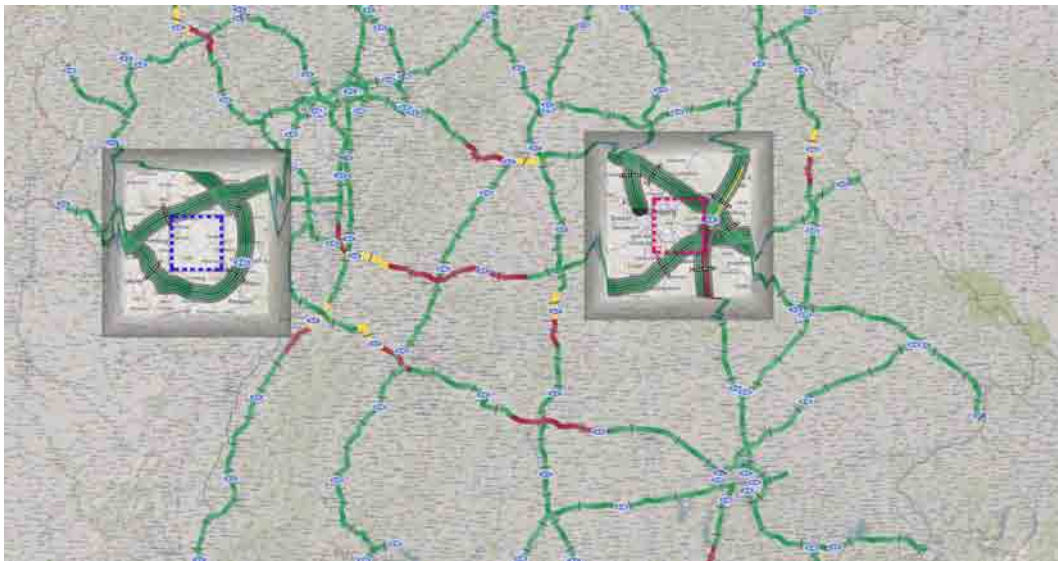


Abb. 4.8: HML-View am Beispiel einer Verkehrsleitwarte: Darstellung des gesamten Prozesses in einer stark abstrahierten Ansicht, wobei lediglich die kumulierte Verkehrssituation auf den Straßen farblich kodiert wurde. Für die Darstellung von Detailinformationen, im Speziellen der Verkehrssituation auf jeder einzelnen Farbspur werden zwei HML eingesetzt.

Operators eher hinderlich sein kann. Um dennoch einen semantischen Zoom zu ermöglichen, beschränkt sich dieser auf die HML. Zoomt der Nutzer weit heraus, wird keine Linse dargestellt. Durch ein Hineinzoomen erhebt sich die Linse aus der Prozessvisualisierung. Durch das Zoomen wird die tatsächliche Größe der Fokusregion sowie die Breite der Verzerrung der Linse nicht beeinflusst, allerdings wird die Höhe, das heißt die Ausdehnung der Linse auf der Z-Achse, manipuliert. Das heißt die Linse erhebt sich aus dem Display in Richtung des Anwenders (siehe Abbildung 4.9). Hierdurch wird die Skalierung der Fokusregion vergrößert, was wiederum mehr Platz für Detailinformationen schafft, und gleichzeitig wird die Stauchung der Randbereiche erhöht. Durch diesen Mechanismus ist es möglich die Zoomstufe einer jeden HML separat zu wählen. Eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus für die Verzerrung und auch das Zoomen innerhalb einer HML wird in Kapitel 5 geliefert.

4.3.1.2 Folding-View

Bei der Folding-View wird die Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene abhängig von der Position der Fokuspunkte gefaltet. Über die realweltliche Metapher eines gefalteten Blatt Papiers wird dabei ein leichteres Verständnis für die Verzerrung des Informationsraums ermöglicht [EHRF08]. Diese Ansicht entspricht somit einer Adaption der in Kapitel 3.2.3 vorgestellten Technik des Mélange Space Folding von Elmquist et al.[EHRF08, ERRF10], welche für den Einsatz in der

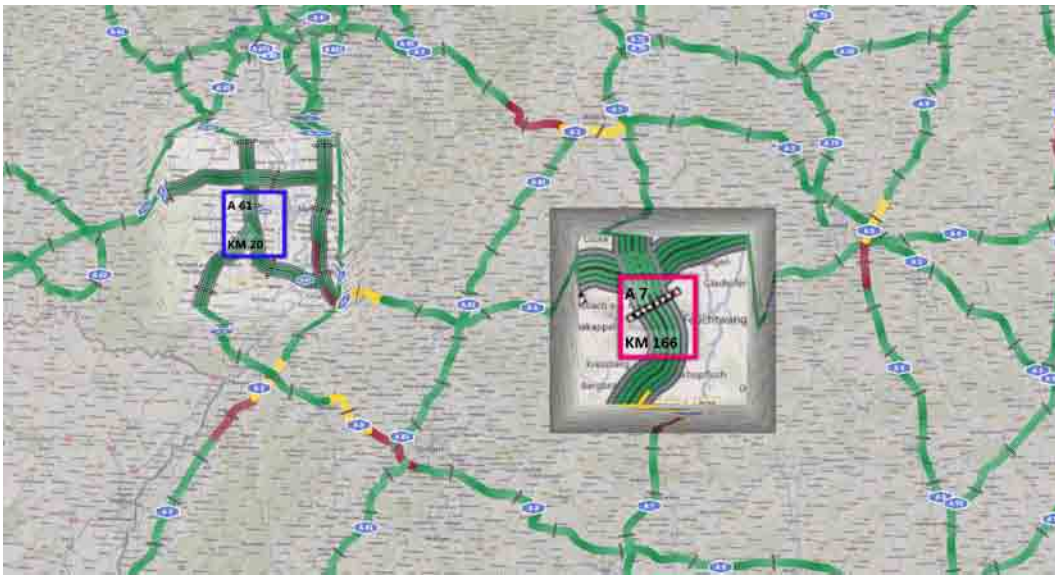


Abb. 4.9: Zwei HML mit unterschiedlichen Zoomstufen

Leitzentrale optimiert und besonders in Bezug auf die Interaktion erweitert wurde. Hierzu wird ähnlich wie bei der HML-View auch die Space Folding Technik mit einem MagicLens-Filter kombiniert, was wiederum sowohl eine grafische als auch eine semantische Vergrößerung von Teilen der auf der Überwachungs- und Diagnoseebene dargestellten Prozessvisualisierung ermöglicht (siehe Abbildung 4.10).

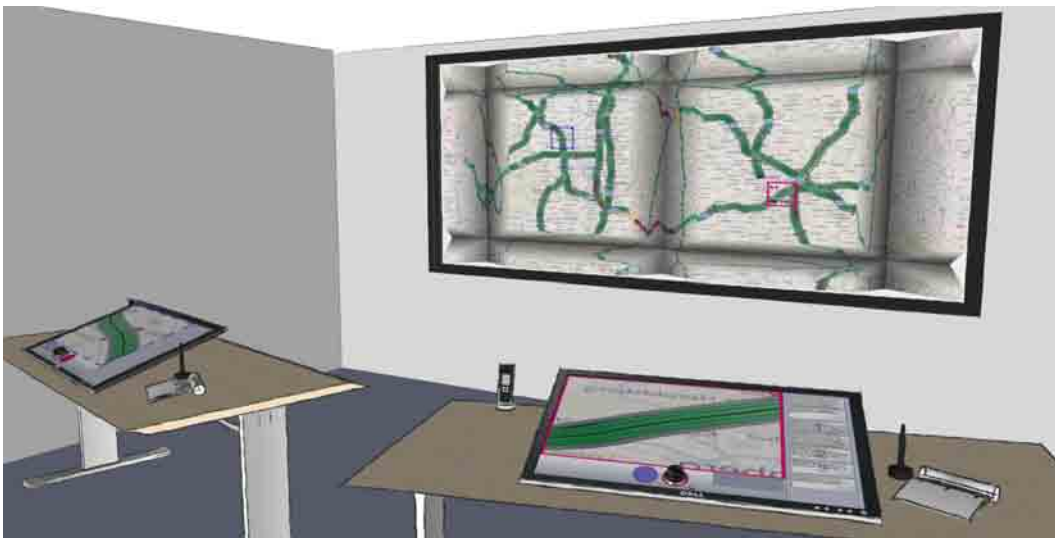


Abb. 4.10: Integration der Folding-View in das Gesamtkonzept

Über die Position der Fokuspunkte werden dabei Fokusregionen definiert, zu welchen Detailinformationen benötigt werden. Bereiche außerhalb der Fokusregionen werden durch das Einführen von horizontalen beziehungsweise vertikalen Falten in

die Tiefe des Bildschirms projiziert (siehe Abbildung 4.11). Diese Faltungen schaffen so mehr Raum auf dem Display, um die Fokusregionen grafisch größer darzustellen. Dieser zusätzliche Platz wird genutzt, um eine semantische Anreicherung der Prozessvisualisierung mit Detailinformationen über einen MagicLens-Filter innerhalb dieser Fokusregionen vorzunehmen. Der Kontext zu diesen zusätzlichen Detailinformationen bleibt dabei durch die Faltungen erhalten. Neben dem Erhalt des Kontextes wird dem Anwender durch die Metapher der Faltungen ein Gefühl für die Distanzen zwischen den Fokuspunkten vermittelt [EHRF08]. Ähnlich wie bei der HML-View wird der dreidimensionale Charakter dieser Ansicht mit Hilfe von Schattierungen verstärkt, um dem Anwender ein besseres Verständnis der Verzerrung zu ermöglichen. Dabei wird eine Faltung immer dann eingefügt, wenn sich die Fokuspunkte so weit voneinander entfernen, dass eine unverzerrte Darstellung des Prozesses zwischen diesen Fokuspunkten aus Platzgründen nicht mehr möglich ist. Ist dies der Fall wird eine neue Faltung eingefügt, welche mit zunehmender Distanz der Fokuspunkte an Tiefe gewinnt und gleichzeitig ein größerer Teil der Prozessvisualisierung in diese "hineinfließt". Eine solche kontinuierliche Transformation der Visualisierung erleichtert dabei die Interpretation der Verzerrung erheblich. Der dem Faltungsprozess zugrunde liegende Algorithmus sorgt dafür, dass eine Faltung nicht abrupt erscheint oder verschwindet, sondern sich eine Faltung kontinuierlich entwickelt, indem die Tiefe der Falte kontinuierlich erhöht beziehungsweise verringert wird. In Bezug auf die Positionierung der Fokuspunkte ist es dabei wichtig, diese kontinuierlich zu verschieben und nicht abrupt zu einer Position im Prozess zu springen. Das entwickelte Navigationskonzept, um einen Fokuspunkt kontinuierlich über die Prozessvisualisierung zu bewegen, wird in Kapitel 4.3.2 vorgestellt. Im Anhang A ist eine kontinuierliche Transformation des Informationsraums durch ein Verschieben eines Fokuspunktes zu finden. Die Folding-View gewährleistet des Weiteren, dass sich ein Fokuspunkt niemals in einer Faltung befindet. Außerdem wird die relative Position einzelner Objekte zueinander stets gewahrt. Das heißt, dass, wenn sich zum Beispiel ein Druckkessel in der Prozessvisualisierung eines Kraftwerkes oberhalb eines Ventils befindet, dieser auch nach der Faltung der Prozessvisualisierung oberhalb des Ventils liegt. Der Algorithmus wird in Kapitel 5 nochmals genauer beschrieben.

4.3.1.3 Circles

Ein Element, welches bei beiden zuvor vorgestellten Techniken für die Prozessvisualisierung zum Einsatz kommt, sind die Circles. Bei den Circles handelt es sich um kreisförmige Visualisierungen, welche über eine Animation ihre Größe ändern, und an den Stellen der Prozessvisualisierung platziert werden, an welchen vom System eine Veränderung in der Prozessdynamik festgestellt wurde. In Bezug auf das Modell der sequenziellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen

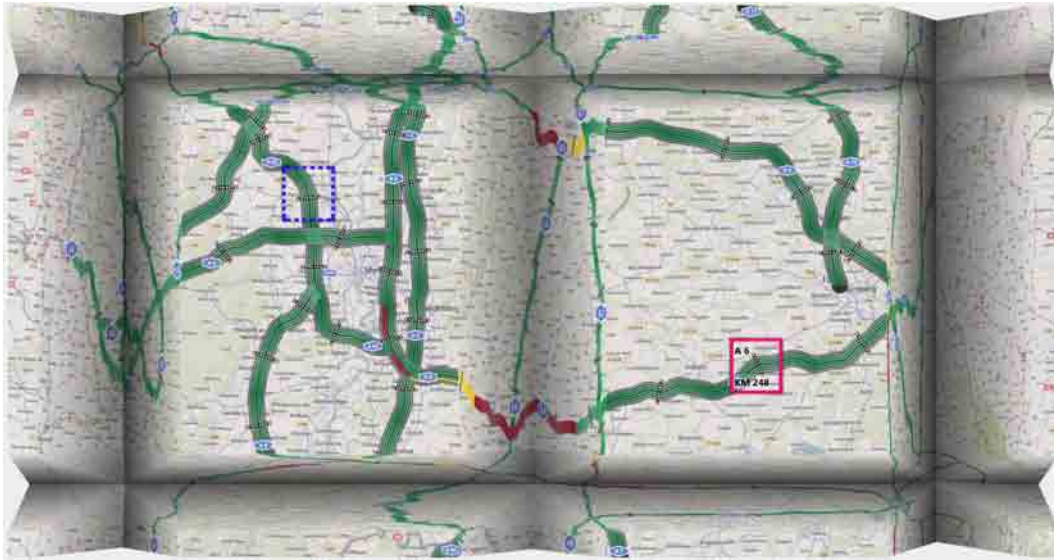


Abb. 4.11: Folding-View am Beispiel einer Verkehrsleitwarte: Darstellung des gesamten Prozesses, wobei in den Falten lediglich die kumulierte Verkehrssituation auf den Straßen farblich kodiert dargestellt wird und nur innerhalb der Fokusregionen Detailinformationen, das heißt im Speziellen die Verkehrssituation auf jeder einzelnen Fahrspur, dargestellt werden

von Rasmussen [Ras84] (vgl. Kapitel 2) handelt es sich bei den Circles somit um Elemente, die eine Aktivierung auslösen. Dieses Element ist deshalb erforderlich, da eine Veränderung im Prozess ohne einen solchen starken visuellen Hinweis vom Operator auf Grund des Problems der Veränderungsblindheit (engl. change blindness) nicht zu erfassen ist [ROC97]. Die Veränderungsblindheit bezeichnet ein Phänomen der visuellen Wahrnehmung, bei dem teilweise große Änderungen in einer visuellen Szenerie vom Betrachter nicht wahrgenommen werden können. Blickt der Operator beispielsweise auf die Prozessvisualisierung und wird die Aufmerksamkeit für kurze Zeit, etwa durch einen Telefonanruf, abgelenkt, so erkennt der Operator zwischenzeitliche Veränderungen innerhalb der Prozessvisualisierung nicht, auch wenn diese umfangreich sind [ROC97]. In einer Verkehrsleitwarte werden so zum Beispiel Veränderungen im Verkehrsaufkommen, welche lediglich durch eine sich ändernde farbliche Kodierung des Straßenverlaufs innerhalb der Prozessvisualisierung dargestellt werden, in den meisten Fällen vom Operator nicht erkannt. Aus diesem Grund werden an solchen neuralgischen Stellen in der Prozessvisualisierung die animierten Circles eingesetzt (siehe Abbildung 4.12).

4.3.2 Interaktionskonzept

Die Interaktion mit der Überwachungs- und Diagnoseebene wurde unabhängig davon gestaltet, welche der zuvor vorgestellten Visualisierungstechniken eingesetzt wird.

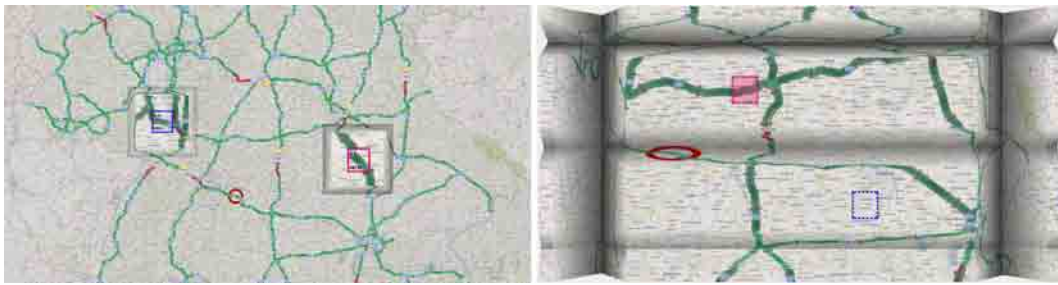


Abb. 4.12: Einsatz von animierten Circles zur Visualisierung von Veränderungen in der Prozessdynamik: (links) HML-View; (rechts) Folding-View

Die Interaktion beschränkt sich dabei auf die Auswahl eines Fokuspunktes sowie das Verschieben eines Fokuspunktes, das heißt die Navigation innerhalb der Prozessvisualisierung. Da die Prozessvisualisierung auf einem entfernten großen Display abgebildet wird, ist diese für den Operator nicht direkt erreichbar. Eine direkte Manipulation über eine Touch-Bedienung ist durch die in einer Leitwarte vorherrschenden Restriktionen somit nicht möglich. Aus diesem Grund wird für die Interaktion ein Eingabegerät (SpaceNavigator; www.3dconnexion.de) mit 6 Freiheitsgraden (engl. degrees of freedom; DOF) eingesetzt welches sich bereits innerhalb einer Vorstudie bewährt hat [SBMR11, BSMR12]. Der SpaceNavigator ähnelt einem Joystick und bietet unter anderem die Funktionen Kippen (in jede beliebige Richtung), Drehen (stufenlos, mit Anschlag) sowie Ziehen und Drücken und besitzt dabei einen spürbaren Widerstand, was auch eine Blindbedienung möglich macht. Die vom SpaceNavigator unterstützten Funktionen sind in Abbildung 4.13 zu sehen. Joystickähnliche Eingabegeräte werden bereits heute in Leitwarten eingesetzt. Im Folgenden wird ein Konzept vorgestellt, um die Primäraufgaben der Überwachung und Diagnose mit Hilfe des beschriebenen Eingabegeräts besser zu unterstützen und dabei die Stärken des Eingabegeräts zu nutzen. Jeder Operator besitzt einen SpaceNavigator an seinem Arbeitsplatz, der es ihm ermöglicht mit der Überwachungs- und Diagnoseebene zu interagieren, das heißt einen oder mehrere Fokuspunkte auf dieser zu platzieren.



Abb. 4.13: Funktionen des SpaceNavigators: (links) Kippen; (Mitte) Drehen; (rechts) Drücken/Ziehen

4.3.2.1 Selektion

Um einen Fokuspunkt manipulieren zu können, das heißt um mit Hilfe des Fokuspunktes Detailinformationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene abzurufen, muss dieser zunächst selektiert werden. Die Selektion eines Fokuspunktes geschieht über die Manipulationsebene. Abbildung 4.19, links zeigt einen Screenshot der Manipulationsebene. Die Manipulationsebene besitzt zwei sogenannte TokenContainer (siehe roten und blauen Kreis in Abbildung 4.19, links). Jeder TokenContainer steht für einen Fokuspunkt auf der Überwachungs- und Diagnoseebene. Um einen dieser Fokuspunkte zu selektieren, wird der SpaceNavigator auf den entsprechenden TokenContainer gestellt (siehe Abbildung 4.19, rechts). Der SpaceNavigator fungiert in diesem Fall, als eine Art Token. Über ein visuelles Feedback (siehe Abbildung 4.15, (3)) wird dem Operator signalisiert, dass der Fokuspunkt ausgewählt wurde. Die Selektion eines Fokuspunktes ist nur möglich, wenn dieser nicht bereits von einem anderen Operator genutzt wird. Ist dies der Fall wird die Visualisierung des TokenContainers in einem Disabled Status dargestellt (siehe Abbildung 4.15, (2)). Durch das Herunternehmen des SpaceNavigators von einem TokenContainer wird der entsprechende Fokuspunkt wieder für die Benutzung durch andere Operatoren freigegeben. Die flexible Zuordnung der Fokuspunkte zu den Operatoren beziehungsweise zu einem Arbeitsplatz ermöglicht es, dass ein Operator auch mehrere Fokuspunkte übernehmen kann. Dies kann zum Beispiel dann hilfreich sein, wenn nur ein Operator anwesend ist. Sind mehrere Operatoren in der Leitzentrale, bietet diese Art des TUIs den Vorteil, dass auch für andere Operatoren ersichtlich ist, welcher Fokuspunkt selektiert wurde.

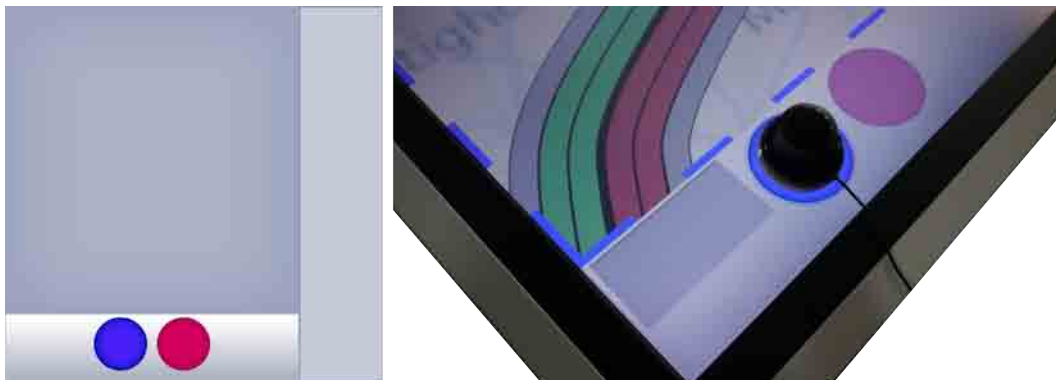


Abb. 4.14: TokenContainer: (links) Screenshot der Manipulationsebene; (rechts) Selektion eines Fokuspunktes über SpaceNavigator

4.3.2.2 Navigation

Durch die Darstellung der Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene und die damit verbundene relativ große Entfernung des Operators zu diesem

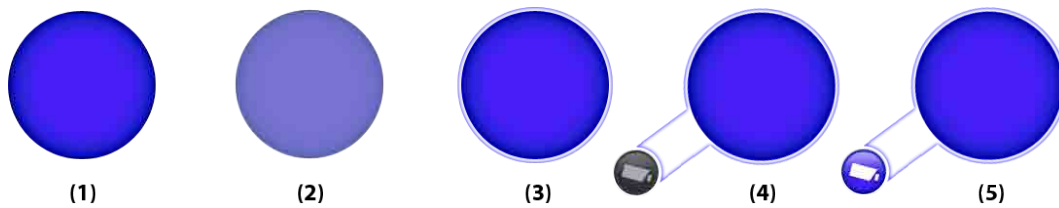


Abb. 4.15: Status des TokenContainers: (1) Enabled, Selektion des Fokuspunktes möglich; (2) Disabled, Selektion des Fokuspunktes nicht möglich; (3) Fokuspunkt selektiert, keine Verbindung zur Straße; (4) Fokuspunkt selektiert, Verbindung zur Straße, keine zusätzlichen Detailinformationen; (5) Fokuspunkt selektiert, Verbindung zur Straße, zusätzliche Detailinformationen

Display wird zum Beispiel die exakte Positionierung der Fokuspunkte durch ein Zeigergerät wie zum Beispiel einer Maus erschwert. Diese Tatsache macht es erforderlich, dass die Interaktionstechnik, die für die Positionierung der Fokuspunkte eingesetzt wird, auch inexakte Eingaben des Operators ausgleichen kann. In Leitwarten ist besonders die Navigation in netzwerkartigen Informationsräumen, wie Straßen-, Schienen- oder Stromnetzen sowie auch Fließbilder einer Produktionslinie, relevant. Topologische Informationen über eine solche netzwerkartige Struktur können genutzt werden, um die Navigation, das heißt das Verschieben der Fokuspunkte, zu optimieren. Die Navigationsmöglichkeiten sollten dabei an die Bedürfnisse und Aufgaben der Operatoren angepasst werden. Für die Primäraufgaben der Überwachung und besonders der Diagnose muss eine direkte beziehungsweise schnelle Navigation an einen spezifischen Punkt innerhalb der Prozessvisualisierung möglich sein, um dort die nötigen Informationen abrufen zu können. Neben dem Abrufen von Detailinformationen an einem spezifischen Punkt im Prozess ist jedoch auch häufig das sequenzielle Abrufen von Detailinformationen über einen gewissen Bereich des Prozesses hinweg relevant. So würde es zum Beispiel eine effiziente Navigation entlang eines Straßenverlaufes ermöglichen, kontinuierlich Prozessvariablen für einen größeren Streckenabschnitt zu betrachten, um so die Position der Ursache eines anormalen Prozesszustandes zu ermitteln. Basierend auf diesen Punkten wurde ein Interaktionskonzept entwickelt, welches Operatoren bei ihrer täglichen Aufgabe, der Überwachung des Prozesses und besonders bei der Diagnose einer Problemursache, unterstützt. Das grundlegende Interaktionskonzept basiert dabei auf einer inhaltssensitiven Navigation. Bei dieser Art der Navigation wird der zugrundeliegende Datenraum genutzt, um die Navigation zu verbessern. Bei der Navigation in netzwerkartigen Strukturen sind besonders die Kanten und Knoten relevant. Bei der Überwachung eines Straßennetzes bedeutet das, dass bei der Navigation sowohl die Straßenverläufe als auch die Kreuzungen berücksichtigt werden. In einer Vorstudie mit 24 Studenten wurden unterschiedliche Varianten einer inhaltssensitiven Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators miteinander

der verglichen [SBMR11]. Innerhalb des hier vorgestellten Konzeptes wurde dabei die Variante aus der Vorstudie eingesetzt, welche am besten bewertet wurde. Diese Variante des Navigationskonzeptes wird im Folgenden beschrieben. Das Navigationskonzept kann dabei in zwei Bereiche unterteilt werden: Die freie Navigation und die inhaltsensitive Navigation.

Freie Navigation Innerhalb der freien Navigation ist ein Verschieben des Fokuspunktes über ein Kippen des Eingabegeräts möglich, das heißt der Fokuspunkt verschiebt sich entsprechend der Kipprichtung. Wie Studien zeigen, hat die Art des Eingabegeräts bei dieser als Vector-Scrolling bezeichneten Navigationstechnik einen erheblichen Einfluss auf die Effektivität. Eingabegeräte mit 6 DOF wie zum Beispiel der SpaceNavigator eignen sich durch ihre automatische Zentrierung besonders für die vektorbasierte Navigation [ZMD93]. Der Vorteil des Vector-Scrollings mit einem selbstzentrierenden Eingabegerät gegenüber dem mausbasierten Panning liegt in der kontinuierlichen Bewegung, das heißt die Navigation muss nicht in einzelne Teilschritte zerlegt werden. Die Navigationsgeschwindigkeit ist dabei abhängig vom Kippausschlag. Bei einem geringen Ausschlag ist damit ein exaktes Annavigieren eines spezifischen Punktes möglich, während bei einem großen Ausschlag auch große Distanzen überbrückt werden können. Das Groß- beziehungsweise Klein-Zoomen ist über ein Drücken beziehungsweise Ziehen des Eingabegeräts (siehe Abbildung 4.13, rechts) möglich (nur bei HML-View). Der aktuelle Fokuspunkt wird dabei durch ein polymodales Navigationselement (siehe Abbildung 4.16 und 4.17) dargestellt, welches den Nutzer bei der Navigation unterstützt. In der freien Navigation dient das Navigationselement als Fadenkreuz, um eine gezieltere Navigation zu ermöglichen. Zusätzlich wird ein Richtungspfeil (siehe Abbildung 4.16, links) innerhalb des Navigationselements angezeigt, welcher die aktuelle Kipprichtung wiedergibt.



Abb. 4.16: Polymodales Navigationselement: (links) Richtungspfeil; (rechts) Wechsel in die inhaltsensitive Navigation möglich

Inhaltssensitive Navigation Bei der inhaltssensitiven Navigation werden dem polymodalen Navigationselement weitere Funktionen hinzugefügt. Das Navigationselement signalisiert dem Operator so zum Beispiel, ob eine Verbindung zu einer Kante hergestellt werden kann oder welche Kante an einem Knoten selektiert wurde. Die einzelnen Funktionen der inhaltssensitiven Navigation werden im Folgenden erläutert. Dabei wird das Konzept der Navigation wiederum am Beispiel einer Verkehrsleitzentrale verdeutlicht.

Herstellen einer Verbindung: Bei der Positionierung des Navigationselements über einer Kante ändert sich der Status des Navigationselements – das Rechteck wird mit einem farbigen Schleier versehen (siehe Abbildung 4.17, rechts). Um ein schnelleres und fehlerfreies Ansteuern einzelner Kanten zu ermöglichen, wird die Nutzerbewegung des Zeigers also des Navigationselements, durch dynamische Kraftfelder beeinflusst. Diese sogenannten Dynamic Force Fields wirken sowohl auf die Geschwindigkeit als auch auf die Richtung des Navigationstools ein [AHL06]. Bezogen auf die Geschwindigkeit bedeutet dies, dass die Kanten im motorischen Raum größer wirken, das heißt eine dynamische Anpassung des control-to-display gain vorgenommen wird. Durch eine Reduzierung der Zeigergeschwindigkeit (engl. low gain) über Kanten werden diese von der notwendigen motorischen Bewegung her gesehen größer. Befindet sich das Navigationselement über einer Kante, kann durch eine Drehbewegung (siehe Abbildung 4.13, Mitte) am Eingabegerät eine Verbindung zu dieser hergestellt werden. Das angedeutete Rechteck des Navigationselements wird geschlossen und weist somit auch visuell auf einen Wechsel von der freien Navigation in die inhaltssensitive Navigation hin (siehe Abbildung 4.17, links). Das Navigationselement markiert dabei die aktuelle Position auf der zuvor vom Operator ausgewählten Kante. Über ein erneutes Drehen des Eingabegeräts kann eine bestehende Verbindung wieder gelöst werden, wobei sich wiederum das Erscheinungsbild des Navigationselements ändert.

Folgen des Kantenverlaufs: Bei einer bestehenden Verbindung zu einer Kante kann der Operator mit Hilfe des SpaceNavigators dem Kantenverlauf folgen. Hierfür wird das Eingabegerät in die antizipierte Navigationsrichtung gekippt. Dabei genügt es, diese Bewegung grob in Richtung des gewünschten Kantenverlaufs auszuführen. Während der Navigation entlang der Kante ist es bei der HML-View weiterhin möglich, durch Drücken und Ziehen gleichzeitig die Zoomstufe zu ändern (siehe Abbildung 4.13, rechts). Bei der Navigation entlang einer Kante wird das polymodale Navigationselement, also der Fokuspunkt, über den Kantenverlauf hinwegbewegt, so dass der Operator dem tatsächlichen Kantenverlauf folgt und nicht, wie beim Panning, geradlinige Distanzen zurücklegt. Ein weiterer Vorteil im Gegensatz zum Panning ist, dass die Navigation bei dieser

Interaktionstechnik nicht in Teilschritte (in Form von stetigem „Nachgreifen“) zerlegt wird.



Abb. 4.17: Polymodales Navigationselement: (links) Geschlossenes Rechteck als Feedback für die Verbindung zur Straße; (rechts) Selektion der Straße an einer Kreuzung

Kantenwechsel an Knoten: An Knotenpunkten wird die Navigation automatisch unterbrochen und das Navigationselement signalisiert durch einen Farbwechsel, dass der Selektionsmodus aktiviert wurde (siehe Abbildung 4.17, rechts). An Knoten kann die gewünschte Kante wiederum durch eine Kippbewegung in die entsprechende Richtung ausgewählt werden. Die Bewegung muss hierbei nur grob in Richtung des antizipierten Straßenverlaufs ausgeführt werden, wobei prinzipiell die Kante gewählt wird, welche der Kipprichtung am ehesten entspricht.

Animierte Navigation: Bei der animierten Navigation zwischen Knoten handelt es sich um eine Funktion, um schnell große Distanzen überbrücken zu können. Die animierte Navigation wird ausgelöst, indem die Funktion zum Folgen der Straße zweimal kurz hintereinander ausgeführt wird, das heißt durch ein zweimaliges Kippen des Eingabegeräts in die gewünschte Navigationsrichtung. Durch die animierte Navigation wird der nächste Knoten über eine Animation entlang des Kantenverlaufs angesteuert, ohne dass eine weitere Interaktion des Nutzers erforderlich ist. Durch die Animation wird die kontinuierliche Wahrnehmung des Nutzers erhalten [RCM93], was eine einfachere Orientierung auf der Karte ermöglicht. Die Navigation wird beendet, wenn ein Knoten erreicht wurde oder wenn eine weitere Eingabe des Benutzers erfolgt. Durch diese animierte Navigation in Verbindung mit der manuellen Navigation entlang von Kanten kann zum einen schnell durch das Netz navigiert werden und zum anderen kann jede Position des Netzes manuell exakt angesteuert werden. Zahlreiche andere Konzepte ermöglichen ebenfalls das Springen zwischen Knoten (zum Beispiel

Bring&Go [MCH⁺09] oder Hopping [IGY06]) oder auch die Navigation entlang von Kanten (zum Beispiel Link Sliding [MCH⁺09] oder ContentAwareScrolling [IF06]). Eine Kombination beider Ansätze konnte nicht identifiziert werden.

4.3.2.3 Details-on Demand

Neben der Akzeptanz von inexakten Eingaben bietet die inhaltsensitive Navigation einen weiteren Vorteil. Durch den eindeutigen Kontext, welcher durch die inhaltsensitive Navigation gegeben ist, können zusätzliche Detailinformationen exakt gefiltert und bei Bedarf angeboten werden. Wie in Abbildung 4.17 zu sehen, kann so beim Folgen eines Straßenverlaufs zum Beispiel die exakte Position über die Angabe der Kilometer erfolgen. Zusätzlich ist es zum Beispiel auch möglich, das Kamerabild zu einem Straßenabschnitt automatisch darzustellen. Dabei kann über die inhaltsensitive Navigation nicht nur das richtige Kamerabild selektiert, sondern auch der Winkel der Kamera bestimmt werden. Über die Anpassung des Winkels der Kamera wird somit beim Folgen der Straße ein automatischer Kameraschwenk durchgeführt und anschließend auf die nächste Kamera umgeschaltet. Solche zusätzlichen Detailinformationen können auf einem separaten Display dargestellt werden. Es ist aber auch möglich, diese in die Prozessvisualisierung der Überwachungs- und Diagnoseebene zu integrieren. Um eine unnötige Überdeckung der Prozessvisualisierung zu vermeiden, ist es aber wichtig diese Informationen nur bei Bedarf darzustellen. So können in dem hier behandelten Beispiel einer Verkehrsleitzentrale die Kamerabilder bei Bedarf zu- oder abgeschaltet werden. Dies geschieht wiederum über die Manipulationsebene. Wurde eine Verbindung zu einer Kante, in diesem Fall zu einer Straße, hergestellt, verändert sich der Zustand des entsprechenden TokenContainers auf der Manipulationsebene (siehe Abbildung 4.15, (4) und (5)). Dem TokenContainer wird ein Button hinzugefügt, über welchen zusätzliche Detailinformationen einbeziehungsweise ausgeblendet werden können. Die zusätzlichen Detailinformationen wie beispielsweise Kamerabilder können dabei um den Fokuspunkt herum platziert werden (siehe Abbildung 4.18). Dabei wird die exakte Position der Kamerabilder abhängig vom Straßenverlauf bestimmt. Somit wird eine geringe Überdeckung der übrigen Informationen gewährleistet. Bei einer Änderung des Straßenverlaufs wird die Positionierung der Kamerabilder dynamisch angepasst.

4.4 Manipulationsebene

Da die Manipulation von Prozessvariablen nur einen relativ kleinen Teil der Arbeit eines Operators ausmacht, kann diese Tätigkeit auf ein horizontales Display verlagert werden, was die Möglichkeit schafft, die Stärken dieser Displayausrichtung zu nutzen. Die Manipulationsebene ist dabei stets an die Überwachungs- und Diagnoseebene

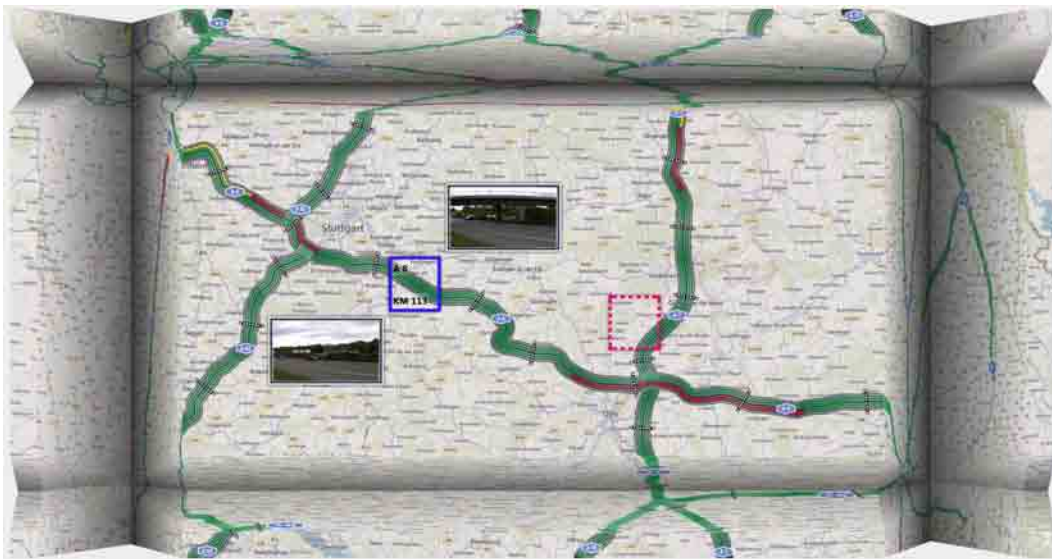


Abb. 4.18: Integration von Detailinformationen: Positionierung der Kamerabilder (jeweils ein Kamerabild pro Fahrtrichtung) abhängig vom Straßenverlauf am Beispiel der Folding-View

gekoppelt. Das heißt, welche Informationen auf der Manipulationsebene dargestellt werden und auch welche Prozessvariablen manipuliert werden können, hängt von der Positionierung der Fokuspunkte auf der Überwachungs- und Diagnoseebene ab. In Bezug auf das Interaktionsparadigma der Blended Interaction werden innerhalb dieses Kapitels sowohl die Gestaltungsebenen der persönlichen Interaktion und der sozialen Interaktion & Kommunikation sowie die Gestaltungsebene der realen und computergestützten Abläufe betrachtet. Abbildung 4.19 zeigt die Manipulationsebene bestehend aus drei Bereichen: TokenContainer, Prozessvisualisierung und Meldungsliste. Die TokenContainer wurden bereits im vorherigen Kapitel beschrieben. In diesem Kapitel werden die Prozessvisualisierung, die Möglichkeit der Manipulation von Prozessvariablen sowie die Funktionsweise der Meldungsliste erläutert.

4.4.1 Prozessvisualisierung

Die Prozessvisualisierung auf der Manipulationsebene entspricht einer hohen Skalierung des Ausschnitts der Überwachungs- und Diagnoseebene, welcher durch das polymodale Navigationselement markiert wird (siehe Abbildung 4.6 und 4.10). Das heißt, wenn der aktuell selektierte Fokuspunkt verschoben wird, wird auch der entsprechende Detailausschnitt der Manipulationsebene angepasst. Somit entspricht die Kombination aus Überwachungs- und Manipulationsebene einem klassischen Overview+Detail-Interface. Jedoch wird durch die klare Trennung der beiden Ebenen in Bezug auf die Aufgaben, die mit dem jeweiligen Display erfüllt werden, ein unnötiger Blickwechsel vermieden. Innerhalb der Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und

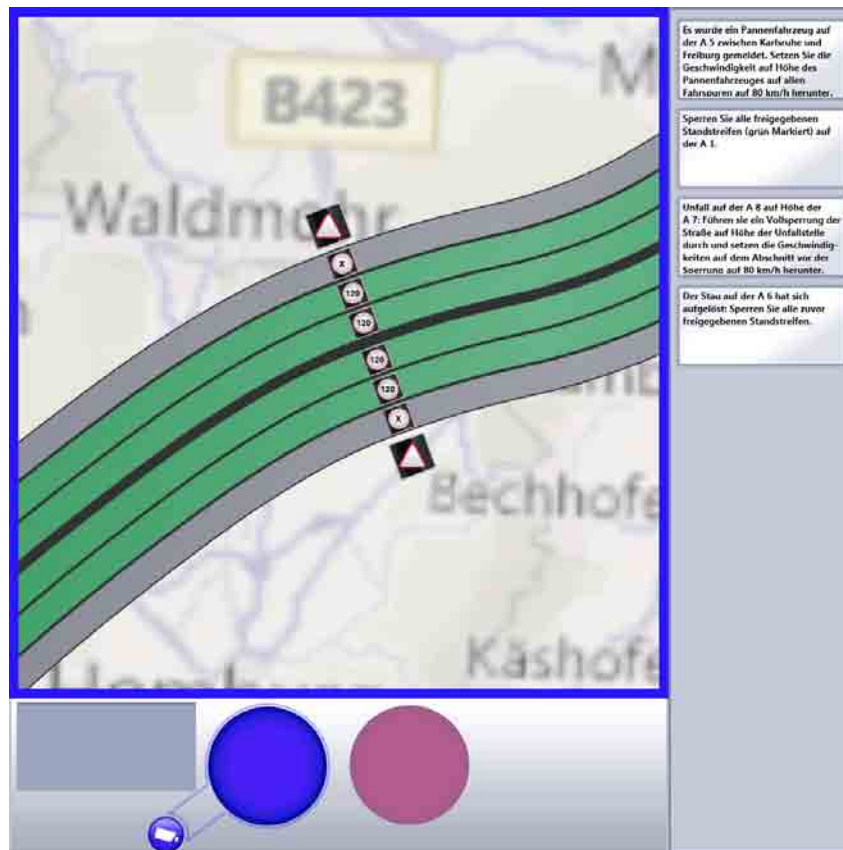


Abb. 4.19: Manipulationsebene bestehend aus drei Teilen: Prozessvisualisierung, TokenContainern und Meldungsliste

Diagnoseebene können durch die hohe Skalierung alle Detailinformationen, welche auch auf der Überwachungs- und Diagnoseebene sichtbar sind, plus zusätzliche Prozessvariablen, die vom Operator manipuliert werden können, dargestellt werden. Am Beispiel einer Verkehrsleitzentrale bedeutet dies, dass sowohl die Verkehrssituation auf jeder einzelnen Fahrspur als auch die eingestellten Verkehrszeichen der Verkehrsbeeinflussungsanlagen in den Kontext des Straßennetzes integriert werden können (siehe Abbildung 4.19). Um den Bezug der Prozessvisualisierung auf der Manipulationsebene zum entsprechenden Fokuspunkt auf der Überwachungs- und Diagnoseebene zu verdeutlichen, wird diese mit einem farblich zum Fokuspunkt abgestimmten Rahmen versehen (siehe blauer Rahmen in Abbildung 4.19).

4.4.2 Interaktionskonzept

Die Interaktion mit der Manipulationsebene kann in zwei Bereiche untergliedert werden: Zum einen die Auswahl und Manipulation von Prozessvariablen und zum anderen das Meldungsmanagement. Jedoch sind beide Bereiche hier nur als beispielhafte Lösungen zu verstehen.

4.4.2.1 Manipulation von Prozessvariablen

Die Manipulation von Prozessvariablen wird innerhalb des Konzeptes nur am Rande behandelt. Hierbei ist es nicht das Ziel, die optimale Eingabemodalität oder das optimale Eingabeelement für die Manipulation von Prozessvariablen zu finden, sondern es soll eine Basis geschaffen werden, um die gewünschten Prozessvariablen leicht erreichen zu können. Im Folgenden wird zunächst erläutert, wie die gewünschten Prozessvariablen aufgerufen werden können. Im Anschluss wird ein Beispiel dafür gegeben, wie eine Manipulation einer Prozessvariablen mit Hilfe eines Multitouch-Displays gestaltet werden kann.

Navigation Wie bereits erwähnt, wird der Ausschnitt des Prozesses auf der Manipulationsebene mit dem Fokuspunkt der Überwachungs- und Diagnoseebene synchronisiert. Die Auswahl der auf der Manipulationsebene manipulierbaren Prozessvariablen erfolgt somit über die inhaltssensitive Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators. Das heißt hat ein Operator die Ursache eines Problems mit Hilfe der Überwachungs- und Diagnoseebene diagnostiziert, wechselt dieser auf die Manipulationsebene, um steuernd in den Prozess eingreifen zu können. Auf der Manipulationsebene ist dabei durch die Synchronisation prinzipiell keine erneute Auswahl des Kontextes nötig. In manchen Situationen ist es jedoch erforderlich, Prozessvariablen auch außerhalb des aktuell sichtbaren Prozessausschnitts zu manipulieren. Um in diesen Situationen einen ständigen Wechsel zwischen der Manipulationsebene und der Überwachungs- und Diagnoseebene zu vermeiden, wird innerhalb der Manipulationsebene das Verschieben des sichtbaren Prozessausschnitts über ein Pannen ermöglicht. Dabei wird auch hier das Konzept der inhaltssensitiven Navigation beibehalten. Das heißt, dass, wenn eine Verbindung zu einer Kante hergestellt wurde, eine Pan-Operation auf den Kantenverlauf gemappt wird. Somit muss die Pan-Operation auch hier nur grob in Richtung des Kantenverlaufs erfolgen. An einem Knoten wird die Navigation unterbrochen und durch eine erneute Pan-Operation entlang der antizipierten Kante fortgesetzt. Befindet sich der Operator hingegen in der freien Navigation, kann auch innerhalb der Manipulationsebene über ein Pannen frei navigiert werden. Diese Navigationsfunktion auf der Manipulationsebene ist zum Beispiel in Verkehrsleitzentralen unverzichtbar. Wird mit Hilfe der Manipulationsebene ein Seitenstreifen freigegeben, erfolgt dies meist über eine längere Strecke. Bestünde die Möglichkeit der Navigation auf der Manipulationsebene nicht, wäre ein ständiger Wechsel zwischen der Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators auf der Überwachungs- und Diagnoseebene und dem tatsächlichen Freigeben des Standstreifens auf der Manipulationsebene erforderlich, was vermutlich wieder die bekannten Probleme mit Overview+Detail-Interfaces zur Folge hätte.

Manipulation Die tatsächliche Manipulation von Prozessvariablen wurde lediglich als mögliche Variante am Beispiel von dynamischen Verkehrszeichen innerhalb einer Verkehrsbeeinflussungsanlage konzipiert. Es wurde ein Menü entwickelt, welches dem Operator eine Auswahl an möglichen Verkehrszeichen anbietet. Dabei muss gewährleistet werden, dass eine Änderung eines solchen Verkehrszeichens nicht durch eine unbeabsichtigte Berührung des Displays ausgelöst wird. Aus diesem Grund wurde das CircularMenu konzipiert (siehe Abbildung 4.20). Durch eine Berührung eines Verkehrszeichens baut sich dieses Menü über eine zirkuläre Animation um das Verkehrszeichen auf. Die Berührung des Displays muss dabei dauerhaft erfolgen. Ein Abheben des Fingers führt dazu, dass das Menü wieder geschlossen wird. Die Selektion eines Verkehrszeichens erfolgt durch das Verschieben des Fingers in den entsprechenden Quadranten des Menüs. Durch das Abheben des Fingers im entsprechenden Quadranten wird das Verkehrszeichen ausgewählt. Die Auswahl eines Verkehrszeichens durch eine dauerhafte Berührung des Displays verhindert, dass eine Manipulation dieser Prozessvariablen unbeabsichtigt erfolgt. Wie bereits erwähnt, handelt es sich hier nur um einen beispielhaften Ansatz, welcher unter anderem für die Manipulation eines numerischen Wertes nicht geeignet ist. Das heißt, dass abhängig von der jeweiligen Prozessvariablen entschieden werden muss, welche Art der Manipulation am besten geeignet ist. Durch die Verlagerung der Manipulation von Prozessvariablen auf ein horizontales Multitouch-Display können jedoch die in Kapitel 3 beschriebenen Vorteile in Bezug auf eine realitätsbasiertere und direktere Interaktion genutzt werden.

4.4.2.2 Meldungen

Ähnlich wie bei den Circles handelt es sich bei den Meldungen ebenfalls um Elemente, die in Bezug auf das Modell der sequenziellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen nach Rasmussen (vgl. Kapitel 2) eine Aktivierung auslösen. Diese Art von Meldungen kann dem Operator beispielsweise mitteilen, dass eine Veränderung in der Prozessdynamik identifiziert wurde, wobei eine solche Meldung sowohl automatisch vom System generiert als auch manuell in das System eingepflegt werden kann. Die Meldungen werden in einer Liste am Rand des Interfaces aufgereiht (siehe Abbildung 4.21). Die verfügbaren Funktionen in Bezug auf die Meldungen werden im Folgenden erläutert:

Bearbeiten einer Meldung: Um eine Meldung zu bearbeiten, kann diese in den persönlichen Arbeitsbereich eines Operators gelegt werden. Hierzu greift sich der Operator die Meldung und legt sie in einem der NoteContainer, welche sich neben den TokenContainern befinden, ab. Der NoteContainer, in dem eine Meldung abgelegt werden kann, ist dabei nur sichtbar, wenn mit Hilfe des SpaceNavigator ein Fokuspunkt ausgewählt wurde (siehe Abbildung 4.21).

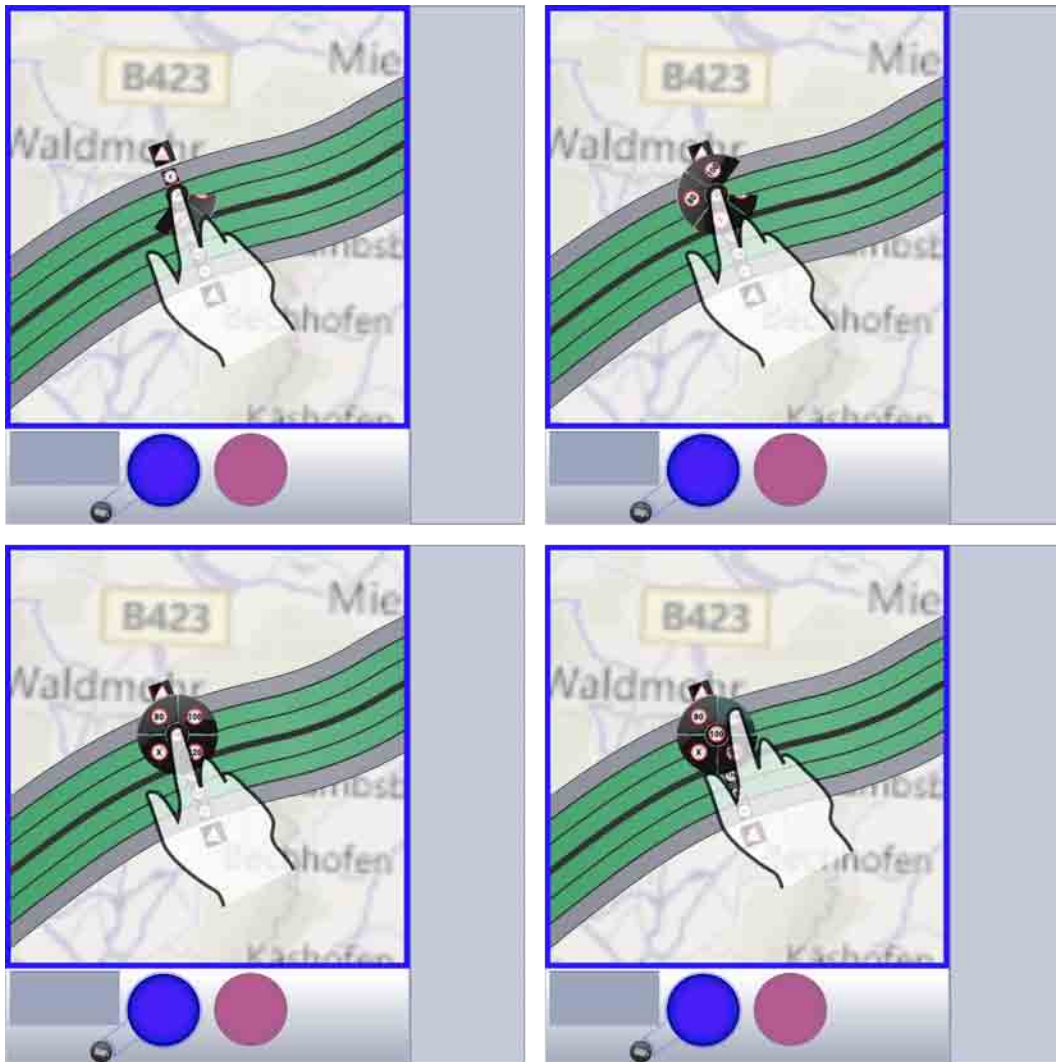


Abb. 4.20: Das CircularMenu zur Manipulation von Prozessvariablen auf einem Multitouch-Display

Eine Meldung, die aktuell von einem Operator bearbeitet wird, wird dabei innerhalb der Liste weiterhin dargestellt, allerdings in einem Disabled-Zustand (siehe Abbildung 4.21). Eine solche Meldung kann von einem anderen Operator nun nicht mehr bearbeitet werden, ist für diesen aber weiterhin sichtbar. Somit wird ein Verständnis dafür geschaffen, welche Aufgabe die Kollegen aktuell bearbeiten.

Automatische Navigation: Eine Meldung kann direkt mit einer Stelle innerhalb des Prozesses verknüpft werden. Eine Auswahl einer solchen verknüpften Meldung, das heißt das Ablegen der Meldung im NoteContainer eines Fokuspunktes, löst dabei eine automatische Navigation des entsprechenden Fokuspunktes auf der Überwachungs- und Diagnoseebene an die entsprechende Stelle im Prozess aus.

Wird eine Nachricht mit einer Position innerhalb des Prozesses verknüpft, kann diese Verknüpfung auch genutzt werden, um an dieser Stelle im Prozess eine Circle einzublenden.

Abschließen einer Meldung: Wurde eine Meldung erfolgreich bearbeitet kann diese über einen Button als abgeschlossen markiert werden. Hierdurch wird die Meldung auch visuell markiert und mit Hilfe einer Animation zurück in die Meldungsliste gelegt.

Freigeben einer Meldung: Soll eine Meldung nicht als gelöst markiert werden, aber dennoch aus dem persönlichen Arbeitsbereich eines Operators entfernt werden, kann diese durch das Herausschieben einer Meldung aus dem NoteContainer beziehungsweise das Loslassen einer Meldung außerhalb des NoteContainers wieder freigegeben werden. Dabei wird die Meldung auch hier über eine Animation automatisch zurück in die Meldungsliste gelegt.

Diese Meldungsliste ist nur als ein möglicher Ansatz zu verstehen und ersetzt in keinem Fall ein vollständiges Meldungsmanagement. Dennoch werden einige Ansätze aufgezeigt, die im folgenden Abschnitt in Bezug auf die Gestaltungsebene der realen und computergestützten Abläufe der Blended Interaction nochmals diskutiert werden.

4.5 Bewertung des Konzeptes in Bezug auf die Blended Interaction

Im Folgenden wird das vorgestellte Visualisierungs- und Interaktionskonzept für Leitwarten mit seinen zwei Ausprägungen für die Visualisierung des Prozesses auf der Überwachungs- und Manipulationsebene anhand der vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction erläutert und die Stärken des Konzeptes verdeutlicht:

Persönliche Interaktion: Durch die inhaltssensitive Navigation in Kombination mit dem SpaceNavigator wird eine Interaktion mit der Überwachungs- und Diagnoseebene ermöglicht, welche an die Bedürfnisse der Operatoren angepasst wurde. Anders als bei aktuellen Systemen ist dabei keine genaue Positionierung eines Zeigegerätes wie der Maus erforderlich, sondern es wird ein sich selbst zentrierendes isometrisches Eingabegerät eingesetzt, welches sich blind bedienen lässt und in Kombination mit der inhaltssensitiven Navigation auch inexakte Eingaben verarbeiten kann.

Die Prozessvariablen wurden dabei direkt in die Übersicht des Prozesses integriert, was das Problem der geteilten Aufmerksamkeit, wie es bei Overview+Detail-Interfaces entsteht [BGS01], umgeht. Die Prozessvariablen werden durch eine Focus+Context-Technik nur an den vom Operator gewählten Fokuspunkt dargestellt, was eine Informationsüberflutung durch zu viele gleichzeitig dargestellte

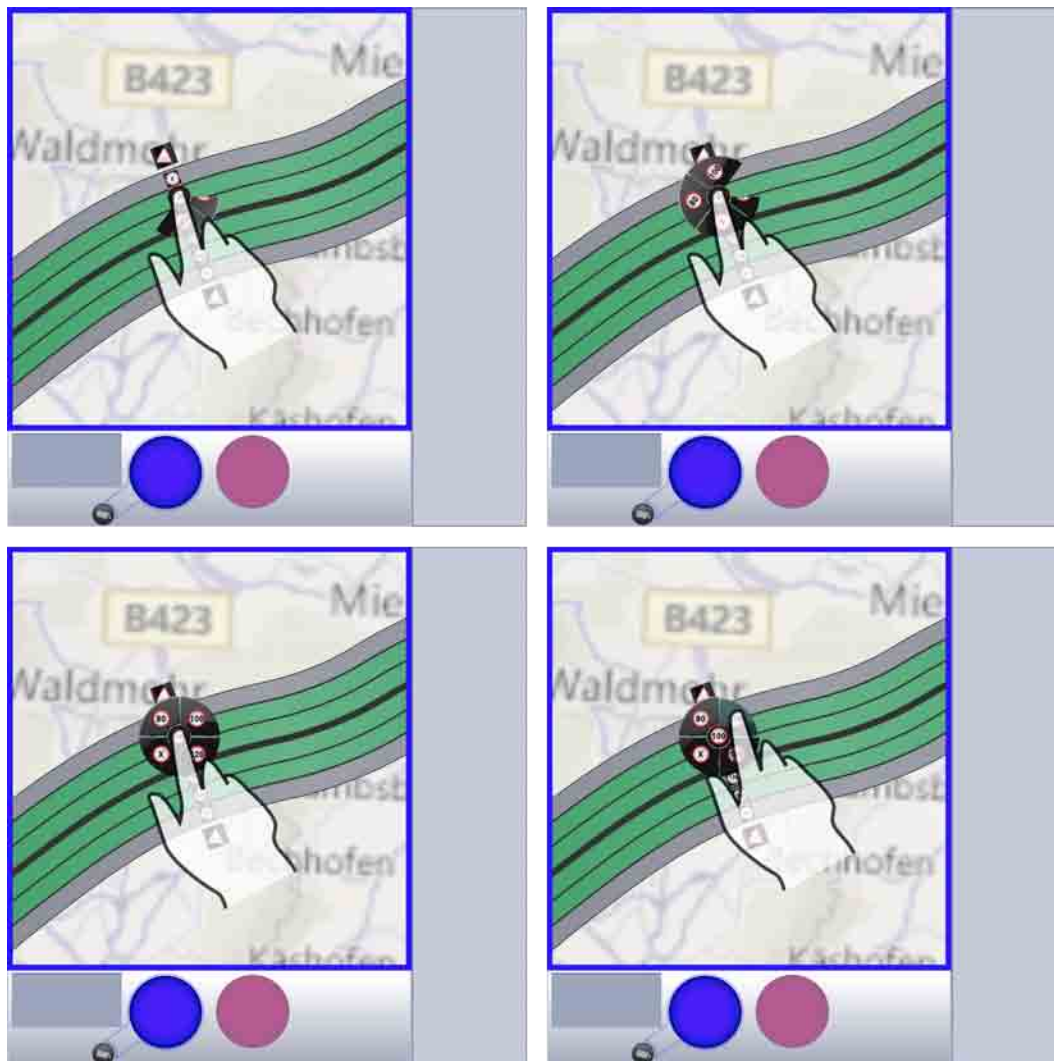


Abb. 4.21: Die Meldungsliste zur Verwaltung von Aufgaben

Informationen [TS04] verhindert. Bei beiden Visualisierungskonzepten wurde dabei eine realweltliche Metapher (HML-View: Pyramidenstumpf / Folding-View: gefaltetes Blatt Papier) genutzt, um die Verständlichkeit der Verzerrungen zu verbessern. Durch die Integration der Prozessvariablen in ihren Kontext wird der Operator bei der Interpretation der Werte zusätzlich unterstützt. Durch den Einsatz eines Multitouch-Displays als Manipulationsebene werden neue Formen der Interaktion ermöglicht, welche im hier vorgestellten Konzept jedoch nur eine untergeordnete Rolle spielen. Erste Einblicke, wie eine Manipulation von Prozessvariablen mit Hilfe eines Tangible User Interfaces gestaltet werden kann, werden von Schwarz et al. [SMBR11] aufgezeigt. Die Autoren verfolgen dabei den Ansatz, verlorengegangene Qualitäten früherer Leitzentralen wie zum Beispiel spürbare und wechselnde Widerstände bei der

Betätigung mechanischer Hebel oder Handrädern im Sinne der Reality Based Interaction zurück zu gewinnen. In Bezug auf das Pannen, wie es innerhalb der Manipulationsebene eingesetzt wurde, gibt es bereits erste Erkenntnisse darüber, dass die direkte Interaktion per Touch einen positiven Einfluss auf das räumliche Gedächtnis und die Navigation haben [JLG⁺12].

Soziale Interaktion & Kommunikation: Durch eine gemeinsam genutzte Prozessvisualisierung kann über alle Operatoren hinweg ein gemeinsames Verständnis über den Zustand des Prozesses erreicht werden. Die Sichtbarkeit der Fokuspunkte innerhalb der eingesetzten Multifoci-View macht eine implizite Kommunikation möglich, welche die Operatoren dabei unterstützt, sich zu koordinieren.

Durch die Selektion eines Fokuspunktes mit Hilfe des als Token eingesetzten SpaceNavigator ist dabei stets für jeden sichtbar, welcher Fokuspunkt von welchem Operator aktuell manipuliert wird. Dabei kann ein Operator auch die Aufgaben eines anderen Operators mit übernehmen, sollte dieser nicht anwesend sein. Hierfür muss lediglich ein anderer Fokuspunkt gewählt werden. Über die in die Manipulationsebene integrierte Meldungsliste ist eine Verteilung der Aufgaben auf die einzelnen Operatoren möglich. Dabei ist in Bezug auf die Meldungen sowohl der gemeinsame als auch der private Arbeitsbereich immer sichtbar. Dies erleichtert es, einen Überblick über den gesamten Zustand des Prozesses zu gewinnen. Gleichzeitig wird ersichtlich, welche Meldung von den Operatoren aktuell bearbeitet wird. Ähnliche Meldungen können somit zum Beispiel einem bestimmten Operator überlassen werden.

Reale und computergestützte Abläufe (Geschäftsprozesse): Mit Blick auf den Arbeitsablauf anhand des in Kapitel 2.2 vorgestellten Leiterdiagramms der Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen, ist festzustellen, dass dieser durch das im entwickelte Konzept deutlich besser unterstützt wird als bei bisherigen Systemen. Eine Aktivierung erfolgt dabei entweder durch eine automatisch vom System erzeugte Meldung beziehungsweise einen Circle oder durch das manuelle Erfassen einer Meldung. In Verkehrsleitzentralen erhalten die Operatoren Störungsmeldungen zum Beispiel häufig über einen Telefonanruf. Während dieses Anrufs kann der Operator direkt eine Meldung verfassen und im System hinterlegen. In anderen Leitwarten, wie zum Beispiel in der Energieerzeugung, führen die Operatoren Rundgänge durch die Maschinen durch und protokollieren dabei den Zustand des Systems. Durch neue Interaktionstechniken, wie beispielsweise die Digital Pen&Pager Technologie, welche es ermöglicht handschriftlich erfasste Protokolle direkt zu digitalisieren (siehe hierzu auch [SHB⁺11]), kann eine Meldung, wie sie hier vorgestellt wurde, auch direkt aus einem Rundgangsprotokoll heraus erstellt werden. Ein solche Aktivierung im

Sinne des Modells der Informationsverarbeitungsprozesse wird dabei, wenn möglich, direkt im Prozess verortet und auch visuell in die Darstellung des Prozesses auf der Überwachungs- und Diagnoseebene integriert. Sowohl die Überwachung des Prozesses als auch die Diagnose der Problemursache ist dabei mit der alleinigen Nutzung der Überwachungs- und Diagnoseebene möglich. Das Abrufen von Detailinformationen, welche für die Diagnose erforderlich sind, erfolgt automatisch bei der Navigation durch die Prozessvisualisierung mit Hilfe der inhaltssensitiven Navigation. So kann zum Beispiel bei der Freigabe eines Standstreifens mit Hilfe der inhaltssensitiven Navigation eine Straße abgefahren werden. Dabei werden alle verfügbaren Kamerabilder der Reihe nach dargestellt, ohne dass eine weitere Interaktion des Operators erforderlich ist. Lediglich für die Manipulation von Prozessvariablen wechselt der Operator auf die Manipulationsebene. Durch die strikte Lenkung des Fokuses der Operatoren wird das Problem einer geteilten Aufmerksamkeit, wie es bei Overview+Detail-Interfaces bekannt ist, vermieden.

Gestaltung der physischen Umgebung: Die Ausrichtung und Positionierung der beiden Displays ermöglicht eine optimale Unterstützung bei der Erfüllung der Aufgaben. So wird für die hauptsächlich beobachtenden Tätigkeiten ein vertikales Wanddisplay eingesetzt, welches zum einen aus ergonomischen Gründen für diese Aufgabe geeignet ist und zum anderen auch von allen Operatoren innerhalb einer Leitzentrale gut eingesehen werden kann und somit die Basis für eine nonverbale Koordination bereitstellt. Hingegen wird für die Erfüllung der Aufgaben des tatsächlichen Eingreifens in den Prozess ein horizontales Multitouch-Display eingesetzt, welches neue Formen der Interaktion bietet und dabei in Bezug auf die Touch-Interaktion eine komfortablere Armhaltung ermöglicht als es bei einer vertikalen Ausrichtung der Fall ist.

Kapitel 5

Prototypische Umsetzung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die prototypische Umsetzung des in Kapitel 4 beschriebenen Konzeptes mit den zwei Ausprägungen für die Visualisierung gegeben. Für die Umsetzung des Konzeptes wurden zwei Clients entwickelt: Der Public Client und der Private Client. Während der Public Client hauptsächlich für die Darstellung der unterschiedlichen Varianten der Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene sowie für die inhaltsensitive Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators zuständig ist, wurde der Private Client für die Darstellung der Detailinformationen auf der Manipulationsebene sowie für die Funktionen der Navigation über Panning, die Selektion von Fokuspunkten, sowie das Handling der Meldungsliste entwickelt. Die Synchronisation der Clients erfolgt mit Hilfe des ZOIL Frameworks [Arbc], welches unter anderem die Mechanismen für die Kommunikation über eine objektorientierte Datenbank bereitstellt. Die Clients wurden vollständig in C# und WPF unter .NET 4.0 entwickelt.

Im Folgenden wird zunächst kurz auf die Synchronisation der Clients mit Hilfe des ZOIL Frameworks eingegangen. Im Anschluss daran folgt eine Beschreibung des prinzipiellen Aufbaus des Prototyps. Dabei werden die einzelnen Komponenten des Systems teilweise nur sehr kurz beschrieben. Eine ausführliche Beschreibung der Implementation der inhaltsensitiven Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators sowie der Einbindung der geografischen Straßendaten ist in der zugehörigen Projektdokumentation zu finden [But11]. Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Beschreibung der Umsetzung der beiden Visualisierungskonzepte für die Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene. Da es sich bei beiden Konzepten für die Prozessvisualisierung um dreidimensionale Ansichten handelt, wird zunächst die prinzipielle Umsetzung solcher Ansichten mit Hilfe von WPF erläutert. Im Anschluss daran folgt eine Beschreibung des Algorithmus zur Erstellung der Geometrie der HML-View. Den Abschluss und gleichzeitig größten Teil des Kapitels bildet eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus für die Folding-View.

5.1 Synchronisation

Für die Synchronisation des Private Client mit dem Public Client wurde das ZOIL Framework eingesetzt. Bei ZOIL (Zoomable Object-Oriented Information Landscape) handelt es sich um ein Software Framework, welches komplett in C# und WPF für die .NET 4.0 Plattform entwickelt wurde. ZOIL ist Teil eines Forschungsprojektes an der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion der Universität Konstanz [Arbc] und wurde unter anderem für die Implementierung von Prototypen entwickelt. Hierfür wurden unterschiedliche externe Frameworks und APIs wie zum Beispiel die Versant's db4objects (db4o) Objektdatenbank sowie das Microsoft Surface SDK eingebunden. ZOIL ermöglicht es, auf einfache Weise eine große, zoombare, visuelle Arbeitsumgebung in einer Anwendung zu erstellen. Eine solche visuelle Arbeitsumgebung in Form einer zoombaren Informationslandschaft ist dabei besonders für natürliche und Post-WIMP Interaktionen in Multi-User-, Multi-Display- und Multi-Device-Arbeitsumgebungen interessant und erleichtert die Umsetzung eines Interfaces basierend auf den Prinzipien des Tangible und Ubiquitous Computings. Hierfür bietet ZOIL folgende Eigenschaften:

- **Semantisches Zooming:** Für jedes Objekt in der Informationslandschaft können mehrere größenabhängige Repräsentationen definiert werden. Beim Zooming kann ein Objekt in einem weichen Verlauf sowohl seine Form als auch seinen Inhalt ändern.
- **Persistenz:** Die Informationslandschaft besitzt ein Datenmodell, welches persistiert und mit Hilfe einer Client-Server Architektur basierend auf der Versant's db4o über unterschiedliche Geräte hinweg verteilt werden kann.
- **Verteilt und in echtzeit synchronisiert:** Das Datenmodell der Informationslandschaft wird durch die Client-Server Architektur in Echtzeit über mehrere Geräte hinweg synchronisiert. Dies ermöglicht Multi-User und Multi-Device-Szenarien, in welchen mehrere Anwender synchron innerhalb einer einzigen Arbeitsumgebung zusammenarbeiten können.
- **MS Surface Unterstützung und Unabhängigkeit von Eingabegeräten:** Die ZOIL Architektur bietet eine Unterstützung für typische Maus- und Multitouch-Manipulationen (Surface SDK) sowie für OSC-Eingaben (Open Sound Control). Verschiedene Anwendungen basierend auf ZOIL erweitern diese Funktionalität und bieten eine Unterstützung für die Interaktion mit physischen Objekten oder digitalen Stiften.

Abbildung 5.1 zeigt einen Überblick über das ZOIL Framework. Für die Implementation des Prototyps wurde jedoch nur ein sehr kleiner Teil des Frameworks genutzt.

ZOIL wurde lediglich für die Synchronisation der beiden Clients eingesetzt. Der Prototyp basiert somit auf der Client-Server Architektur des ZOIL Frameworks. Konkret heißt dies, dass die Eigenschaften wie zum Beispiel die Position der Fokuspunkte oder der Status der Meldungen mit Hilfe eines Datenmodells und der Objektdatenbank db4o über die beiden Clients hinweg synchronisiert werden.

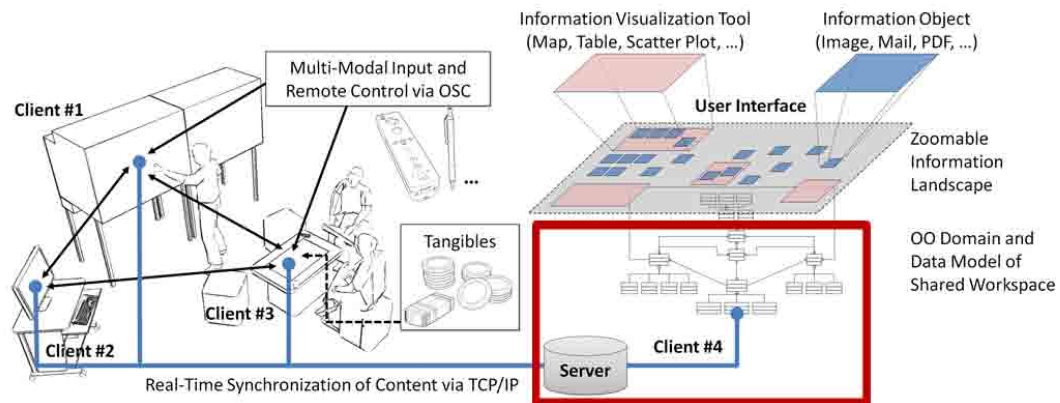


Abb. 5.1: Übersicht über das ZOIL Framework mit einer roten Markierung der genutzten Komponenten

5.2 Aufbau des Prototyps

Abbildung 5.2 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Klassen der prototypischen Umsetzung. Das Datenmodell, welches für die Synchronisation des Public Client mit dem Private Client eingesetzt wird, besteht aus einem Modell für die Position der Fokuspunkte (`NavigationSynchronizer`) und einem Modell für die Synchronisation des Status der Meldungen (`NoteSynchronizer`). Der Private Client besteht aus drei zentralen Klassen:

- **TokenContainer:** Durch die `TokenContainer`-Objekte wird ermittelt, mit welchem `SpaceNavigator` welcher Fokuspunkt selektiert wurde.
- **PrivateMapControl:** Das `PrivateMapControl`-Objekt stellt die Prozessvisualisierung auf der Manipulationsebene bereit und bietet Funktionen wie die Navigation über ein Pannen. Welcher Ausschnitt des Prozesses durch das `PrivateMapControl` dargestellt wird, wird über den `TokenContainer` festgelegt.
- **PrivateNote:** Die `PrivateNote`-Klasse umfasst Funktionen für die Interaktion mit den Meldungen.

Im Gegensatz zum Private Client ist der Public Client etwas komplexer aufgebaut. Der Public Client besteht aus sechs zentralen Klassen:

- **InputAnalyser:** Der `InputAnalyser` analysiert die Eingaben am `SpaceNavigator` und leitet diese in Form von Events (zum Beispiel `TiltEvent` oder `DoubleTiltEvent`) an die `FocusPoint`-Objekte weiter.
- **FocusPoint:** Innerhalb der `FocusPoint`-Klasse sind die Funktionen für die inhaltsensitive Navigation realisiert. Ob ein `FocusPoint`-Objekt die Events des `InputAnalyser` verarbeitet, hängt davon ab, ob das `FocusPoint`-Objekt durch das korrespondierende `TokenContainer`-Objekt als aktiv deklariert wurde.
- **PublicMapControl:** Das `PublicMapControl` stellt die zentrale Klasse des Public Client dar. Das `PublicMapControl`-Objekt fungiert als Schnittstelle zwischen den `FocusPoint`-Objekten und dem `HMLView`- beziehungsweise `FoldingView`-Objekt. Über das `PublicMapControl` wird die Sichtbarkeit des `HMLView`- beziehungsweise `FoldingView`-Objekts gesteuert.
- **HMLView:** Die `HMLView`-Klasse realisiert die Darstellung von `HybridMagicLenses` abhängig von der Position der `FocusPoint`-Objekte.
- **FoldingView:** Die `FoldingView`-Klasse realisiert die Faltung des Informationsraums abhängig von der Position der `FocusPoint`-Objekte.
- **PublicNote:** Die `PublicNote`-Klasse umfasst Funktionen für die Darstellung der Circles sowie den Status und die Position der Meldung innerhalb des Prozesses.

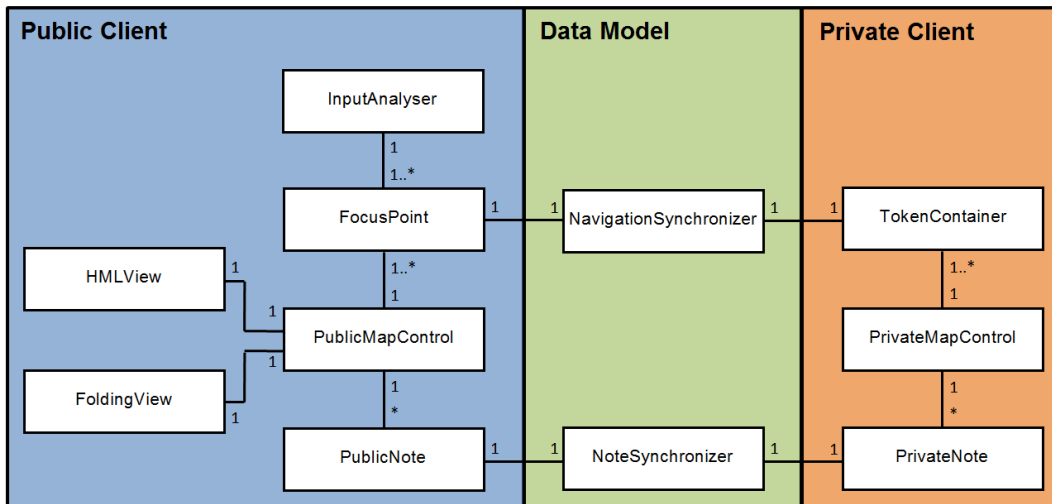


Abb. 5.2: Klassendiagramm des Prototyps reduziert auf die zentralen Klassen

5.3 Prozessvisualisierung

Beide Prozessvisualisierungen basieren auf der Vermittlung eines dreidimensionalen Eindrucks. Während bei der HML-View der Eindruck entstehen soll, dass sich ein Pyramidenstumpf aus dem Informationsraum erhebt, wird bei der Folding-View die Metapher eines gefalteten Blatt Papiers genutzt. Um einen dreidimensionalen Eindruck zu erreichen ist besonders die Darstellung von entsprechenden Schatten von großer Bedeutung. Um eine Transformation des Informationsraums in Form einer HML-View beziehungsweise einer Folding-View Performanz zu realisieren, wurden WPF-3D-Objekte eingesetzt. Im Folgenden wird das grobe Vorgehen für die Erstellung eines 3D-Objekts in WPF beschrieben. Die 3D-Szene besteht dabei aus einem 3D-Modell, einer Textur, mit welcher das 3D-Modell überzogen wird, sowie einer oder mehrerer Lichtquellen, um die Szene auszuleuchten.

- **Modell:** Ein 3D-Modell wird erstellt, indem Punkte im dreidimensionalen Raum definiert werden (X, Y und Z-Koordinate). Um das Modell in einem zweiten Schritt mit einer Oberfläche überziehen zu können, müssen neben den Eckpunkten des Objektes auch Punkte definiert werden, welche das Mapping der Oberfläche auf das 3D-Modell ermöglichen.
- **Material:** Das Modell ist in diesem Status noch durchsichtig. Um das Objekt sichtbar zu machen, muss es mit einer Textur, also einer Oberfläche, überzogen werden. Neben der Angabe einer Farbe als Textur ist es auch möglich, einen VisualBrush zu übergeben. Über einen VisualBrush kann die bereits gerenderte Textur des Überwachungsraums inklusive der Visualisierung der Fokuspunkte über das 3D-Objekt gelegt werden. Durch den Einsatz unterschiedlicher VisualBrushes (ein VisualBrush pro semantischer Zoomstufe) kann der semantische Detailgrad der Textur für unterschiedliche Bereiche des 3D-Modells definiert werden. Das Material wird dabei über das 3D-Modell gelegt, indem jeder Punkt im 2D-Material auf einen Punkt im 3D-Modell projiziert wird.
- **Licht:** WPF unterstützt den Einsatz von unterschiedlichen Lichtquellen zur dynamischen Berechnung der Schattierung der 3D-Objekte. Eine dynamische Beleuchtung vereinfacht das Erstellen beziehungsweise Animieren von realistisch wirkenden Szenen. Die Beleuchtung einer Szene besteht dabei aus drei Komponenten: Den Licht-Objekten, welche Licht in die Szene werfen, den Materialien, welche das Licht zurück zur Kamera reflektieren, und der Geometrie des Modells, die die Winkel der Reflexion festlegt. Von den vier unterschiedlichen Lichtquellen, welche von WPF bereitgestellt werden, wurden für die prototypische Umsetzung zwei genutzt, wobei innerhalb der HML-View ein Directional Light und für die Folding-View ein Point Light eingesetzt wurde:

- **HML-View - Directional Light:** Ein Directional Light wirft parallele Lichtstrahlen in die Szene. Dabei wird eine Lichtquelle simuliert, welche ihren Ursprung im Unendlichen hat. Ein Directional Light approximiert somit eine sehr weit entfernte Lichtquelle wie zum Beispiel die Sonne.
- **Folding-View – Point Light:** Eine Point Light Lichtquelle strahlt ausgehend von einem Punkt in der Szene Licht gleichmäßig in alle Richtungen aus. Die Intensität des Lichts wird dabei mit zunehmender Entfernung zur Lichtquelle gedämpft. Durch die Nutzung zahlreicher Point Lights können die Schattierungen innerhalb der Faltungen der Folding-View erzeugt werden. In diesem Fall wurden 1500 Point Lights gerastert über der Szene der Folding-View verteilt.

Nachdem die prinzipielle Umsetzung der beiden Prozessvisualisierungen kurz beschrieben und ein Überblick über die Ausleuchtung der dreidimensionalen Szenen gegeben wurde, wird im Folgenden auf die Erstellung der 3D-Modelle eingegangen.

5.3.1 HML-View

Die HML-View nutzt die Metapher eines Pyramidenstumpfs, der sich aus der Übersicht des Prozesses erhebt. Jede HybridMagicLens der HML-View besteht aus einem separaten 3D-Objekt, welches entsprechend der Position des Fokuspunktes auf der Visualisierung platziert wird. Die Position der Linsen bestimmt dabei, mit welcher Textur das 3D-Objekt versehen wird. Die Geometrie der Linsen basiert auf einer Berechnung abhängig von der Zoomstufe innerhalb der Linse, der Größe der Fokusregion sowie der minimalen Breite der Verzerrung. Um innerhalb einer Linse zu Zoomen ist lediglich die Anpsaung des Skalierungsfaktors erforderlich. Obwohl in Kapitel 4 eine quadratische HML eingesetzt wurde, ermöglicht der Algorithmus auch eine rechteckige und nicht quadratische Linse (siehe Anhang B). Der Algorithmus zur Berechnung der Geometrie der HML kann in zwei Teile unterteilt werden:

1. Berechnung der Höhe der Linse
2. Berechnung der Größe der Linse

Für die Berechnung der Geometrie seien folgende Eingabeparameter definiert:

| | |
|----------|--------------------------------|
| L_{fr} | Länge der Fokusregion |
| W_{fr} | Breite der Fokusregion |
| S | Skalierungsfaktor |
| $MinW_d$ | Minimale Breite der Verzerrung |

Abhängig von diesen Eingabeparametern werden folgende Variablen berechnet:

| | |
|-----------|---|
| H | Höhe der Linse |
| W_{vd} | Breite der vertikalen Verzerrung |
| W_{hd} | Breite der horizontalen Verzerrung |
| L_l | Länge der gesamten Linse |
| W_l | Breite der gesamten Linse |
| L_{st} | Länge der skalierten Textur |
| W_{st} | Breite der skalierten Textur |
| W_{vdt} | Breite der Textur innerhalb der vertikalen Verzerrung |
| W_{hdt} | Breite der Textur innerhalb der horizontalen Verzerrung |

Abbildung 5.3 verdeutlicht den Zusammenhang der Variablen.

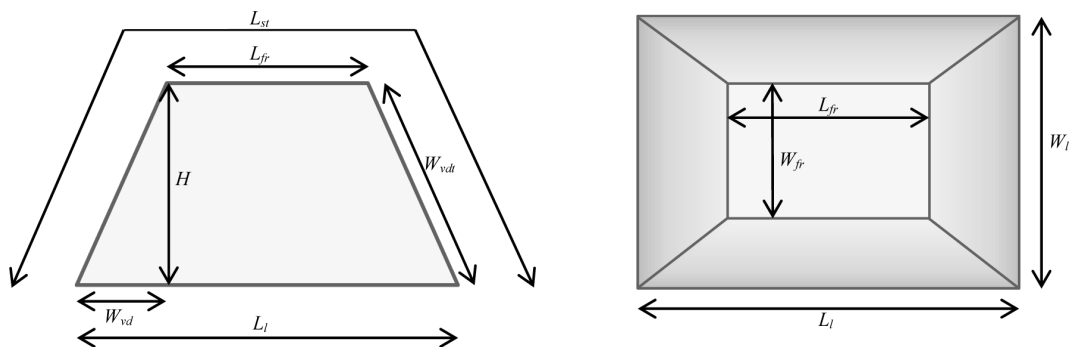


Abb. 5.3: Variablen zur Berechnung der Geometrie einer HML

Schritt 1 - Berechnung der Höhe der Linse: Für die Berechnung der Höhe der Linse wird die kürzere Seite der Fokusregion (L_{fr} beziehungsweise W_{fr}), die gewünschte Vergrößerung (S) sowie die minimale Breite der Verzerrung ($MinW_d$) benötigt. Mit Hilfe dieser Werte wird zunächst die kürzere Seite der gesamten Linse berechnet:

$$\begin{aligned}
 W_{vd} &= MinW_d & W_{hd} &= MinW_d \\
 L_l &= L_{fr} + 2 * W_{vd} & \text{beziehungsweise} & \\
 & & W_l &= W_{fr} + 2 * W_{hd}
 \end{aligned}$$

Durch den Skalierungsfaktor (S) wird die skalierte Länge beziehungsweise Breite der Textur der Linse berechnet über:

$$L_{st} = L_l * S \quad \text{beziehungsweise} \quad W_{st} = W_l * S$$

Die skalierte Textur, die durch die schmalere Seite der Verzerrung zusammengefasst werden muss, wird berechnet über:

$$W_{vdt} = \frac{L_{st}-L_{fr}}{2} \quad \text{beziehungsweise} \quad W_{hdt} = \frac{W_{st}-W_{fr}}{2}$$

Abhängig von diesem Wert kann die Höhe der HML berechnet werden über:

$$H = \sqrt{W_{vdt}^2 - W_{vd}^2} \quad \text{beziehungsweise} \quad H = \sqrt{W_{hdt}^2 - W_{hd}^2}$$

Schritt 2 - Berechnung der Größe der Linse: Für die Berechnung der Breite der horizontalen beziehungsweise vertikalen Verzerrung (W_{hd} beziehungsweise W_{vd}) wird zunächst mit Hilfe des Skalierungsfaktor (S) und der berechneten Höhe (H) wird die Breite beziehungsweise Länge der gesamten Linse berechnet:

$$W_l = \frac{-(2*W_{fr}-2*W_{fr}*S)+\sqrt{(2*W_{fr}-2*W_{fr}*S)^2-4*(S^2-1)*-(4*H^2)}}{2*(S^2-1)}$$

beziehungsweise

$$L_l = \frac{-(2*L_{fr}-2*L_{fr}*S)+\sqrt{(2*L_{fr}-2*L_{fr}*S)^2-4*(S^2-1)*-(4*H^2)}}{2*(S^2-1)}$$

Abhängig von der Breite beziehungsweise Länge der gesamten Linse (W_l beziehungsweise L_l) kann die Breite der horizontalen beziehungsweise vertikalen Verzerrung berechnet werden:

$$W_{hd} = \frac{W_l-W_{fr}}{2} \quad \text{beziehungsweise} \quad W_{vd} = \frac{L_l-L_{fr}}{2}$$

5.3.2 Folding-View

Das Mélange Space Folding, wie es von Elmquist et al. [ERRF10] vorgestellt wurde, konnte für die Folding-View nicht direkt übernommen werden, sondern musste auf den Einsatz in Leitwarten adaptiert werden. Das Mélange Space Folding wird von Elmquist et al. [EHRF08] als ein erster Schritt angesehen, um die Exploration großer visueller Räume zu unterstützen. Dabei lag der Fokus bislang auf den Aspekten der Visualisierung und weniger auf der Interaktion. In Bezug auf die Interaktion liegt das größte Problem des Algorithmus darin, dass keine kontinuierliche Transformation des Informationsraums gewährleistet werden kann. Das heißt, dass die Definition eines Fokuspunktes innerhalb des Mélange Space Foldings nur über das Anwählen eines Punktes mit zum Beispiel einer Maus erfolgt. Hierdurch wird eine

abrupte Transformation des Informationsraums ausgelöst, was die Orientierung im Informationsraum deutlich erschweren kann. Durch eine optimierte Interaktion kann die Exploration des Datenraums verbessert werden. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass eine kontinuierliche Transformation der Ansicht ermöglicht wird. Mit Hilfe der inhaltssensitiven Navigation ist es möglich, den Fokuspunkt kontinuierlich zu verschieben, das heißt, dass kein abrupter Wechsel der Position der Fokuspunkte durchgeführt wird. Im Gegensatz zum Algorithmus des *Mélange Space Foldings* führt dieses kontinuierliche Verschieben des Fokuspunktes durch den im Folgenden vorgestellten Algorithmus zu einem fließenden Übergang der Faltung des Informationsraums. Ein weiteres Problem des Space Folding Algorithmus von Elmquist et al. [ERRF10] für den hier betrachteten Anwendungsfall ist, dass dieser nicht gewährleistet, dass der gesamte Informationsraum sichtbar ist, sondern lediglich, dass alle Fokuspunkte innerhalb des sichtbaren Bereichs liegen. Diese Einschränkung ist für das hier behandelte Einsatzszenario äußerst problematisch, da so die Übersicht über den gesamten Überwachungsraum verloren gehen würde. Elmquist et al. [EHRF08] stellten für ihre *Mélange Space Folding* Technik lediglich folgende vier Anforderungen auf:

- **Garantierte Sichtbarkeit der Fokuspunkte:** Mehrere Fokuspunkte sollten unabhängig von ihrer Position im Informationsraum gleichzeitig sichtbar sein.
- **Sichtbarkeit des den Fokuspunkt direkt umgebenden Kontextes:** Die unverzerrte Region um einen Fokuspunkt sollte so groß wie möglich sein.
- **Berücksichtigung des Kontexts zwischen den Fokuspunkten:** Der Raum zwischen den Fokuspunkten sollte dargestellt werden, um einen Bezugsrahmen zu geben.
- **Schaffen eines Gefühls für Distanzen:** Eine Einschätzung von der Entfernung zwischen den Fokuspunkten sollte möglich sein.

Diese vier Anforderungen müssen für die Anwendung in Leitwarten um zwei weitere Anforderungen ergänzt werden:

- **Garantierte Sichtbarkeit des gesamten Informationsraums:** Der Informationsraum sollte so transformiert werden, dass keine Bereiche außerhalb des sichtbaren Bereichs liegen.
- **Kontinuierliche Transformation:** Die Transformation des Informationsraums, das heißt das Einfügen beziehungsweise Entfernen von Faltungen, sollte kontinuierlich erfolgen.

Die bestehende *Mélange Space Folding* Technik zur Visualisierung großer Informationsräume kann für den Einsatz in Leitwarten optimiert und erweitert werden. Hierfür

ist es nötig, den bestehenden Algorithmus anzupassen sowie eine Kombination der Mélange Technik mit der inhaltsensitiven Navigation durchzuführen. Um die zuvor beschriebenen Anforderungen umzusetzen, wurde ein adaptierter Algorithmus für die Faltung des Informationsraumes entwickelt. Dabei wird mit Hilfe des Algorithmus eine graphische Vergrößerung von beliebig vielen Fokusregionen ermöglicht, ohne dass der gesamte Informationsraum mehr Platz benötigt. Mit Hilfe des Algorithmus wird abhängig von der Position beliebig vieler Fokuspunkte ein 3D-Modell erstellt, welches anschließend mit einer Textur versehen werden kann.

Im Folgenden wird nur der Algorithmus für die Definition der vertikalen Faltungen beschrieben. Die Berechnung der Position und Tiefe der horizontalen Faltungen geschieht analog. Der Algorithmus für die Faltungen des Informationsraums kann in vier Schritte unterteilt werden:

1. Berechnung der Breite der Faltungen
2. Berechnung der Größe der Fokusregionen
3. Berechnung der Position der Faltungen
4. Berechnung der Faltentiefe

Um den Anforderungen der kontinuierlichen Transformation sowie der garantierten Sichtbarkeit des gesamten Informationsraums nachzukommen, werden folgende Eingabeparameter definiert:

| | |
|--------------|---|
| X_{fp_i} | Position des Fokuspunktes i auf der X-Achse |
| W_s | Breite des Informationsraums |
| S | Skalierungsfaktor |
| $MaxP_f$ | Maximale prozentuale Breite der Faltungen bezogen auf die Breite des Informationsraums |
| N_{fp} | Anzahl der Fokuspunkte |
| $D_{r_{fp}}$ | Minimaler Abstand einer Faltung zum Rand des 3D-Modells |

Des Weiteren werden folgende Variablen definiert, um die Berechnung des 3D-Modells durchführen zu können, wobei diese Variablen keine Eingabeparameter, sondern berechnete Werte darstellen:

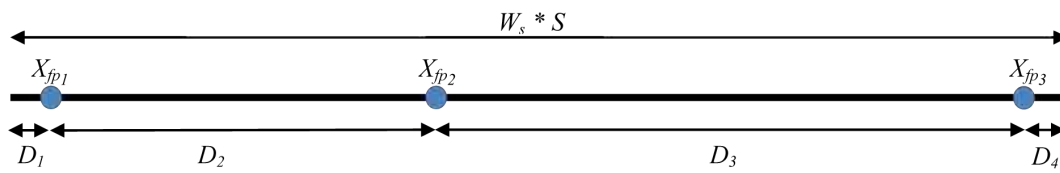
| | |
|-------------|-----------------------------------|
| W_f | Breite einer Faltung |
| $MinW_{fr}$ | Minimale Breite einer Fokusregion |
| $MaxN_f$ | Maximale Anzahl der Faltungen |

| | |
|----------------|---|
| $MinD_{fp2fp}$ | Minimale Distanz zwischen zwei Fokuspunkten, bei der eine Faltung eingefügt wird |
| $MinD_{fp2r}$ | Minimale Distanz zwischen einem Fokuspunkt und dem Rad des Informationsraums, bei der eine Faltung eingefügt wird |
| W_{st} | Breite des skalierten Informationsraums |
| X_{fj} | Position des Zentrums der Faltung j auf der X-Achse |
| W_{sfj} | Breite der Textur innerhalb der Faltung j |
| W_{ft} | Akkumulierte Breite der Textur innerhalb der Faltungen |
| P_j | Prozentuale Breite der Textur innerhalb der Faltung j |
| D_j | Distanz zwischen zwei Fokuspunkten bzw. dem Rand des Informationsraums und einem Fokuspunkt |
| D_{sum} | Summe aller Distanzen D_j welche größer sind als $MinD_{fp2fp}$ bzw. $MinD_{fp2r}$ |
| H_j | Tiefe der Faltung j |

Abbildung 5.4 gibt einen Überblick über den Algorithmus des Faltens. Die vier Schritte zur Faltung des Informationsraums werden im Folgenden detailliert beschrieben.

Schritt 1 - Berechnung der Breite der Faltungen: Im ersten Schritt werden mit Hilfe der Eingabeparameter der maximalen prozentualen Breite der Faltungen ($MaxP_f$), der Breite des Informationsraums (W_s) und der Anzahl der Fokuspunkte (N_{fp}) die Anzahl der maximal benötigten Faltungen ($MaxN_f$) sowie die Breite einer jeden einzelnen Faltung (W_f) bestimmt. Das heißt alle Faltungen besitzen die gleiche Breite und unterscheiden sich nur in der spezifischen Tiefe (H_i), welche in Schritt 4 berechnet wird, voneinander. Mit Hilfe des Parameters $MaxP_f$ wird das Verhältnis zwischen den Faltungen und den unverzerrten Fokusregionen definiert. Dabei muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen einer ausreichenden Größe der nicht verzerrten Fokusregionen und einer ausreichenden Breite der Faltungen, damit auch Informationen innerhalb der Faltungen noch gut zu erkennen sind. Der Parameter $MaxP_f$ legt somit fest, wie viel Prozent des zur Verfügung stehenden Platzes (W_s) maximal für die Faltungen genutzt wird, wobei $MaxP_f = 0,5$ einen guten Richtwert darstellt. Für die Berechnung der Faltenbreite (W_f) wird neben dem Verhältnis von Fal-

Unverzerrter, skaliertes Informationsraum



Gefalteter Informationsraum

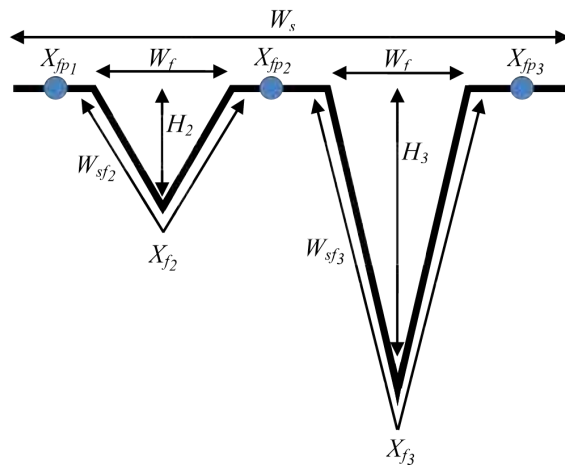


Abb. 5.4: Überblick über den Algorithmus zur Faltung des Informationsraums

tungen zu Fokusregionen die maximale Anzahl an Faltungen ($MaxN_f$) benötigt. Da maximal eine Faltung zwischen zwei Fokuspunkten beziehungsweise jeweils maximal eine Faltung zwischen einem Fokuspunkt und dem Rand des Informationsraums eingefügt wird, beträgt die maximal benötigte Anzahl an Faltungen:

$$MaxN_f = N_{fp} + 1$$

Die Breite der Faltungen kann nun abhängig von der Breite des Informationsraums (W_s), des Verhältnisses zwischen Faltungen und Fokusregionen ($MaxP_f$) und der maximalen Anzahl an Faltungen ($MaxN_f$) berechnet werden über:

$$W_f = \frac{W_s * MaxP_f}{MaxN_f}$$

Schritt 2 - Berechnung der Größe der Fokusregionen: Nach der Definition der Breite der Faltungen muss der minimale Bereich um einen Fokuspunkt, das heißt die Fokusregion, definiert werden. Die Breite ($MinW_{fr}$) und Höhe einer Fokusregion legt fest, mit welcher minimalen Distanz zu einem Fokuspunkt eine Faltung eingefügt werden darf, und bestimmt somit, welche Region um einen Fokuspunkt auf jeden Fall unverzerrt dargestellt wird. Der Algorithmus hält die Regionen um einen Fokuspunkt jedoch so groß wie möglich. Die minimale

Breite einer Fokusregion ist dabei wiederum abhängig von der Breite des Informationsraums (W_s) und dem Verhältnis zwischen den Faltungen und den Fokusregionen ($MaxP_f$) sowie der minimalen Distanz einer Faltung zum Rand des Informationsraums (D_{rfp}). Die minimale Breite einer Fokusregion wird berechnet über:

$$MinW_{fr} = \frac{W_s * (1 - MaxP_f) - 2 * D_{rfp}}{N}$$

Schritt 3 - Berechnung der Position der Faltungen: In diesem Schritt wird berechnet, zwischen welchen Fokuspunkten, beziehungsweise zwischen welchem Fokuspunkt und dem Rand des Informationsraums, eine Faltung eingefügt wird. Die Berechnung der minimalen Distanzen zwischen zwei Fokuspunkten beziehungsweise zwischen einem Fokuspunkt und dem Rand des Informationsraums, ab welcher eine Faltung eingefügt wird, wird dabei auf zwei unterschiedliche Arten durchgeführt:

- **Faltungen zwischen zwei Fokuspunkten:** Eine Faltung zwischen zwei Fokuspunkten wird dann eingefügt, wenn die Distanz zwischen diesen Punkten größer gleich der Breite einer Faltung (W_f) plus der minimalen Breite der Fokusregionen ($MinW_{fr}$) ist. Die minimale Distanz zwischen zwei Fokuspunkten ($MinD_{fp2fp}$), bei welcher eine Faltung eingefügt wird, beträgt somit:

$$MinD_{fp2fp} = MinW_{fr} + W_f$$

Für jeden Fokuspunkte wird überprüft, ob die Distanz zum nächsten Fokuspunkt (D_j) größer gleich der minimalen Distanz ($MinD_{fp2fp}$) zwischen zwei Fokuspunkten ist:

$$D_j > MinD_{fp2fp}$$

Ist dies der Fall wird die Faltung genau in der Mitte zwischen diesen Fokuspunkten eingefügt. Die exakte Position wird berechnet über:

$$X_{f_j} = X_{fp_{i+1}} + \frac{X_{fp_i} - X_{fp_{i-1}}}{2}$$

- **Faltungen zwischen dem Rand des Informationsraums und den Fokuspunkten:** Eine Faltung zwischen einem Fokuspunkt und dem Rand des Informationsraums wird dann eingefügt, wenn die Distanz größer gleich der Breite einer Faltung (W_f) plus die Hälfte der minimalen Breite der Fokusregionen ($MinW_{fr}$) ist. In diesem Fall muss nur die Hälfte der minimalen Breite der Fokusregionen berücksichtigt werden, da nur eine Fokusregion an die Faltung grenzt. Jedoch sollte berücksichtigt werden, dass die Faltung nicht direkt am Rand des Informationsraums eingefügt werden

sollte. Ein gewisser Abstand zum Rand (D_{rfp}) sollte eingehalten werden, um die Faltung für den Anwender besser nachvollziehbar zu machen. Unter Berücksichtigung dieses Abstands wird die minimale Distanz zwischen einem Fokuspunkt und dem Rand des Informationsraums ($MinD_{fp2r}$) ab welcher eine Faltung eingefügt wird, berechnet über:

$$MinD_{fp2r} = \frac{MinW_{fr}}{2} + W_f + D_{rfp}$$

Widerum wird für die äußersten Fokuspunkte überprüft, ob die Distanz zum Rand des Informationsraums (D_j) größer gleich der minimalen Distanz ($MinD_{fp2r}$) zwischen zwei Fokuspunkten ist:

$$D_j > MinD_{fp2r}$$

Für die Position der Faltung muss abhängig davon ob die Faltung links oder rechts vom Fokuspunkt eingefügt werden muss, eine Fallunterscheidung vorgenommen werden:

- Links: $X_{fj} = D_{rfp}$
- Rechts: $X_{fj} = W_s - D_{rfp}$

Schritt 4 - Berechnung der Faltentiefe: Die Tiefe einer jeden Faltung ist abhängig von den Abständen zwischen den Fokuspunkten sowie von der Größe des Informationsraums (W_s). Der Skalierungsfaktor S bestimmt, wie viel Raum innerhalb der Faltungen (W_{ft}) verschwinden muss und dementsprechend wie tief eine Faltung wird.

$$W_{ft} = W_s * (S - 1)$$

Der Raum, der in den Faltungen zusammengefasst werden muss, wird prozentual auf die einzelnen Faltungen verteilt. Umso größer also die Distanz zwischen zwei Fokuspunkten, beziehungsweise zwischen einem Fokuspunkt und dem Rand des Informationsraums ist, umso mehr Raum wird in der Faltung zwischen diesen zusammengefasst und umso tiefer wird die Faltung. Es werden nur die Distanzen (D_j) berücksichtigt, welche $MinD_{fp2fp}$ beziehungsweise $MinD_{fp2r}$ übersteigen. Die prozentuale Distanz wird berechnet über:

$$P_j = \frac{D_j}{D_{sum}}$$

Der Raum, der innerhalb von einer Faltung (W_{sfj}) zusammengefasst wird, trägt somit:

$$W_{sfj} = P_j * W_{tf} + W_f$$

Die Tiefe einer Faltung wird abhängig davon berechnet über:

$$H_j = \sqrt{\frac{W_{s.f.j}^2}{2} - W_f^2}$$

Durch dieses Vorgehen wird ein kontinuierlicher Übergang der Faltungen auch beim Verschieben der Fokuspunkte gewährleistet. Nähern sich zum Beispiel zwei Fokuspunkte an, wird die Tiefe der Faltung zwischen diesen kontinuierlich reduziert bis sie komplett verschwindet.

Kapitel 6

Evaluation

Um das entwickelte Konzept mit seinen zwei Ausprägungen für die Visualisierung zu evaluieren, wurde eine Expertenbeurteilung mit Personen aus drei unterschiedlichen Verkehrsleitwarten (Verkehrsrechnerzentrale Baden Württemberg, Südbayern und Hessen) durchgeführt. Ziel der Evaluation ist es zu ermitteln, ob und in welchem Umfang das Konzept die Anforderungen eines Operators an ein System für die Verkehrsüberwachung erfüllt. Für die Evaluation des Konzeptes wurde die Überwachung eines Straßennetzes von jeweils zwei Operatoren einer Verkehrsleitwarte durchgeführt. Im Rahmen der Studie wurden drei Varianten für die Darstellung des Überwachungsraums auf der Überwachungs- und Diagnoseebene (HML-View, Folding-View und eine Kontrollbedingung) miteinander verglichen. Es soll überprüft werden, ob eine der drei Varianten den Anforderungen der Operatoren an eine Übersicht über den Überwachungsraum gerecht wird beziehungsweise welche der Varianten sich nach Ansicht der Operatoren am besten für den Einsatz in der Mehrbenutzerumgebung einer Verkehrsleitwarte eignet. Dabei gilt es im Speziellen zu überprüfen, ob Ansichten, bei welchen mehr Details auf der Überwachungs- und Diagnoseebene (HML-View, Folding-View) visualisiert werden, einer Ansicht mit weniger Details (Kontrollbedingung) überlegen sind. Um eine bessere Vergleichbarkeit der entwickelten Techniken für die Prozessvisualisierung zu erreichen war innerhalb der Evaluation auch bei der HML-View kein Zooming möglich, das heißt die HML-View ermöglichte die gleiche Skalierung der Fokusregionen wie die Folding-View. Ein weiterer Fokus der Studie lag auf der Evaluation der inhaltssensitiven Navigation. Hierbei wurde überprüft, ob die Navigation auch in Kombination mit einer der Visualisierungstechniken genutzt werden kann. Die Kombination aus inhaltssensitiver Navigation und den Visualisierungstechniken für die Überwachungs- und Diagnoseebene wurden dabei auch im Hinblick auf die mentale Beanspruchung der Operatoren untersucht und verglichen. Des Weiteren sollte überprüft werden, ob die Verlinkung der beiden Ebenen (Überwachungs- und Diagnoseebene und Manipulationsebene) einen Mehrwert gegenüber den im Augenblick vorherrschenden getrennten Displayebenen bietet. Hierzu wird in diesem Kapitel zunächst der Aufbau und der Ablauf der Expertenbeurteilung

erläutert. Im Anschluss daran folgt eine Beschreibung der eingesetzten Methoden zur Datenerhebung und Auswertung. Abschließend werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

6.1 Setting

Für die Durchführung der Expertenbeurteilungen wurden zwei Operatorenarbeitsplätze auf einem Display zusammengefasst. Das heißt, dass das Display der Manipulationsebene in zwei Bereiche unterteilt wurde (siehe Abbildung 6.1). Die Meldungsliste wird von beiden Operatoren gemeinsam genutzt. Des Weiteren wurde sowohl ein mobiles als auch ein Labor-Setting eingesetzt. Dies war erforderlich, da es nicht allen Experten möglich war, in das Labor an der Universität Konstanz zu kommen. Aus diesem Grund wurden zwei der Expertenbeurteilungen direkt vor Ort in einer Leitwarte durchgeführt.

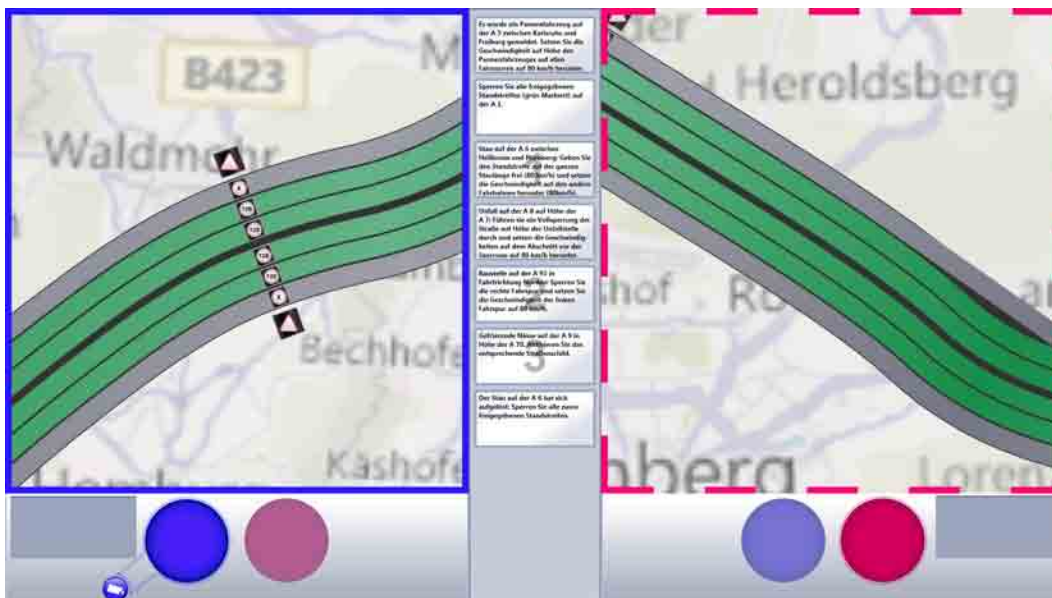


Abb. 6.1: Screenshot der Manipulationsebene: Integration von zwei Operatorenarbeitsplätze auf einem Display

- **Labor-Setting:** Für die Simulation der Überwachungs- und Diagnoseebene wurde ein 64“ großes Display mit einer Auflösung von 4.096 x 2.160 Pixel eingesetzt. In einem Abstand von etwa einem Meter vor diesem Display wurde ein 55“ Multitouch-Display in einem Winkel von 16° und einer Höhe von 80 cm als Manipulationsebene positioniert (siehe Abbildung 4.2, links).
- **Mobiles Setting:** Für die Überwachungs- und Diagnoseebene wurde ein 55“ großes Display mit einer Auflösung von 1.920 x 1.080 Pixel eingesetzt, welches

in einem Abstand von etwa 50 cm vor der Manipulationsebene aufgebaut wurde. Für die Manipulationsebene wurde der gleiche Aufbau wie beim Labor-Setting eingesetzt (siehe Abbildung 4.2, rechts).

In beiden Settings entspricht die Entfernung der Manipulationsebene zur Überwachungs- und Diagnoseebene nicht dem vorherrschenden Setting in Leitwarten. Die Entfernung der Überwachungs- und Diagnoseebene zur Manipulationsebene ist in der Realität wesentlich größer, jedoch würde für die Überwachungs- und Diagnoseebene auch ein wesentlich größeres Display eingesetzt werden, was die geringere Distanz im Versuchsaufbau relativiert.



Abb. 6.2: Testsetting: (links) Labor-Setting; (rechts) Mobiles Setting

6.2 Kontrollbedingung

Ein zentraler Punkt der Evaluation ist es zu ermitteln, ob eine Anreicherung der Überwachungs- und Diagnoseebene mit zusätzlichen Detailinformationen über eine Multifoci-View einen Mehrwert gegenüber einer nicht angereicherten Visualisierung bietet. Dabei muss aufgewogen werden, ob die mögliche größere kognitive Belastung, welche durch die Interpretation einer Verzerrung ausgelöst wird durch das Vermeiden einer geteilten Aufmerksamkeit aufgewogen wird. Um dies zu ermitteln, wurde ein Kontrollsystem entwickelt, welches auf eine Anreicherung des Informationsraums auf der Überwachungs- und Diagnoseebene mit Detailinformationen verzichtet. Die Funktionen des Systems entsprechen ansonsten den in Kapitel 4 vorgestellten. Auf der Überwachungs- und Diagnoseebene sind jedoch lediglich die akkumulierten Verkehrsaufkommen abgebildet (siehe Abbildung 6.2, links oder 6.2, links). Eine Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators dient in diesem Fall als reine Selektion der auf der Manipulationsebene dargestellten Detailinformationen, wobei auch hier der potenzielle Vorteil einer nonverbalen Kommunikation über die Positionierung der Fokuspunkte gegeben ist (vgl. Kapitel 4). Somit unterscheidet sich das Kontrollsystem

nur hinsichtlich der für die Evaluation zentralen Bedienung der Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene von den Experimentalsystemen.

6.3 Ablauf

Der Fokus der Evaluation liegt auf dem Vergleich der beiden Prozessvisualisierungen (HML-View und Folding-View) untereinander sowie auf dem Vergleich der Visualisierungen mit der Kontrollbedingung. Dennoch sollte die bereits mit Hilfe von Nicht-Experten evaluierte inhaltssensitive Navigation einer Beurteilung durch die Experten unterzogen werden. Hierfür wurde die Befragung in zwei Blöcke unterteilt – zum einen eine Beurteilung der Navigation und zum anderen der Vergleich der Prozessvisualisierungen mit Hilfe von operatorspezifischen Aufgaben. Der vollständige etwa 4 Stunden dauernde Ablauf der Expertenbeurteilungen ist in Abbildung 6.3 zu sehen.

Navigation Der Block der Navigation wurde sehr kurz gehalten und diente der Validierung der Ergebnisse aus der früheren Benutzerstudie [SBMR11]. Hierfür wurde zunächst über eine standardisierte Einführung durch den Versuchsleiter eine einheitliche Wissensbasis über alle Teilnehmer hinweg geschaffen. Im Anschluss daran folgte eine Explorationsphase, welche immer von zwei Experten gleichzeitig durchgeführt wurde. Am Ende der Exploration erhielten die Experten einen Fragebogen zur Beurteilung der Navigation. Die Manipulationsebene wurde in diesem Block nicht berücksichtigt.

Operatorspezifische Aufgaben Der Block der operatorspezifischen Aufgaben bildet den Fokus der Expertenbeurteilung. Innerhalb dieses Blocks wurde den Experten die Möglichkeit gegeben, mit allen drei Varianten der Prozessvisualisierung im Zusammenhang mit der inhaltssensitiven Navigation und der Manipulation von Prozessvariablen auf der Manipulationsebene zu arbeiten. Hierzu wurde zunächst eine kurze Einführung in das Gesamtsystem gegeben, das heißt das Zusammenspiel von Überwachungs- und Diagnoseebene und Manipulationsebene erläutert, wobei auch die Funktionen der Manipulationsebene im Detail erklärt wurden. Im Anschluss an diese Einführung folgten drei Versuchsdurchläufe, in welchen jeweils eine der Varianten der Prozessvisualisierung behandelt wurde (within-subject). Innerhalb eines solchen Versuchsdurchlaufs wurde zunächst die jeweilige Prozessvisualisierung erklärt, gefolgt von einer Explorationsphase. Im Anschluss daran erledigten die Experten in Zweiertteams jeweils acht Aufgaben. Für die Erfüllung der Aufgaben mussten die Arbeitsschritte Überwachung, Diagnose und Manipulation durchgeführt werden:

- **Überwachung:** Die Experten überwachten den Informationsraum mit Hilfe



Abb. 6.3: Ablauf der Expertenbeurteilung

der Überwachungs- und Diagnoseebene. Die Aufgaben fungierten in Bezug auf das Modell der sequenziellen Abläufe der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen (vgl. Kapitel 2) als Aktivierung. Dabei wurden alle im Konzept vorgesehenen Möglichkeiten einer Aktivierung eingesetzt, das heißt sowohl in Form einer Meldung als auch als Circle oder als einfache Änderung der Farbcodierung eines Straßenabschnitts auf der Überwachungs- und Diagnoseebene.

- **Diagnose:** Um korrekt auf eine Aktivierung reagieren zu können, musste eine

Diagnose durchgeführt werden. Hierfür benötigten die Experten zusätzliche Informationen wie zum Beispiel Kamerabilder oder die Verkehrssituation auf jeder einzelnen Fahrspur, welche sie sich mit Hilfe der Überwachungs- und Manipulationsebene beziehungsweise in der Kontrollbedingung mit Hilfe der Manipulationsebene aufrufen konnten. Konkret musste zum Beispiel ein Stauende, ein Pannenfahrzeug oder eine Unfallstelle identifiziert werden.

- **Manipulation:** Auf die Diagnose folgend mussten die Experten entsprechend auf das simulierte Problem reagieren, das heißt eine Manipulation der Prozessvariablen mit Hilfe der Manipulationsebene durchführen. Diese Manipulation reichte von einem einfachen Verändern einzelner Verkehrszeichen bis hin zur Freigabe eines Pannestreifens über einen längeren Streckenabschnitt hinweg.

Im Anschluss an die Durchführung dieser Aufgaben wurde der NASA-TLX Fragebogen zur Erhebung der kognitiven Beanspruchung während der Arbeit mit der Prozessvisualisierung ausgehändigt. Darauf folgten zwei weitere Fragebögen – zum einen der standardisierte System Usability Scale (SUS) Fragebogen zur Erhebung des Gesamteindrucks des entwickelten Visualisierungs- und Interaktionskonzeptes und zum anderen ein spezifisch für das System erstellter Fragebogen, welcher zur Erhebung der subjektiven Einschätzung der Prozessvisualisierung herangezogen wurde. Im Anschluss an die Fragebögen folgte ein halbstrukturiertes Experteninterview, in welchem den Experten auch die Möglichkeit zur Diskussion geboten wurde. Dieser Ablauf wurde mit unterschiedlichen Aufgaben für jede der drei Varianten der Prozessvisualisierung auf der Überwachungs- und Diagnoseebene durchgeführt. Im Anschluss an die Betrachtung der einzelnen Varianten fand ein weiteres Experteninterview statt, in welchem der Vergleich der einzelnen Visualisierungen in Bezug auf die Vor- und Nachteile gegenüber den anderen Varianten diskutiert wurde. Abschließend folgte eine Erhebung des Gesamteindrucks des System, das heißt des Zusammenspiels der Überwachungs- und Diagnoseebene mit der Manipulationsebene mit Hilfe eines weiteren Fragebogens sowie eines weiteren Experteninterviews. Die Testunterlagen sind in Anhang C zu finden.

6.4 Methoden zur Datenerhebung und Auswertung

Für die Erfassung der Daten wurden drei Arten von Fragebögen eingesetzt. Neben den beiden standardisierten Fragebögen NASA-TLX und SUS wurden auch speziell auf das System zugeschnittene Fragebögen mit Fünf-Punkt-Likert-Skalen eingesetzt. Während des gesamten Versuchsdurchlaufs wurden die Probanden darauf hingewiesen laut zu denken (Thinking aloud method [VSBS94]). Zwei Beobachter erfassten dabei mit Hilfe von standardisierten Beobachtungsprotokollen innerhalb einer teilnehmenden Beobachtung sowohl die Aussagen der Experten als auch Auffälligkeiten im Umgang

mit dem System. Zusätzlich wurden mit Hilfe von zwei Kameras Videoaufnahmen (Bild und Ton) gemacht. Eine der Kameras wurde über der Überwachungs- und Diagnoseebene positioniert und erfasste vor allem die Interaktion mit dem Space-Navigator sowie mit der Manipulationsebene. Mit Hilfe der zweiten Kamera wurde hauptsächlich die Überwachungs- und Diagnoseebene aufgezeichnet. Im Folgenden werden kurz die eingesetzten standardisierten Fragebögen NASA-TLX und SUS erläutert sowie ein Überblick über die weiteren eingesetzten Methoden zur Datenerhebung, im Speziellen die Methoden der teilnehmenden Beobachtung und der Experteninterviews, gegeben. Im Anschluss daran erfolgt eine kurze Beschreibung des Vorgehens bei der Auswertung der qualitativen Daten.

6.4.1 Fragebögen

Im Folgenden werden die zwei innerhalb der Expertenbeurteilung eingesetzten standardisierten Fragebögen beschrieben. Dabei wird erläutert, zu welchem Zweck der jeweilige Fragebogen genutzt wird und wie die Ergebnisse zu interpretieren sind. Außerdem wird die Validität der Fragebögen diskutiert.

NASA-TLX: Eine erhebliche Abweichung zwischen den Anforderungen der Arbeitsaufgaben und dem Leistungsvermögen des Beschäftigten kann zu Stress führen. Eine solche Situation tritt zum Beispiel dann auf, wenn bei einer Bedienhandlung viele Informationen durch den Operator aufgenommen werden müssen, welche dieser jedoch nur ungenügend analysieren und bearbeiten kann. Die Beanspruchung ergibt sich somit aus der Beziehung zwischen den Ressourcen des Operators und den Anforderungen, die dem Operator durch die Aufgabe gestellt werden [WH00]. Gerade bei sicherheitskritischen Systemen, wie sie in Leitwarten vorzufinden sind, stellt die Arbeitsbelastung, welche durch das System hervorgerufen wird, ein entscheidendes Kriterium für Qualität des Systems dar. Innerhalb der Evaluation wurde aus diesem Grund ein Vergleich der Arbeitsbelastung in Bezug auf die drei Visualisierungsvarianten der Überwachungs- und Diagnoseebene durchgeführt. Zur Messung des Beanspruchungszustands der Experten bei der Aufgabenbearbeitung wurde der NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task-Load Index) von Hart und Staveland [HS88] in deutscher Version [URSW⁺88] eingesetzt. Beim NASA-TLX handelt es sich um eine mehrdimensionale subjektive Beanspruchungsmessmethode, mit welcher die Beanspruchung anhand der sechs folgenden Subskalen erfasst werden kann:

- **Geistige Beanspruchung:** Wie hoch war die geistige Beanspruchung bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung (z.B. denken, entscheiden, rechnen, erinnern, hinsehen, suchen, ...)? War die Aufgabe leicht

oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

- **Körperliche Beanspruchung:** Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren, ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?
- **Zeitliche Beanspruchung:** Wie viel Zeitdruck wird hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten, empfunden? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?
- **Aufgabenbewältigung:** Wie erfolgreich wurden der Meinung des Probanden nach die vom Versuchsleiter oder ihm selbst gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden war der Proband mit seiner Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?
- **Anstrengung:** Wie hart musste der Proband arbeiten, um seinen Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?
- **Frustration:** Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert fühlte sich der Proband während der Aufgabe?

Die Skalen sind 20-stufig und die Ratings werden in einen Wertebereich von 0 ('geringe Beanspruchung') bis 100 ('hohe Beanspruchung') überführt. Die Probanden bewerten jede Variante des Systems hinsichtlich der erlebten Beanspruchung in den sechs Bereichen. Somit kann ein Beanspruchungsprofil der Systemvariante erstellt werden. Die einzelnen Ratings der Subskalen werden zusätzlich zu einem Gesamtwert verrechnet, der die Beanspruchung in Prozent angibt. Dieser Gesamtwert der Beanspruchung entspricht dem Overall Workload Score der englischen Version. Bei der Erfassung der kognitiven Arbeitsbelastung subjektiv über Fragebögen handelt es sich dabei um eine sehr suffiziente Methode, welche auch eine hohe Sensitivität aufweist ([Har06]; [VV96]; [HIB⁺92]; [Pfe90]).

System Usability Scale: Eine Bewertung des Gesamteindrucks wurde nach jeder der drei Visualisierungsvarianten mit Hilfe des System Usability Scale (SUS) [Bro96] Fragebogens erfasst. Der SUS besteht aus zehn Aussagen über die Usability, von denen fünf positiv und fünf negativ formuliert sind. Die Zustimmung beziehungsweise Ablehnung zu den Aussagen wird über eine Fünf-Punkte-Likert-Skala erfasst und mit Werten von 0 bis 4 kodiert. Die Kodierung aller negativen Aussagen wird dabei von vier abgezogen. Daraufhin wird die Summe dieser Werte gebildet, wodurch ein Wert zwischen 0 und 40 ermittelt wird. Durch Multiplikation mit 2,5 wird der sogenannte SUS-Score errechnet, der als Prozentwert interpretiert werden kann, wobei 100 % einem perfekten System entsprechen. Werte unter 60 % sind nach Tullis und Albert [TA08] ein Indiz für gewichtige Usability-Probleme, Werte über 80 % können dagegen

als gut angesehen werden. Vergleichsstudien haben gezeigt, dass es sich beim SUS um einen Fragebogen handelt, der schon bei kleinen Testgruppen sehr konsistente Ergebnisse liefert [TA08].

6.4.2 Teilnehmende Beobachtung

Unter einer Beobachtung wird allgemein die absichtliche selektive Art des Wahrnehmens, die ganz bestimmte Aspekte beachtet verstanden [Gra66]. Bei der teilnehmenden Beobachtung befindet sich der Forscher dabei nicht in einer rein beobachtenden Position, sondern nimmt an der Situation teil. Das heißt es wird eine persönliche Beziehung zu den Beobachteten aufgebaut, während im Hintergrund Daten gesammelt werden. Eine teilnehmende Beobachtung ermöglicht es, einen genaueren Einblick in die Struktur des Untersuchungsgegenstandes zu erhalten. Die teilnehmende Beobachtung wird meist in einer teilweise standardisierten Form durchgeführt, das heißt es wird zwar ein Beobachtungsleitfaden erstellt, dieser muss allerdings nicht strikt befolgt werden. Über ausführliche Kommentare seitens des Beobachters wird die Möglichkeit der Herausarbeitung neuer Aspekte geschaffen. Im Rahmen der hier durchgeführten Evaluation wurde eine teilnehmende Beobachtung mit zwei Beobachtern anhand eines Beobachtungsleitfadens durchgeführt.

6.4.3 Experteninterview

Nach jeder Visualisierungsvariante sowie am Ende der Evaluation wurde ein Experteninterview in Form einer Gruppendiskussion durchgeführt. Das Experteninterview gehört dabei zu der Kategorie der Leitfadeninterviews [MN91]. Das Experteninterview wurde hier in der Form eines halbstandardisierten Interviews durchgeführt. Halbstandardisierte Interviews geben dem Interviewer die Art und Weise, wie das Gespräch geführt werden soll, mehr oder weniger genau in einem Interviewleitfaden vor. Das Spezifische an einem Experteninterview ist die Zielgruppe: Experten. Diese stehen nicht als „ganze Person“ im Mittelpunkt des Forschungsinteresses; vielmehr gelten sie als Repräsentanten für die Handlungs- und Sichtweisen einer bestimmten Expertengruppe. Die Strukturierung der Fragen des Interviews wurden in Anlehnung an das System von Helfferich [Hel05] durchgeführt. Dabei werden die Fragen in drei Gruppen unterteilt:

1. **Leitfrage:** Sie dient als Erzählaufforderung/Stimulus und ist sehr offen formuliert: „Erzählen Sie mir bitte doch einmal, wie Sie die Arbeit mit dem System empfunden haben?“
2. **Aufrechterhaltungsfrage:** Sie gibt kein neues Thema vor, sondern hält den Erzählfluss aufrecht beziehungsweise gibt Impulse für assoziative Gedanken:

„Wie ging es weiter?“, „Was fällt Ihnen sonst noch ein?“, „Und sonst?“, „Und weiter?“ „Was bringen Sie mit „X“ gedanklich noch in Verbindung?“

3. **Konkrete Nachfragen:** Hier können Nachfragen zu inhaltlichen Aspekten formuliert werden, die im Gespräch noch nicht vorgekommen sind

Die Durchführung des Experteninterviews als Gruppendiskussion (auch Focus Group) bringt nach Flick [Fli07] dabei einige Vorteile mit sich:

- Die Antwortenden stimulieren sich gegenseitig in Bezug auf die Erinnerung an Ereignisse
- Gruppendiskussionen ermöglichen eine Qualitätskontrolle der Datensammlung, da es relativ leicht abzuschätzen ist, inwieweit es unter den Teilnehmern eine relativ konsistente Ansicht gibt oder nicht
- Durch Gruppendynamik entstehen rasch widersprüchliche Aussagen, welche die Diskussion anregen

Ein Problem der Gruppendiskussion ist jedoch die Schwierigkeit, während des Interviews Notizen zu machen. Aus diesem Grund wurde wie die teilnehmende Beobachtung auch die Gruppendiskussion von zwei Personen begleitet und zusätzliche Video- und Tonaufnahmen angefertigt.

6.4.4 Qualitative Inhaltsanalyse

Im Folgenden wird die methodische Vorgehensweise zur Analyse der erhobenen Daten kurz beschrieben. Aufgrund der unterschiedlichen Art der erhobenen Daten (Fragebögen, Beobachtungsprotokolle, Videos, ...) wurde unter anderem eine qualitative Inhaltsanalyse [May00] durchgeführt. Diese qualitative Analyse wurde dabei aufbauend auf einer quantitativen Analyse der Fragebögen durchgeführt, was ein tieferes Verständnis der Ergebnisse ermöglicht als es durch eine reine Betrachtung der quantitativen Ergebnisse möglich ist [May10]. Um die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse besser nachvollziehen zu können, muss zunächst betrachtet werden, welches Material analysiert wurde, welche formalen Charakteristiken dieses aufweist und in welcher Situation das Material erhoben wurde [May00, May10, MB07]:

Analysiertes Material/formale Charakteristiken: Das mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse betrachtete Material umfasst:

- Fragebögen: (Pre- und Post-Test Fragebögen, NASA-TLX, SUS, eigener Fragebogen mit Likert-Skalen) mit beinahe ausschließlich geschlossenen Fragen (quantitative Analyse)

- Beobachtungsprotokolle der teilnehmenden Beobachtungen von jeweils zwei Beobachtern
- Protokolle der Experteninterviews, angefertigt von zwei Interviewern
- Videoaufnahmen (mit Ton) der Aufgabenerfüllung und der Experteninterviews

Situation der Datenerhebung: Die analysierten Daten wurden mit Hilfe von fünf Expertenbeurteilungen erhoben, wobei die Beurteilung in Gruppen von zwei Experten durchgeführt wurden. Ein Experte führte aufgrund einer ungeraden Teilnehmerzahl die Beurteilung zwei mal durch, es wurden jedoch nur die Ergebnisse des ersten Durchlaufs berücksichtigt. Drei der Erhebungen fanden dabei in den Laboren der Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion der Universität Konstanz statt, während weitere zwei Expertenbeurteilungen direkt vor Ort in einer Verkehrsleitzentrale durchgeführt wurden. Die Mitglieder der einzelnen Gruppen waren sich dabei gegenseitig bekannt. Abbildung 6.4 zeigt zwei Expertenbeurteilungen mit jeweils zwei Experten und zwei Beobachtern.



Abb. 6.4: Expertenbeurteilung mit jeweils zwei Experten und zwei Beobachtern: (links) Labor-Setting; (rechts) mobiles Setting

Analyse Technik: Nach Mayring [May00] kann bei der Analysetechnik zwischen zwei Arten unterschieden werden: Der induktiven Kategorie-Entwicklung und der deduktiven Kategorie-Anwendung. Für die deduktive Kategorie-Anwendung müssen jedoch bereits im Vorhinein theoretisch abgeleitete Aspekte (die Kategorien) formuliert werden, auf welche das Material hin untersucht werden kann. Einzelne Passagen des Materials, zum Beispiel Textpassagen, werden diesen Kategorien kontrolliert zugeordnet. Jedoch konnte diese Form der Analyse hier nicht angewandt werden, da keine vordefinierten Kategorien abgeleitet werden konnten. Im Gegensatz dazu ermöglicht es die hier angewandte induktive Kategorie-Entwicklung, eine Reduktion des Materials auf die Kernaussagen durch eine Entwicklung von Kategorien zu erreichen.

Das heißt, dass relevante Textstellen (z.B. transkribierte Video-/Audio-Anweisungen) allmählich auf die wesentlichen Nachrichten, die dann als Kategorien (z.B. Wörter oder kleine Sätze) bezeichnet werden, reduziert werden. Welche Textstellen dabei als relevant angesehen werden, wird nach Kriterien bestimmt, welche sich aus der Forschungsfrage ableiten lassen. Die hier angewandten Kriterien umfassen:

- Inhaltssensitive Navigation
- Nonverbale Kommunikation über die Multifoci-View
- Integration zusätzlicher Detailinformationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene
- Blickwechsel zwischen den Ebenen
- Arbeit mit den Meldungen/automatische Navigation
- Wahrnehmung der Circles
- Synchronisation der Displayebenen
- Integration der Kamerabilder
- Multitouch auf Manipulationsebene

6.5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Fragebögen, der teilnehmenden Beobachtung und besonders der Experteninterviews detailliert beschrieben. Dabei wird zunächst auf die Bewertung der Navigation sowohl auf der Überwachungs- und Diagnoseebene als auch auf der Manipulationsebene durch die Experten eingegangen. Im Anschluss werden die drei Konzepte zur Prozessvisualisierung gegenübergestellt und anhand der Ergebnisse der Fragebögen und der Experteninterviews miteinander verglichen. Abschließend werden die Expertenbeurteilungen in Bezug auf die Funktionen der Circles, der Integration der Kamerabilder, der Meldungsliste sowie allgemein des Einsatzes der Multitouch-Technologie in Leitzentralen erläutert.

Insgesamt wurde die Studie mit Experten aus drei unterschiedlichen Verkehrsleitzentralen durchgeführt (VZ Baden Württemberg, VZ Südbayern und VZ Hessen), wobei in Summe 11 Experten befragt werden konnten. Unter diesen Experten waren sowohl Operatoren als auch Personen mit leitenden Tätigkeiten innerhalb der Verkehrsleitzentralen. Des Weiteren wurden zwei Experten befragt, die nicht direkt Mitarbeiter einer Leitzentrale waren, jedoch als Berater bei der Planung von Leitzentralen tätig sind. Tabelle 6.1 fasst die soziodemografischen Daten dieser Stichprobe zusammen.

Tab. 6.1: Soziodemografische Daten der Probanden

| | |
|---------------------------|---|
| Probanden | 11 männliche Experten |
| Durchschnittsalter | 38 Jahre (SD = 10.33) |
| Tätigkeit | 4 x Operatoren 3 x Leitende Tätigkeit innerhalb der Leitwarte 2 x Betriebstechniker 2 x Projektingenieur (Berater bei Planung von Verkehrsleitzentralen) |
| Computer-Expertise | 0.54 (SD = 0.66; Skala von -2 „keine Kenntnisse“ bis 2 „ausgezeichnete Kenntnisse“) |

81,8% der Teilnehmer hatten bereits im Vorfeld Erfahrung mit der Joystickinteraktion gesammelt, wobei die Nutzungshäufigkeit bei $M = 0.11$ (SD = 1.37; Skala von -2 „sehr selten“ bis 2 „sehr häufig“) lag. Alle Probanden gaben an, dass sie bereits Erfahrung im Umgang mit der Navigation in Karten (z. B. Google Maps oder aktuelle Systeme aus Leitwarten) haben. Sechs der 11 Experten gaben dabei an, täglich in Karten zu navigieren, 2 Experten gaben an, dies mehrmals wöchentlich zu tun, und drei Experten nutzten die Navigation in Karten nur einmal oder mehrmals monatlich. Des Weiteren nutzen alle Teilnehmer die Zooming- und Panning-Funktion im Kontext von Karten, wobei die durchschnittliche Nutzungshäufigkeit für das Zomming bei $M = 1$ (SD = 1.21; Skala von -2 „sehr selten“ bis 2 „sehr häufig“) beziehungsweise für das Panning ebenfalls bei $M = 1$ (SD = 0.95; Skala von -2 „sehr selten“ bis 2 „sehr häufig“) lag.

6.5.1 Navigation

Die Ergebnisse der Navigation lassen sich in drei Bereiche unterteilen: Ergebnisse zur Navigation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene, Ergebnisse zur Navigation auf der Manipulationsebene sowie Ergebnisse zur Beurteilung der Synchronisation und des Zusammenspiels der beiden Displayebenen.

6.5.1.1 Navigation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene

Die teilnehmende Beobachtung zeigte, dass die Experten schnell mit der Navigation, das heißt dem Setzen der Fokuspunkte auf der Überwachungs- und Diagnoseebene, zurecht kamen. Bereits nach einer kurzen Übungsphase waren sie mit allen Funktionen der freien sowie der inhaltssensitiven Navigation vertraut. Die Experten bestätigten während der Interviews, dass sie die Navigation als sehr einfach und intuitiv empfanden.

Zitat: „Das ist eine sehr einfache und durchdachte Bedienung.“

Zitat: „Ich finde die Navigation gut, also einfach und selbsterklärend.“

Diese Einschätzung bestätigte sich nochmals durch die Antworten im Fragebogen zur Navigation. Die subjektiven Antworten der Fragebögen zeigten, dass die Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators weitestgehend den Erwartungen der Probanden entsprach ($M = 0.82$; $SD = 1.5$; Skala von -2 „überhaupt nicht“ bis 2 „absolut“). Im Durchschnitt bewerteten die Probanden die Verständlichkeit der Navigation (sowohl freie als auch inhaltsensitive Navigation) in Verbindung mit dem SpaceNavigator mit $M = 1.64$ ($SD = 1.36$; Skala von -2 „sehr verwirrend“ bis 2 „sehr verständlich“). Wobei die Experten der Aussage, dass die Bedienung des Eingabegerätes (SpaceNavigator) sehr intuitiv/selbsterklärend war, mit $M = 1.18$ ($SD = 0.57$; Skala von -2 „überhaupt nicht“ bis 2 „absolut“) zustimmten. Die für die Navigation erforderliche Konzentration wurde von den Probanden durchschnittlich mit $M = 0.55$ ($SD = 1.23$; Skala von -2 „sehr viel Konzentration“ bis 2 „sehr wenig Konzentration“) bewertet. In Bezug auf die freie Navigation empfanden dabei über 90% der Experten die Anzeige der Kipprichtung innerhalb des polymodalen Navigationselements als hilfreiche Funktion. Abbildung 6.5 fasst die Ergebnisse nochmals zusammen.

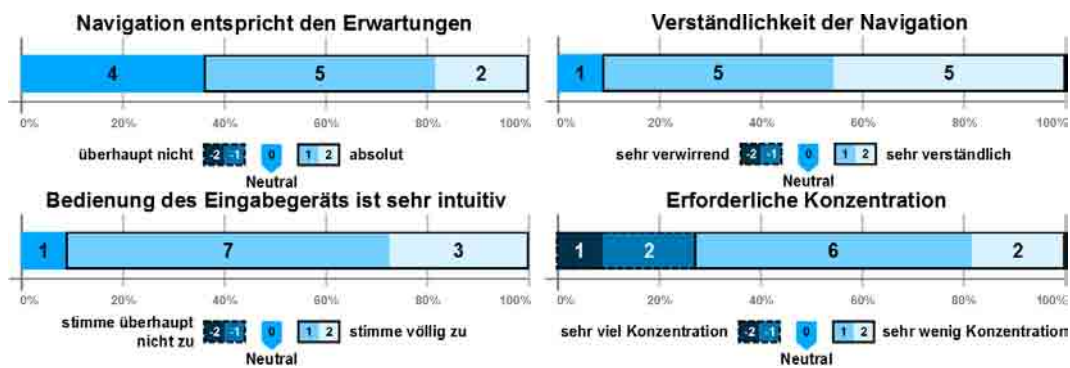


Abb. 6.5: Bewertung der Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators

Während der Interviews äußerten einige Experten, dass aktuell keine Interaktion mit dem Wanddisplays beziehungsweise in nur sehr eingeschränkter Form möglich ist. Ein Experte erklärte dabei, dass im Rahmen des Neuaufbaus einer Videowand eine Interaktion mit Hilfe der Maus vorgesehen war und auch umgesetzt wurde. Die Probleme bei der Interaktion mit der Maus wie das ständige Nachgreifen und besonders die Schwierigkeiten dabei, den Mauszeiger auf der Videowand ausfindig zu machen, führten dazu, dass diese Form der Interaktion in dieser Leitzentrale nicht mehr genutzt wird:

Zitat: "Wir hatten ursprünglich gedacht, dass wir die Wand nutzen. Nur hatten wir dann wieder das Problem, dass wir drei Arbeitsplätze haben, aber nur einer der Master auf der Wand sein kann. Das heißt die Anderen können nichts machen. Außerdem sieht man den Mauszeiger auf der Wand kaum und muss ihn erst mal suchen. Wir haben das dann eingestellt."

*Es hat sich aber erst im Betrieb gezeigt, dass es so nicht funktioniert.
Eigentlich wollten wir die Wand zur Bedienung mit nutzen.”*

Im Gegensatz hierzu wurde die Interaktion mit einem entfernten Display über den SpaceNavigator als sehr gut empfunden. Besonders herausgehoben wurde dabei die Möglichkeit, eine Verbindung mit der Straße herzustellen. Wobei auch die Möglichkeit in Betracht gezogen wurde, das Konzept der inhaltssensitiven Navigation auf die Interaktion mit der Maus zu übertragen.

Zitat: “Meiner Meinung nach eignet sich der SpaceNavigator sehr gut für die Steuerung von entfernten Displays.”

Zitat: “Die Verbindung zu Straßen ist ein sehr gutes Konzept, könnte man sich jetzt auch schon zur Mausbedienung vorstellen.”

Die Vorteile bei der inhaltssensitiven Navigation sahen die Experten vor allem in der geführten Navigation, welche weniger Präzision erfordert, sowie in der Möglichkeit des sequenziellen Abrufens von Detailinformationen. Die teilnehmende Beobachtung bestätigte diese Aussagen. Es wurde beobachtet, dass die Experten mit Hilfe der freien Navigation grob an die Stelle im Prozess navigierten, welche sie genauer untersuchen wollten und hier so bald wie möglich in die inhaltssensitive Navigation wechselten. Für die Diagnose einer Problemursache wurde beinahe ausnahmslos die inhaltssensitive Navigation genutzt. Die Antworten der Fragebögen bestätigen dies nochmals. So wurde das Folgen des Straßenverlauf über ein Kippen des SpaceNavigators im Durchschnitt mit $M = 1.36$ ($SD = 0.77$; Skala von -2 „sehr schlecht“ bis 2 „sehr gut“) bewertet, wobei auch das Abbiegen an Kreuzungen mit $M = 1$ ($SD = 0.85$; Skala von -2 „sehr schlecht“ bis 2 „sehr gut“) ähnlich gut bewertet wurde (siehe Abbildung 6.6).

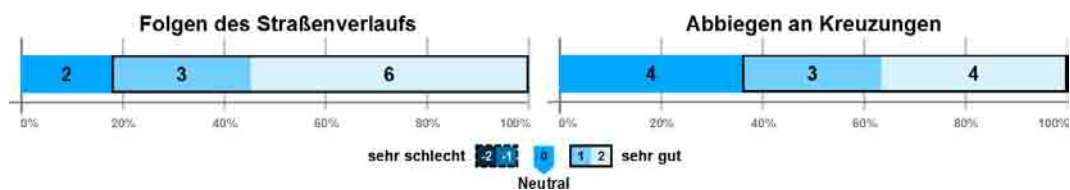


Abb. 6.6: Bewertung der Funktion um einem Straßenverlauf zu folgen und an Kreuzungen abzubiegen

Bezogen auf die Navigationsgeschwindigkeit gab es unter den Experten unterschiedliche Ansichten. Ein Teil der Experten empfand die Navigationsgeschwindigkeit im Verhältnis zur Anwahl des Kontextes mit Hilfe der Maus als schnell, einige Experten jedoch bemängelten die Geschwindigkeit, wenn große Distanzen überbrückt werden mussten.

Zitat: “Die Steuerung finde ich schneller und einfacher, als wenn ich mit der Maus in der Karte mit Scrollbalken arbeiten muss.”

Zitat: “Die Navigation ist zu langsam, zum Beispiel wenn ich von der rechten zur linken Ecke muss. Mit der Maus ist das schneller.”

Hier kann eine Unterscheidung getroffen werden zwischen der Geschwindigkeit, mit welcher einem Straßenverlauf gefolgt werden kann, und der Navigationsgeschwindigkeit in der freien Navigation. Die inhaltssensitive Navigation im Kontext einer Straße wurde genutzt, um Detailinformationen abzurufen, wobei hier die Navigationsgeschwindigkeit als angemessen empfunden wurde. Die freie Navigation hingegen wurde eingesetzt, um große Distanzen zu überbrücken, das heißt um zum Beispiel von der linken unteren Ecke der Prozessvisualisierung zur rechten oberen Ecke zu gelangen. Hierbei wurden keine Detailinformationen beobachtet und die Navigation somit als zu langsam empfunden. Die über den Fragebogen ermittelte durchschnittliche Wahrnehmung der Navigationsgeschwindigkeit zeigt, dass diese mit $M = -0.55$ (SD 0.66; Skala von -2 „viel zu langsam“ bis 2 „viel zu schnell“) als etwas zu langsam empfunden wurde. Jedoch bewerteten die Probanden die Navigation mit dem SpaceNavigator im Vergleich zu ihren individuellen Erfahrungen mit der herkömmlichen Maus (wurde im Testsetting nicht angeboten) als etwas besser ($M = 0.45$; SD = 0.15; Skala von -2 „wesentlich schlechter“ bis 2 „wesentlich besser“). Abbildung 6.7 zeigt die Verteilung der Bewertungen durch die Experten.

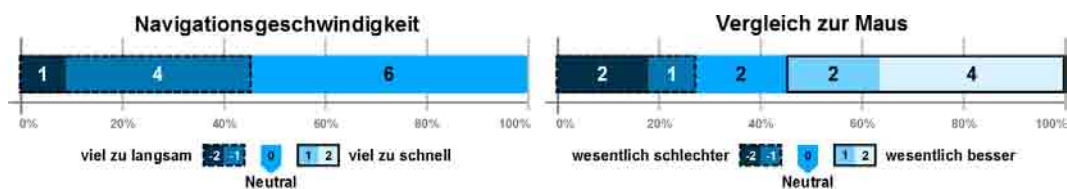


Abb. 6.7: Bewertung der Navigationsgeschwindigkeit und der Navigation mit dem SpaceNavigator im Vergleich mit der Maus

Die Funktion, um innerhalb der inhaltssensitiven Navigation zu einer Kreuzung zu springen, wurde als sehr sinnvoll und auch wichtig empfunden, jedoch wurde bemängelt, wie diese Funktion auszulösen war. Das zweimalige Kippen des SpaceNavigators zum Auslösen der Funktion erfordert zu viel Übung, da die Kippbewegungen innerhalb eines bestimmten Zeitfensters erfolgen müssen und der SpaceNavigator dazwischen in seine Ausgangsposition zurück gebracht werden muss. Die teilnehmende Beobachtung zeigte dennoch, dass die Funktion selbst von den Operatoren häufig genutzt wurde. Dabei bemerkten einige Experten, dass auch das Springen zwischen den Verkehrsbeeinflussungsanlagen oder bei der Tunnelüberwachung auch das Springen zwischen Tunneln eine Anwendung für diese Funktion darstellt. Die mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse gewonnene Erkenntnis über die Nützlichkeit der

Funktion, um zwischen Kreuzungen zu springen, wurde auch durch die Auswertung der Fragebögen nochmals bestätigt. Bei der Frage nach der Nützlichkeit der Funktion wurde ein Wert von $M = 1$ ($SD = 1.21$; Skala von -2 „sehr verwirrend „ bis 2 „sehr hilfreich“) ermittelt (siehe Abbildung 6.8).

Sowohl bei der freien als auch bei der inhaltssensitiven Navigation wurde der Wunsch nach einem Fadenkreuz innerhalb des polymodalen Navigationselements geäußert. Laut Experten ist ein solches Fadenkreuz vor allem für die Zuordnung der Kilometerangabe innerhalb des polymodalen Navigationselements zur Position auf der Straße wichtig. Aus Sicht der Experten eindeutig hingegen war, welchen Fokuspunkt sie aktuell manipulieren können. Das heißt das Bewusstsein für die flexible Zuordnung der Fokuspunkte zu den Operatoren war gegeben. Inwieweit das Aufstellen des SpaceNavigators auf einen der TokenContainer einen Einfluss auf dieses Bewusstsein hatte, konnte jedoch nicht ermittelt werden.

6.5.1.2 Navigation auf der Manipulationsebene

Die Navigation auf der Manipulationsebene als Ergänzung zu der Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators wurde als sehr hilfreich empfunden und auch häufig genutzt. Innerhalb des Interviews bemerkten die Experten dabei auch, dass sie das Pannen mit Hilfe von Touch-Gesten gegenüber dem Pannen mit der Maus bevorzugen und diese Art der Navigation auch als schneller empfinden. Die Anwendung des Konzeptes der inhaltssensitiven Navigation auch auf dieser Ebene wurde von den Experten kaum wahrgenommen. Die teilnehmende Beobachtung zeigte, dass dies darin begründet war, dass die Navigation auf der Manipulationsebene immer ausschließlich entlang der Straßenverläufe erfolgte, egal ob sich die Experten in der freien oder der inhaltssensitiven Navigation befanden. Einige Experten empfanden dabei die Navigationsgeschwindigkeit als zu langsam, wobei einer der Versuchsteilnehmer eine adaptive Navigationsgeschwindigkeit abhängig von der Anzahl der Finger mit denen gepannt wird, vorschlug. Ein anderer Experte merkte an, dass die Integration von physikalischen Eigenschaften die Navigation optimieren, könnte.

6.5.1.3 Kombination aus Überwachungs- und Manipulationsebene

Die Synchronisation der Manipulationsebene mit der Überwachungs- und Diagnoseebene wurde von den Experten während der Interviews als besonders nützlich hervorgehoben.

Zitat: „Das Abrufen von Informationen mit dem SpaceNavigator gefällt mir gut.“

Zitat: „Ich finde, das ist eine sehr schöne Übersicht- und Detaillösung.“

6 Evaluation

Die Auswertung der Fragebögen bestätigte diese Aussagen nochmals. Die Aussage, dass die Synchronisation des Private Space (Multitouch-Display) mit dem Public Space (Wanddisplay) sehr hilfreich ist, wurde mit $M = 1.55$ ($SD = 0.5$; Skala von -2 „stimme überhaupt nicht zu“ bis 2 „stimme völlig zu“) weitgehend bestätigt (siehe Abbildung 6.8).

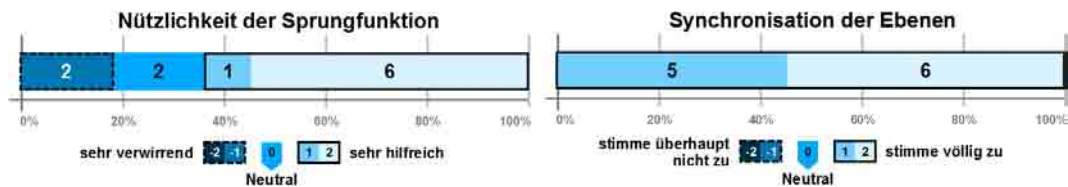


Abb. 6.8: Bewertung der Sprung-Funktion und der Synchronisation der Ebenen

Die Evaluation zeigte, dass beide Arten der Navigation wichtig für die Interaktion mit dem System sind. Das heißt sowohl die Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators auf der Überwachungs- und Diagnoseebene als auch die Navigation über die Touch-Interaktion auf der Manipulationsebene wurden von den Experten genutzt. Dabei war ein klares Muster zu erkennen. Die Beobachtungen zeigten, dass die Navigation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene genutzt wurde, um große Strecken zu überbrücken, während für die Navigation entlang von Streckenabschnitten bei gleichzeitiger Manipulation von Prozessvariablen die Navigation mit Hilfe des Pannings auf der Manipulationsebene durchgeführt wurde. Dies wurde durch die Interviews nochmals bestätigt.

Zitat: "Mit dem SpaceNavigator auf dem Wanddisplay schnell zur entsprechenden Stelle und dann mit Pannen fein justieren, funktioniert sehr gut."

Die Verfügbarkeit beider Navigationsarten verhinderte somit einen unnötigen Blickwechsel zwischen den Displays zum Beispiel beim Manipulieren von Straßenschildern über mehr als eine Verkehrsbeeinflussungsanlage hinweg. Allgemein wurde die Synchronisation der Manipulationsebene mit der Überwachungs- und Diagnoseebene als sehr sinnvoll beurteilt.

Zitat: "Die Markierung der Position auf dem Wanddisplay gefällt mir gut um zu sehen, welche Detailinformationen auf dem anderen Display angezeigt werden."

Die Beobachtungen und auch die Interviews zeigten, dass den Experten während der Interaktion mit dem System dabei immer klar war, zu welcher Stelle im Prozess aktuell Detailinformationen auf der Manipulationsebene dargestellt werden. Das heißt die Zuordnung der Fokuspunkte auf der Überwachungs- und Diagnoseebene zur Manipulationsebene war problemlos möglich. Des Weiteren bemerkte ein Experte,

dass das Herstellen der mentale Verbindung zwischen den Detailinformationen und der Straße durch den nachempfundenen Straßenverlauf erleichtert wird:

Zitat: "Das Interpretieren der Detailinformationen finde ich einfacher als bei unserer geradlinigen Darstellung."

6.5.2 Multifoci-Views

In Bezug auf die Nutzung von Multifoci-Views in Leitzentralen stimmten die Experten darin überein, dass diese einen entscheidenden Mehrwert gegenüber heutigen Systemen bieten. Besonders wurde dabei hervorgehoben, dass diese Art von Visualisierung die nonverbale Kommunikation zwischen den Operatoren fördert. So bemerkten die Operatoren, dass es ein großer Vorteil ist zu sehen, an welcher Stelle des Prozesses der Kollege gerade arbeitet:

Zitat: "Es ist eindeutig erkennbar, wer hat wo gearbeitet. Jeder sieht vom anderen, wo er sich aufhält, in welchem Bereich. Wenn Störungen rein kommen, gibt's ... die Möglichkeit zu entscheiden, nehme ich es oder nimmt es der andere für die Abarbeitung des Ganzen."

Das heißt der Einsatz einer Multifoci-View in einer Leitzentrale ermöglicht eine bessere nonverbale Koordination zwischen den Operatoren und fördert dabei auch das Situationsbewusstsein.

Zitat: "Das Konzept unterstützt auf jeden Fall das Situationsbewusstsein – würde ich gleich so gerne mitnehmen."

Einer der Experten zeigte dabei ein Beispiel für einen Workflow auf, welcher häufig in Verkehrsleitzentralen vorkommt:

Zitat: "Es kommt durchaus vor, dass hintereinander zwei Anrufe kommen, welche die gleiche Baustelle betreffen. Man bekommt zum Beispiel von draußen die Rückmeldung, dass hier die Anzeige nicht stimmt. ... Wenn der Kollege an der A8 etwas macht und der Andere geht ans Telefon und er sieht der Andere arbeitet gerade an der A8, kann er das an den Kollegen weiter geben. Von daher ist es nicht schlecht, wenn man sieht, wer gerade in welchem Bereich arbeitet."

In Bezug auf die nonverbale Kommunikation wurden alle drei Konzepte zur Prozessvisualisierung durchgehend positiv bewertet. In anderen Bereichen waren hingegen deutliche Unterschiede in Bezug auf das Feedback der Experten zu entdecken. So unterschieden sich die Angaben der Experten in Bezug auf den System Usability Scale Fragebogen teilweise deutlich voneinander. Während bei der HML-View Bedingungen sowie bei der Kontrollbedingung mit 73,41% beziehungsweise 76,36%

ähnliche Ratings erzielt wurden, erreichte die Folding-View lediglich einen Wert von 56,59% (siehe Abbildung 6.11, links). Der Unterschied zwischen dem SUS Score der Folding-View und der HML-View ($t(11) = 1.77$; $p = .01$) sowie zwischen der Folding-View und der Kontrollansicht ($t(11) = 1.76$; $p = .01$) ist dabei jeweils auch statistisch signifikant. Der Unterschied zwischen der Kontrollbedingung und der HML-View ist im Gegensatz dazu statistisch deutlich nicht signifikant ($t(11) = 1.72$; $p = .22$). Nach Banger et al. [BKM09] können die Werte der HML-View und der Kontrollansicht dabei als “gut” bis “exzellent” angesehen werden. Im Gegensatz dazu entspricht die Bewertung der Folding-View eher einem “ok” bis “gut”. Auffallend dabei ist, dass die Standardabweichung der SUS Scores der einzelnen Experten bei der Folding-View ($SD = 19.49$) wesentlich höher liegt, als bei der HML-View ($SD = 8.14$) und bei der Kontrollansicht ($SD = 8.94$). Dies weist darauf hin, dass die Experten eine stark unterschiedliche Meinung von dieser Ansicht besitzen.

Neben dem Fragebogen zur Erfassung des System Usability Scale beantworteten die Experten einige Fragen zu jeder der drei getesteten Varianten einer Prozessvisualisierung, welche speziell auf den Kontext einer Leitzentrale abgestimmt wurden. Dabei stimmten die Experten der Aussage, dass das System für den Einsatz im Arbeitsalltag in Verkehrsleitwarten geeignet ist mit $M = 0.24$ ($SD = 0.85$; Skala von -2 „stimme überhaupt nicht zu“ bis 2 „stimme völlig zu“) zu. Bei einer Betrachtung der Zustimmung zu dieser Aussage aufgeschlüsselt nach den einzelnen Prozessvisualisierungen lässt sich ein klarer Unterschied erkennen. Während die HML-View und die Kontrollansicht mit $M = 0.45$ ($SD = 0.48$) beziehungsweise $M = 0.64$ ($SD = 0.5$) ähnliche Werte erzielen (kein statistisch signifikanter Unterschied: $t(11) = 1.72$; $p = .83$), ist ein signifikanter Unterschied beider Varianten zur Folding-View mit $M = -0.37$ ($SD = 1.07$) vorhanden (Folding-View zu HML-View: $t(11) = 1.76$, $p = .02$; Folding-View zu Kontrollansicht: $t(11) = 1.76$, $p = .01$). Dabei lässt sich jedoch erkennen, dass die Standardabweichung bei der Folding-View auch hier mehr als doppelt so hoch ist wie bei den anderen beiden Varianten. Die Experten waren sich bezüglich der Nutzung dieser Ansicht im Arbeitsalltag nicht einig. Diese im Verhältnis sehr hohe Standardabweichung zeigt nochmals die kontroverse Einstellung der Experten gegenüber der Folding-View. Bei der Frage danach, ob die Orientierung im Überwachungsraum durch das „Public Display“ (Wand-Display) sehr gut möglich ist, zeigte sich ein ähnliches Muster. Auch hier wurden die HML-View mit $M = 0.64$ ($SD = 0.64$; Skala von -2 „stimme überhaupt nicht zu“ bis 2 „stimme völlig zu“) und die Kontrollansicht mit $M = 0.55$ ($SD = 0.66$) beinahe gleich bewertet (kein statistisch signifikanter Unterschied: $t(11) = 1.72$; $p = .38$), während die Folding-View mit $M = -0.91$ ($SD = 0.9$) deutlich schlechter beurteilt wurde. Der Unterschied der Folding-View zur HML-View sowie zur Kontrollansicht ist dabei ebenfalls statistisch signifikant (Folding-View zu HML-View: $t(11) = 1.73$, $p = .00$; Folding-View zu

Kontrollansicht: $t(11) = 1.73$, $p = .00$). Dieses Muster wiederholt sich auch bei der Frage, ob der Überwachungsraum auf dem „Public Display“ (Wand-Display) stets gut zu überblicken ist. Hierbei wurde bei der HML-View ein Wert von $M = 0.72$ ($SD = 0.62$; Skala von -2 „stimme überhaupt nicht zu“ bis 2 „stimme völlig zu“) und bei der Kontrollansicht ein Wert von $M = 0.82$ ($SD = 0.57$) ermittelt (kein statistisch signifikanter Unterschied: $t(11) = 1.72$; $p = .36$). Die Folding-View wurde auch hier mit $M = -0.91$ ($SD = 0.66$) deutlich schlechter bewertet. Die Varianzanalyse bestätigt wiederum eine statistische Signifikanz der Unterschiede zur HML-View und zur Kontrollansicht (Folding-View zu HML-View: $t(11) = 1.72$, $p = .00$; Folding-View zu Kontrollansicht: $t(11) = 1.72$, $p = .00$). Während eine HML keinen Einfluss auf die Orientierung auf der Karte und auf den Überblick im Gegensatz zur Kontrollansicht zu haben scheint, beeinflusst die Folding-View diese Wahrnehmung nach Meinung einiger Experten deutlich. Abbildung 6.9 fasst diese Ergebnisse nochmals zusammen.

Eine zusätzliche Bewertung der drei unterschiedlichen Prozessvisualisierungen wurde mit Hilfe des NASA-TLX in Bezug auf die Arbeitsbeanspruchung durchgeführt. Im Folgenden wird auf die mittleren Beanspruchungswerte der sechs Subskalen des Nasa Task Load Index genauer eingegangen. Für die Auswertungen wurden die Rohwerte der Ratings in den einzelnen Subskalen verwendet, ohne eine Gewichtung der einzelnen Subskalen vorzunehmen. Abbildung 6.10 zeigt die durchschnittlichen Beanspruchungswerte in den sechs Subskalen des NASA-TLX getrennt nach HML-View, Folding-View und Kontrollansicht.

Es fällt auf, dass die Beanspruchung in allen Skalen außer bei der körperlichen und der zeitlichen Beanspruchung durch das Arbeiten mit der Folding-View höher war als durch das Arbeiten mit dem der HML-View oder der Kontrollansicht, wobei diese beiden durchgängig ein ähnliches Beanspruchungsmuster aufweisen (siehe Abbildung 6.10). Eine Übereinstimmung der Beanspruchung bei allen drei Varianten in der zeitlichen Dimension scheint plausibel, da die Probanden während des Testes keinem Zeitdruck ausgesetzt waren. Dies könnte auch der Grund dafür sein, dass die zeitliche Beanspruchung über alle drei Bedingungen hinweg um den Mittelpunkt der Skala herum eingeschätzt wurde ($M = 51.36$; $SD = 22.71$; Skala von 0 „gering“ bis 100 „hoch“). Es ist also in Bezug auf die zeitliche Beanspruchung keine Tendenz erkennbar. Die zeitliche Dimension wird aus diesem Grund im Folgenden nicht näher betrachtet. Allgemein liegen die durchschnittlichen Beanspruchungswerte, mit Ausnahme der Dimension der geistigen Beanspruchung bei der Folding-View im mittleren bis unteren Skalenbereich.

Geistige Beanspruchung: Zwischen der Prozessvisualisierung und der geistigen Beanspruchung zeigte sich folgender Zusammenhang: Wie in Abbildung 6.10 ersichtlich, fühlten sich die Experten bei der Arbeit mit der Folding-View geistig mehr beansprucht ($M = 64.55$; $SD = 26.15$; Skala von 0 „gering“ bis

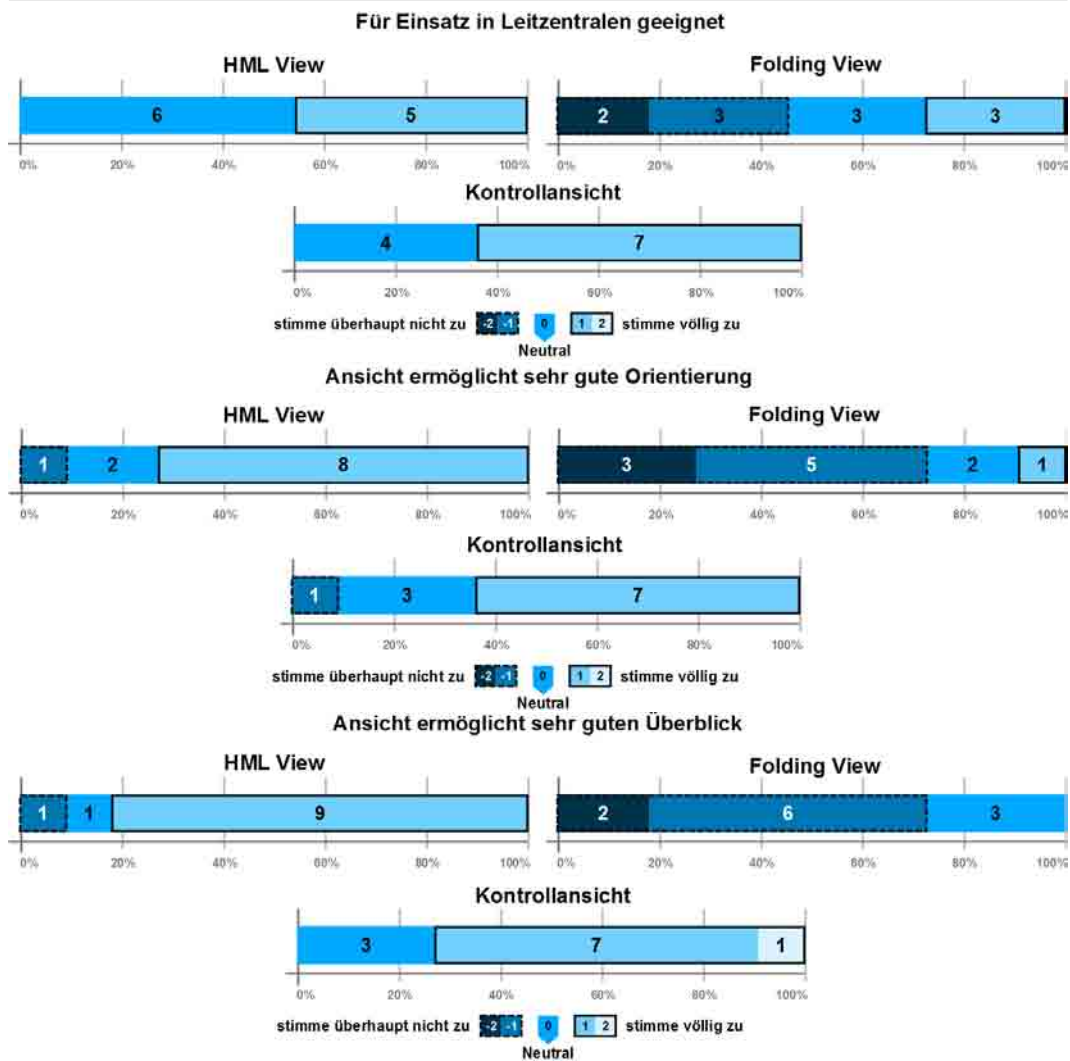


Abb. 6.9: Bewertung der einzelnen Prozessvisualisierungen in Bezug auf die Alltagstauglichkeit, die Orientierung und die Übersicht

100 „hoch“) als bei der Arbeit mit der HML-View ($M = 42.73$; $SD = 21.14$) beziehungsweise der Kontrollansicht ($M = 44.55$; $SD = 18.4$). Das Arbeiten mit der Folding-View erforderte folglich ein höheres Maß an geistiger Arbeit und Wahrnehmungsleistung und wurde in dieser Hinsicht als anspruchsvoller und komplexer empfunden. Die Varianzanalyse zeigte dabei auch einen signifikanten Effekt zwischen der Folding-View und der Kontrollansicht ($t(11) = 1.73$; $p = .03$) sowie zwischen der Folding-View und der HML-View ($t(11) = 1.73$; $p = .03$) für die geistige Beanspruchung. Somit kann die Aussage, dass das Arbeiten mit der Folding-View zu einer höheren geistigen Beanspruchung führt als das Arbeiten mit der HML-View beziehungsweise Kontrollansicht, verallgemeinert werden. Eine höhere geistige Beanspruchung bei der Folding-View

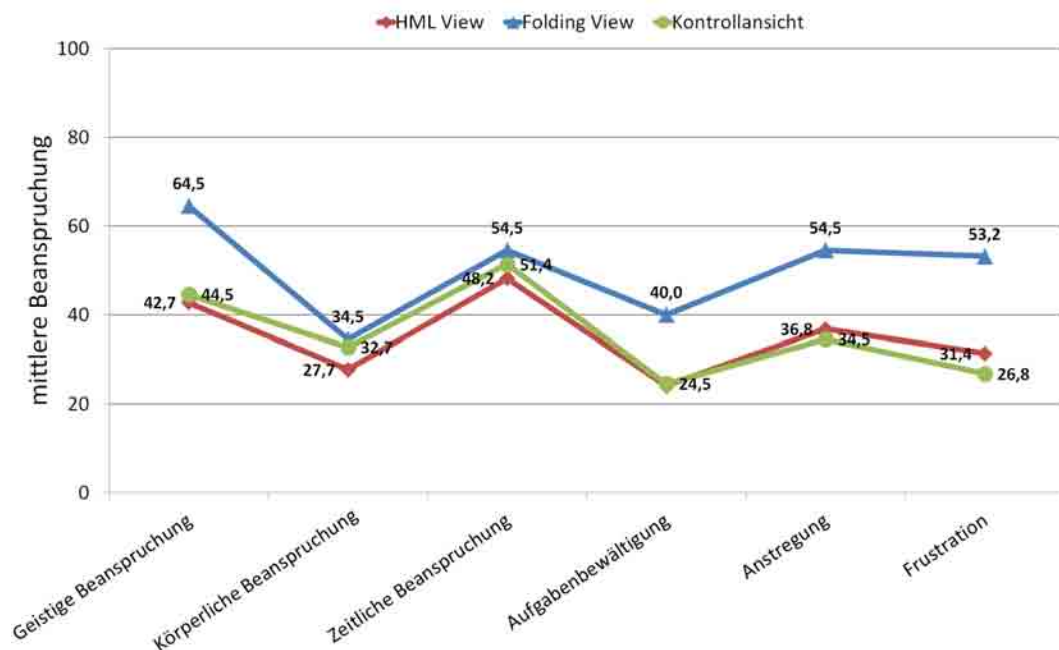


Abb. 6.10: Durchschnittliche Bewertung der Subskalen des NASA-TLX

könnte dabei darauf zurück zu führen sein, dass bei dieser Ansicht eine stärkere Transformation des Informationsraums bei der Navigation durchgeführt wird.

Körperliche Beanspruchung: Die körperliche Beanspruchung wurde über alle Prozessvisualisierungen hinweg mit einem durchschnittlichen Wert von $M = 31.66$ ($SD = 16.82$; Skala von 0 „gering“ bis 100 „hoch“) bewertet. Die körperliche Beanspruchung wurde somit als relativ niedrig empfunden. Dieser Wert ist allerdings vorsichtig zu betrachten, da zwar einige ergonomische Gesichtspunkte wie die Neigung der Manipulationsebene berücksichtigt wurden, die Probanden allerdings während des Testdurchlaufs standen. In Leitzentralen würde die Arbeit jedoch vorwiegend im Sitzen erfolgen, was einen nicht zu vernachlässigenden Effekt auf die gefühlte körperliche Beanspruchung haben könnte. Des Weiteren interagierten die Experten zwar etwa zwei Stunden mit dem System, dies simuliert jedoch keinen kompletten Arbeitstag eines Operators. Der geringste Wert mit $M = 27.73$ ($SD = 12.13$) konnte bei der HML-View gemessen werden (gegenüber $M = 32.72$ ($SD = 18.51$) bei der Kontrollansicht und $M = 34.55$ ($SD = 18.27$) bei der Folding-View). Dies kann darauf hindeuten, dass die Vermeidung eines überflüssigen Blickwechsels durch die Darstellung von Detailinformationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene die körperliche Beanspruchung verringert. Dieser Effekt ist jedoch statistisch nicht signifikant und tritt auch bei der Folding-View nicht auf. Allgemein sind die recht ähnlichen Werte bei der Dimension der körperlichen Beanspruchung damit zu erklären,

dass die Interaktion zwischen den drei Varianten nicht variiert wurde – lediglich die Visualisierung wurde variiert.

Aufgabenbewältigung: Auch bei der Bewertung auf der Dimension der Aufgabenbewältigung war ein Unterschied zwischen der Folding-View ($M = 40$; $SD = 21.74$ Skala von 0 „gut“ bis 100 „schlecht“) und der HML-View ($M = 24.01$; $SD = 15.2$) sowie der Kontrollansicht ($M = 24.55$; $SD = 11.77$) zu erkennen, wobei der Unterschied auch hier statistisch signifikant ist (Kontrollansicht zu Folding-View: $t(11) = 1.75$, $p = .03$; HML-View zu Folding-View: $t(11) = 1.73$, $p = .04$). Auch wenn die Beanspruchung bei der Bedingung der Folding-View höher war als bei den anderen beiden Bedingungen, ist sie dennoch in der unteren Hälfte der Skala angesiedelt. Die anderen beiden Bedingungen wurden sogar im unteren Viertel der Skala eingeordnet, was einer relativ geringen Beanspruchung auf dieser Dimension entspricht. Eine gute Unterstützung bei der Aufgabenerfüllung durch das System war somit nach Ansicht der Experten gegeben.

Anstrengung: Bei der Dimension der Anstrengung zeigte sich dasselbe Bild wie bei den Dimensionen der geistigen Beanspruchung und der Aufgabenbewältigung. Das heißt auch in dieser Dimension wurden die HML-View ($M = 36.82$; $SD = 21.46$ Skala von 0 „gering“ bis 100 „hoch“) und die Kontrollansicht ($M = 34.55$; $SD = 16.16$) besser bewertet als die Folding-View ($M = 54.55$; $SD = 21.89$), wobei es sich auch hier um einen statistisch signifikanten Unterschied handelt (Kontrollansicht zu Folding-View: $t(11) = 1.73$, $p = .02$; HML-View zu Folding-View: $t(11) = 1.72$; $p = .04$). Das heißt mit der Folding-View hatten die Probanden das Gefühl härter arbeiten zu müssen, um ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen als mit den anderen beiden Prozessvisualisierungen. Zwischen der HML-View und der Kontrollansicht war dabei wiederum kein statistisch signifikanter Unterschied zu erkennen.

Frustration: Die Frustration wurde sowohl bei der Kontrollansicht ($M = 26.82$; $SD = 19.57$; Skala von 0 „gering“ bis 100 „hoch“) als auch bei der HML-View ($M = 31.36$; $SD = 22.17$) im unteren Drittel der Skala eingeordnet, was einer relativ geringen Frustration entspricht. Auch in diesem Fall wurde die Folding-View ($M = 53.18$; $SD = 31.35$) deutlich schlechter bewertet. Jedoch wurde auch hier die Frustration noch ungefähr auf der Mitte der Skala eingestuft und weist demnach keinen sehr hohen Wert auf. Die Unterschiede der Kontrollansicht sowie der HML-View zur Folding-View sind hierbei wiederum statistisch signifikant (Kontrollansicht zu Folding-View: $t(11) = 1.73$; $p = .02$; HML-View zu Folding-View: $t(11) = 1.73$; $p = .04$).

In Bezug auf den Overall Workload Score bestätigt sich noch einmal das Bild, dass zwischen der HML-View ($M = 35.15$; $SD = 12.63$; Skala von 0 % keine Beanspruchung bis 100% maximale Beanspruchung) und der Kontrollansicht ($M = 35.76$; $SD = 8.38$) kein signifikanter Unterschied erkennbar ist ($t(11) = 1,74$; $p = 0,45$). Die Beanspruchung durch die HML-View wird dabei als nur geringfügig niedriger eingestuft als bei der Kontrollansicht. Der Overall Workload Score der Folding-View ($M = 50.23$; $SD = 16.54$) zeigt jedoch, dass diese eine wesentlich höhere Beanspruchung mit sich bringt als die beiden anderen Varianten (siehe Abbildung 6.11, rechts). So zeigte die Varianzanalyse, dass sowohl ein signifikanter Unterschied in der Beanspruchung zwischen der Folding-View und der HML-View ($t(11) = 1,73$; $p = .02$) als auch zwischen der Folding-View und der Kontrollansicht ($t(11) = 1,75$; $p = .01$) besteht.

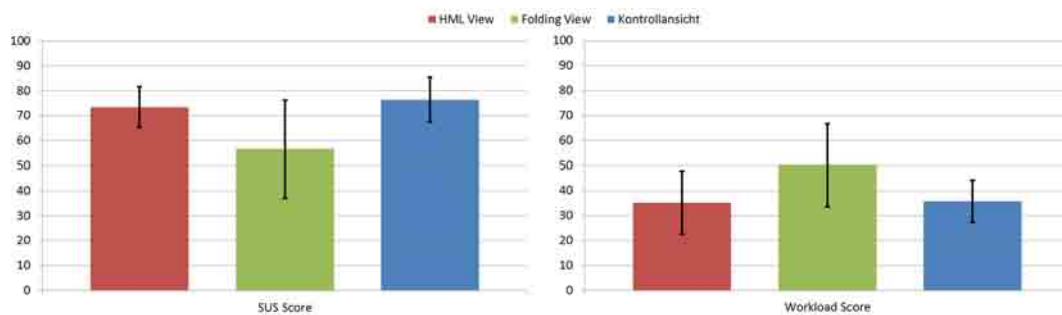


Abb. 6.11: Bewertung der Prozessvisualisierung anhand des SUS (links) und NASA-TLX Fragebogens (rechts)

Um die Verteilung der Beanspruchung durch die Arbeit mit dem System im Allgemeinen zu verdeutlichen, wurden die sechs Dimensionen in Tabelle 6.2 in eine Rangreihe gebracht und zwar von der Dimension mit der höchsten zur Dimension mit der geringsten mittleren Beanspruchungsbewertung. Die Mittelwerte aufgeschlüsselt nach den Prozessvisualisierungen sind aus Abbildung 6.10 zu entnehmen. Wie in Tabelle 6.2 ersichtlich ist, wurde die zeitliche Beanspruchung am höchsten beurteilt. Dies scheint verwunderlich, da während der Bearbeitung der Aufgaben keinerlei Zeitdruck herrschte und eine neue Aufgabe erst nach Abschluss der aktuellen Aufgabe angeboten wurde. Dennoch fühlten sich die Experten einem nicht unerheblichen zeitlichen Druck ausgesetzt. Weit geringer wurden hingegen die Aufgabenbewältigung und die körperlichen Beanspruchung eingeschätzt. Dies weist darauf hin, dass alle Systemvarianten die Experten gut bei der Erfüllung der Aufgaben unterstützt haben und sie dabei durch die Bedienung der Überwachungs- und Diagnoseebene mit Hilfe des SpaceNavigators als auch durch die Multitouch-Interaktion mit der Manipulationsebene eine nur sehr geringe körperliche Belastung empfanden.

Sowohl die spezifisch für dieses Szenario entworfenen Fragebögen als auch der SUS-Fragebogen und der NASA-TLX zeigen dasselbe Bild. Während die Kontrollansicht und die HML-View ähnlich abschneiden, wird die Folding-View von den Experten

Tab. 6.2: Beanspruchung der Experten in den sechs Subdimensionen mit ANOVA-Analyse auf Unterschiede zwischen den Visualisierungen

| Dimensionen | M | SD | HML-View | | HML-View | | Folding-View | |
|---------------------------|-------|-------|-----------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| | | | Folding-View t(11) | p | Kontrollansicht t(11) | p | Kontrollansicht t(11) | p |
| Zeitliche Beanspruchung | 51.36 | 22.71 | 1.72 | .26 | 1.73 | .37 | 1.72 | .38 |
| Geistige Beanspruchung | 50.61 | 24.24 | 1.73 | .03 | 1.72 | .42 | 1.73 | .03 |
| Anstrengung | 41.97 | 21.91 | 1.72 | .04 | 1.73 | .40 | 1.73 | .02 |
| Frustration | 37.12 | 27.41 | 1.73 | .04 | 1.72 | .32 | 1.73 | .02 |
| Körperliche Beanspruchung | 31.67 | 16.81 | 1.74 | .17 | 1.74 | .24 | 1.72 | .41 |
| Aufgabenbewältigung | 29.55 | 18.31 | 1.73 | .04 | 1.73 | .47 | 1.75 | .03 |

schlechter bewertet. Wobei sich hierbei wiederum über alle Fragebögen hinweg eine deutlich erhöhte Standardabweichung in Bezug auf die Folding-View kenntlich macht. Eine Betrachtung des direkten Vergleichs zwischen den drei Konzepten für die Visualisierung des Prozesses auf der Überwachungs- und Diagnoseebene zeigt jedoch ein anderes Bild. Während die HML-View von sieben Experten (63,6 %) als die bevorzugte Prozessvisualisierung genannt wurde, präferierten immer noch vier der insgesamt elf Experten (36,4 %) die Folding-View (siehe Abbildung 6.12). Die Kontrollansicht wurde hingegen von keinem der Experten als das präferierte Visualisierungskonzept genannt. Diese Einschätzung widerspricht zunächst den zuvor genannten Ergebnissen der Auswertung der Fragebögen, lässt sich jedoch durch die deutlich höhere Standardabweichung bei den Ergebnissen der Folding-View erklären. Mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse der Interviews und der teilnehmenden Beobachtung wird ein klareres Bild der Vor- beziehungsweise Nachteile der einzelnen Konzepte aus der Sicht der Experten gegeben.

6.5.2.1 Kontrollansicht

Die Experten stellten bei der Kontrollansicht besonders die gute Übersicht beziehungsweise die sehr aufgeräumte Ansicht heraus. Die Farbcodierung der Straßen wurde dabei ebenfalls positiv erwähnt als ein Mittel, um einen schnellen Überblick

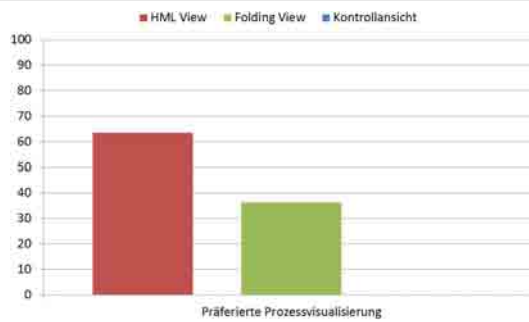


Abb. 6.12: Wahl der präferierten Prozessvisualisierung

über die Verkehrssituation zu gewinnen. Auch die Orientierung auf der Karte wurde zunächst als positive Eigenschaft der Ansicht genannt, jedoch im Laufe der Evaluation etwas revidiert. Die Ursache hierfür lag in der Verteilung der Informationen auf die Überwachungs- und Diagnoseebene und die Manipulationsebene. Während die Überwachung des Informationsraums mit Hilfe der Überwachungs- und Diagnoseebene möglich war, musste für die Diagnose in dieser Visualisierungsvariante der Blick auf die Manipulationsebene gerichtet werden, was einige Nachteile in Bezug auf die Orientierung und die ergonomische Körperhaltung mit sich brachte:

Zitat: "Es fehlt die Info, wo ich mich gerade befinde. Ich habe keine Orientierung."

Zitat: "Der Blickwechsel zwischen den Displays ist sehr störend und anstrengend. Ich habe deshalb nur einmal auf das Wanddisplay geschaut und mich orientiert und die Aufgabe dann mit dem Multitouch-Display gelöst."

Zitat: "Ich muss meinen Kopf beim Arbeiten mit dem Multitouch-Display stark nach unten beugen."

Dieses Problem wurde von allen Experten berichtet, allerdings unterschieden sich die aufgezeigten Lösungsansätze. Während ein Teil der Experten zusätzliche Informationen und Funktionen für die Manipulationsebene forderten, bevorzugte der andere Teil der Experten eine semantische Anreicherung der Überwachungs- und Diagnoseebene. Durch die fehlenden Informationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene waren die Experten gezwungen, die für die Diagnose nötigen Informationen auf der Manipulationsebene zu betrachten und gleichzeitig dem Straßenverlauf zu folgen. Um dabei dennoch die Orientierung nicht zu verlieren, wurde eine Übersichtsdarstellung auch auf der Manipulationsebene gefordert, was den Blickwechsel zwischen den Displays abschwächen würde. Des Weiteren wurde bemängelt, dass die Skalierung der Detailinformationen auf der Manipulationsebene für die Betrachtung zu groß ist, jedoch zum Schalten von Schildern gut gewählt wurde. Als mögliche Lösung

wurde die Integration einer Zooming-Funktion vorgeschlagen. Die meisten Experten forderten jedoch keine Anreicherung der Manipulationsebene, sondern mehr Informationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene. Hierbei wurde vorgeschlagen, die akkumulierte Verkehrssituation auf der Straße detaillierter darzustellen oder auch eine Lupen-Funktion zu integrieren.

6.5.2.2 HML-View

Viele der Experten bewerteten die HML-View vorwiegend sehr positiv, allerdings gab es auch Kritikpunkte. Zunächst wurde die Verzerrung der HML-View nach einer sehr kurzen Eingewöhnung als sehr verständlich empfunden. Außerdem stimmten die meisten Experten darin überein, dass die HML-View trotz der zusätzlichen Detailinformationen eine gute Übersicht bietet und es dabei zu keiner Überdeckung von Informationen kommt.

Zitat: "Sehr gute Visualisierungsmöglichkeit, ich habe so immer noch die ganze Karte im Überblick."

Des Weiteren wurde bemerkt, dass es mit dieser Technik möglich ist, einen sehr großen Überwachungsraum abzudecken.

Zitat: "Das ist sehr gut. Durch die Ansicht kann wirklich ein sehr großer Bereich abgedeckt werden."

Einer der Experten bemerkte jedoch, dass aus seiner Sicht die Übersicht durch die Linsen etwas leidet. Um dem entgegen zu wirken, sollten die HML nur bei Bedarf dargestellt werden. Dieser Wunsch wurde unabhängig von Problemen mit der Übersicht von beinahe allen Experten geäußert.

Zitat: "Beim Verschieben des Fokuspunktes brauche ich die Linse nicht. Ich hätte gerne die Möglichkeit, an eine bestimmte Position zu fahren, und erst dann die Linse zu aktivieren."

Einer der Experten äußerte den Vorschlag, zunächst mehrere Linsen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene zu platzieren, um diese anschließend sequenziell abarbeiten zu können:

Zitat: "Man könnte auch mehrere Linsen auf der Karte setzen und die dann später der Reihe nach abarbeiten."

Allgemein wurde die Darstellung von zusätzlichen Detailinformationen im Fokusbereich der Linsen als sehr hilfreich bewertet, wobei auch der Wunsch nach weiteren Detailinformationen geäußert wurde. Die Experten sahen in der semantischen Anreicherung der Überwachungs- und Diagnoseebene einen großen Vorteil:

Zitat: "Gefällt mir sehr gut. Hier können bei Bedarf wichtige Infos einfach zugeschaltet werden."

Eine wichtige Funktion, welche nach Ansicht der Experten ergänzt werden muss, ist die Möglichkeit der Individualisierung der Informationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene. Nicht jeder Operator benötigt die gleichen Informationen auf der Überwachungs- und Diagnoseebene. Eine HML-View würde es aber im Gegensatz zu der Kontrollansicht ermöglichen, die Darstellung innerhalb der Linse an die jeweiligen Bedürfnisse eines Operators anzupassen. Dies betrifft nicht nur die dargestellten Detailinformationen, sondern auch die Größe der Linse, die Zoomstufe innerhalb der Fokusregion der Linse oder auch, ob aktuell überhaupt eine HML benötigt wird.

Als einer der größten Vorteile der HML-View im Vergleich zur Kontrollansicht wurde der geringere Blickwechsel genannt, um die Aufgaben zu erfüllen. Dies hatte dabei besonders positive Auswirkungen auf die Orientierung und die Navigation. Dadurch, dass die Aufmerksamkeit nur für das Schalten der Schilderbrücken auf die Manipulationsebene wechselte, konnte der Blick während der Überwachung und Diagnose auf die Überwachungs- und Diagnoseebene gerichtet werden.

Zitat: "Ich komme mit der Navigation viel besser zurecht, weil der Blickwechsel wegfällt."

Zitat: "Das Display [Manipulationsebene] habe ich nur zum tatsächlichen Schalten gebraucht."

Zitat: "Ich schaue jetzt schon viel weniger nach unten, da ich mehr Infos in der Linse habe."

Das Verschieben einer HML mit Hilfe des SpaceNavigators wurde von den Experten positiv bewertet. Des Weiteren konnten durch die teilnehmende Beobachtung keine Unterschiede in der Navigation zwischen der Kontrollansicht und der HML-View festgestellt werden. Die Experten bemerkten jedoch, dass die inhaltssensitive Navigation das Verschieben einer HML erheblich erleichtert.

Zitat: "Die Linsen funktionieren gut in Kombination mit dem SpaceNavigator [das heißt der inhaltssensitiven Navigation]."

Kritik wurde geäußert in Bezug auf die Überlagerung der Linsen. Der eingesetzte Algorithmus für die Verzerrung ermöglichte kein „Verschmelzen“ der Linsen, sondern führte beim Aufeinandertreffen zu einer Überlagerung. Hier muss der Algorithmus für die Verzerrung optimiert und das Verschmelzen zweier Linsen ermöglicht werden. Ein Operator bemängelte des Weiteren die Sichtbarkeit von Änderungen in der Prozessdynamik innerhalb der Verzerrung. Diese Änderungen sollten aus diesem Grund stärker herausgestellt werden, wobei eventuell eine einfache Erhöhung des Kontrastes zwischen der Farbcodierung des Straßenverlaufs und der Karte im Hintergrund ausreichen könnte.

6.5.2.3 Folding-View

Die Folding-View wurde teilweise mit gravierenden Unterschieden bewertet. Ein Teil der Operatoren erklärte in den Interviews, dass die Ansicht eine gute Übersicht bietet und dabei auch die Orientierung in der Karte problemlos möglich ist.

Zitat: “Die Orientierung auf der Karte ist kein Problem, die Richtungen bleiben ja erhalten.”

Zitat: “Die nicht verzerrten Bereiche sind für die Orientierung groß genug.”

Die Falten wurden von diesen Experten als sehr hilfreich für die Orientierung eingeschätzt, wobei die klare Sichtbarkeit der Kanten als sehr wichtig beurteilt wurde, was auch ein gutes Verständnis für die Art der Verzerrung schaffte. Des Weiteren wurde die Größe der Fokusregionen als sehr angenehm empfunden, wobei einige Experten die größeren Fokusregionen der Folding-View den kleineren Fokusregionen der HML-View gegenüber bevorzugten.

Zitat: “Man könnte sich zusätzlich, der Platz ist ja durch diese Technologie verfügbar, den genauen Durchfluss des Verkehrs anzeigen lassen. Mit dieser Ansicht ist sicherlich mehr Platz vorhanden als zum Beispiel mit der Linse.”

Ein weiterer Vorteil, welchen die Experten in der Folding-View erkannt haben, war die sehr hoch aufgelöste Fokusregion:

Zitat: “Man hat mehr Informationen auf den ersten Blick, das gefällt mir gut.”

Allerdings wurde die Folding-View von einem Teil der Experten auch sehr kritisch beurteilt. So wurden eine schlechtere Übersicht sowie eine schlechtere Orientierung als Kritikpunkte genannt. Aus diesen Gründen wurde eine separate Übersicht gefordert, welche die absolute Position der Fokuspunkte im Informationsraum nochmals verdeutlicht. Auffallend bei dieser ganz unterschiedlichen Einschätzung der Folding-View durch die Experten war, dass durch die teilnehmende Beobachtung eine unterschiedliche Expertise in Bezug auf das für die Evaluation eingesetzte Straßennetz festgestellt wurde. Experten, welche mit diesem speziellen Straßennetz vertraut waren, das heißt, sie wussten wo sich welche Straße relativ gesehen zu einer anderen Straße befindet, hatten keinerlei Probleme mit der Orientierung, während Experten, welche sich im Berufsalltag mit einem anderen Straßennetz beschäftigen, mehr Probleme bei der Orientierung hatten. Dies wurde auch nochmals durch die Interviews bestätigt.

Zitat: “Ich habe Probleme mit der Orientierung, da ich mich überhaupt nicht auskenne.”

Zitat: "Die Ansicht ist eher was für Ortskundige."

Zitat: "Wenn man das Netz kennt, ist es kein Problem die Stelle zu finden."

Ein anderes Problem, welches jedoch wiederum nur bei einem Teil der Probanden auftrat, war die Irritation durch zu viel Bewegung, das heißt durch die gleichzeitige Bewegung von zwei Fokuspunkten innerhalb der Prozessvisualisierung. Zum einen fiel den Experten hierdurch das Lesen von beispielsweise Städtenamen schwer, zum anderen war es nicht einfach, die Bewegungen auseinander zu halten, das heißt zu entscheiden, ob sich gerade lediglich die Position des Fokuspunktes auf dem Display verändert oder ob sich die Position des Fokuspunktes in Bezug auf die Prozessvisualisierung verschiebt.

Zitat: "Ständig bewegt sich die Karte. Das macht es schwierig, die Infos zu lesen."

Zitat: "Ich kann die Bewegungen nur schwer auseinander halten. Ich weiß nicht, wann sich mein Punkt bewegt und wann der andere Punkt sich bewegt."

Mit Hilfe der teilnehmenden Beobachtung konnte festgestellt werden, dass die Gruppe von Experten, welche diese Probleme nicht berichteten, selten gleichzeitig zwei Fokuspunkte verschoben.

6.5.3 Circles

Die Visualisierung einer Veränderung im Verkehrsaufkommen durch ein Anpassen der Farbcodierung wurde von keinem Experten bei keiner der drei Visualisierungsvarianten wahrgenommen. Hier entsprachen die Beobachtungen den Erwartungen. Der Nutzen von Circles, um solche Veränderungen zu visualisieren, wurde jedoch von den Experten teilweise kritisch betrachtet. Die Experten nahmen zwar eine Veränderung im Verkehrsaufkommen durch einen Circle besser war, jedoch wurden die Veränderungen auch mit Hilfe der Circles nicht direkt entdeckt, sondern erst nach einer gewissen Zeit. Ein Unterschied in Bezug auf das Erkennen der Circles zwischen den drei Visualisierungskonzepten konnte nicht festgestellt werden. Das heißt die Circles waren sowohl auf der Kontrollansicht als auch auf der HML-View und der Folding-View gleich gut zu erkennen. Während die Circles teilweise als sehr nützlich bezeichnet wurden, bemerkten einige Experten, dass die Visualisierung von Veränderungen in der Prozessdynamik ein Blinken beinahe der gesamten Überwachungs- und Diagnoseebene zur Folge hätte. Ein Experte äußerte des Weiteren, dass die Circles auch Auswirkungen auf die Manipulationsebene haben sollten:

Zitat: "Hab mich gearde auf die Detailebene konzentriert, hier müsste man auch den Hinweis zusätzlich platzieren."

Eine nach Ansicht eines Experten alternative Lösung wäre die Darstellung der Veränderung über eine Meldung in der Meldungsliste.

6.5.4 Kamerabilder

Die Experten stimmten überein, dass die Integration der Kamerabilder innerhalb der Überwachungs- und Diagnoseebene große Vorteile bietet, wobei auch die Zuordnung der Kamerabilder zu einem Streckenverlauf positiv herausgestellt wurde. Die Kamerabilder sind dabei nach Meinung der Experten vor allem hilfreich, um einen schnellen Überblick über die Situation zu erlangen.

Zitat: "Meiner Meinung nach bieten die Kamerabilder im Kontext einen großen Mehrwert."

Zitat: "Die Integration ist gerade für eine schnelle Übersicht sehr hilfreich. Man kann so schnell in den Bereich der Störung kommen."

Zitat: "Die Möglichkeit, die Strecke mit den Kameras abzufahren, ist gerade für sehr lange Strecken sinnvoll."

Zitat: "Es ist sehr gut, dass Kamerabilder bei Bedarf hinzu geschaltet werden können."

Auch die Auswertung der Fragebögen bestätigt, dass die Integration der Kamerabilder auf dem „Public Display“ (Wanddisplay) im Kontext der Straßen als sehr hilfreich empfunden wurde ($M = 1.27$; $SD = 0.62$; Skala von -2 "sehr verwirrend" bis 2 "sehr hilfreich"; siehe Abbildung 6.13). Die Experten waren jedoch auch der Meinung, dass Optimierungen in Bezug auf die Kamerabilder nötig sind. Allgemein wurden die Kamerabilder als zu klein empfunden, was den Wunsch nach einer Zoom-Funktion für die Kamerabilder zur Folge hatte.

Zitat: "Die Kamerabilder sind zu klein. ... Die Kamerabilder könnten vielleicht durch eine Interaktion vergrößert werden."

Teilweise wurde auch die Überdeckung der Prozessvisualisierung durch die Kamerabilder bemängelt. Des Weiteren wurden die integrierten Kamerabilder lediglich als Ergänzung zu den Displays gesehen, die dauerhaft ausschließlich die Kamerabilder darstellen.

Zitat: "Die Kamerabilder gefallen mir gut, aber für die dauerhafte Betrachtung brauchen wir trotzdem zusätzliche Monitore."

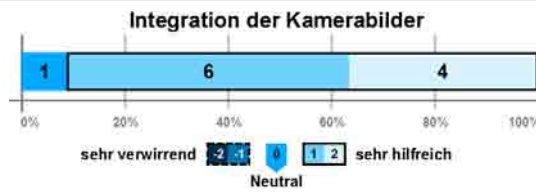


Abb. 6.13: Bewertung der Integration der Kamerabilder innerhalb der Überwachungs- und Diagnoseebene

6.5.5 Meldungen

Obwohl innerhalb des entwickelten Konzeptes kein vollständiges Meldungsmanagement ausgearbeitet wurde, konnten durch die eingesetzte Meldungsliste dennoch einige Erkenntnisse gewonnen werden. Die Arbeit mit Hilfe der Meldungen, welche in den persönlichen Arbeitsbereich des Operator gezogen werden, um diese zu bearbeiten, wurde in Bezug auf eine implizite Kommunikation und Abstimmung sehr positiv bewertet.

Zitat: "Das Abarbeitung der Meldungsliste funktioniert sehr gut, man sieht sofort, was hat man gemacht beziehungsweise was macht der Kollege."

Als zusätzliche Markierung, welcher Operator gerade welche Meldung bearbeitet, sollten die Meldungen jedoch mit einer Farbcodierung entsprechend der Farbe des Fokuspunktes versehen werden.

Die Funktion, um mit Hilfe einer Meldung direkt zur Problemstelle zu springen, wurde als sehr hilfreich angesehen, wobei diese Funktion jedoch teilweise auch zu einer erheblicher Verwirrung sorgte. Das automatische Auslösen der Navigation wurde von den Experten häufig nicht wahrgenommen, was wiederum zu Problemen bei der Orientierung führte. Das heißt, der Fokuspunkt befand sich aus Sicht der Experten plötzlich an einer anderen Stelle innerhalb des Straßennetzes als vermutet. Die Experten forderten entweder ein deutlicheres Feedback, wenn eine automatische Navigation ausgelöst wurde, oder wollten diese in den meisten Fällen aktiv selbst auslösen.

Zitat: "Ich habe überhaupt nicht mitbekommen, dass die Sprung-Funktion zum Problem ausgelöst wurde, hier erwarte ich mir Feedback."

6.5.6 Multitouch

In Bezug auf den Einsatz eines Multitouch-Displays als Manipulationsebene stimmten die Experten überein, dass diese Technik für den Einsatz in Leitwarten sinnvoll genutzt werden kann, wobei hier weiteres Potenzial, wie zum Beispiel der Einsatz von Gesten, gesehen wurde. Während ein Experte die Arbeit über Touch als sehr angenehm

empfand, stellten zwei weitere Experten innerhalb der Interviews den direkteren Charakter der Interaktion heraus:

Zitat: “Die Aktion findet direkt am Straßenschild statt.”

Zitat: “Für mich ist der klare Vorteil gegenüber der Maus, dass die Interaktion direkter ist.”

Dass die Touch-Interaktion im Kontext von Leitwarten für die Experten ein sinnvolles Eingabemedium darstellt, bestätigte auch die Auswertung der Fragebögen ($M = 1.64$; $SD = 0.48$; Skala von -2 “stimme überhaupt nicht zu” bis 2 “stimme völlig zu”). Des Weiteren stimmten die Experten auch größtenteils der Aussage zu, dass ihnen die Manipulation von Prozessvariablen mit Hilfe des Private Space (Multitouch-Display) keinerlei körperliche Anstrengung bereitet ($M = 1.64$; $SD = 0.64$). Abbildung 6.14 zeigt die Verteilung der Antworten der Experten in Bezug auf diese beiden Fragen.

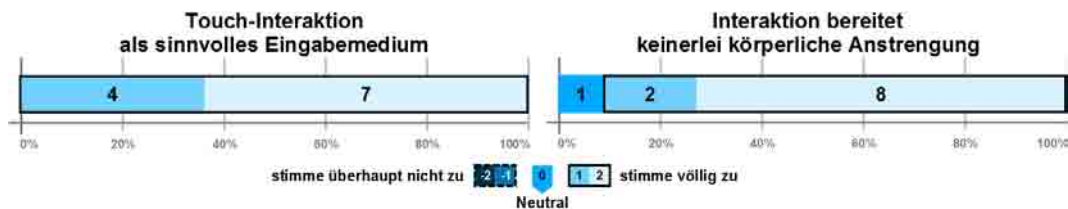


Abb. 6.14: Bewertung der Touch-Interaktion und der körperlichen Beanspruchung

6.6 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass das entwickelte Visualisierungs- und Interaktionskonzept mit seinen Ausprägungen für die Prozessvisualisierung vorwiegend positiv bewertet wurde. Jedoch wurden von den Experten auch einige Kritikpunkte genannt sowie Optimierungspotenziale aufgedeckt. Im Folgenden werden nochmals die Kernaussagen der Expertenbeurteilung aufgegriffen und einige Anregungen der Experten wiedergegeben. Tabelle 6.3 fasst abschließend nochmals alle durch die qualitative Inhaltsanalyse entwickelten Kategorien zusammen.

Navigation: Die Beurteilung der inhaltssensitiven Navigation mit Hilfe des Space-Navigators entspricht größtenteils den Ergebnissen der bereits im Vorfeld mit studentischen Probanden durchgeführten Evaluation [SBMR11]. Im Gegensatz zu den studentischen Probanden ist jedoch mit Hilfe der Experten eine höhere Reliabilität der Ergebnisse gegeben. Ein weiterer Vorteil der Beurteilung durch die Experten ist, dass ein Vergleich zu den aktuell in Leitzentralen eingesetzten Interaktionstechniken durchgeführt werden kann. Die Experten bestätigten dabei einige Vorteile gegenüber der mausbasierten Interaktion mit einem entfernten Display, wobei die Interaktion

mit der Maus aufgrund der großen Probleme in Leitzentralen kaum noch genutzt wird. Im Gegensatz dazu kann die inhaltssensitive Navigation in Kombination mit dem SpaceNavigator als Eingabegerät als klare Optimierung angesehen werden. Durch die geführte Navigation entlang der Straßenverläufe wurde die Navigation aus Sicht der Experten deutlich erleichtert. Die Navigation erfolgte dabei bereits nach einer kurzen Eingewöhnungszeit ohne Schwierigkeiten, wobei zusätzlich eine starke Leistungssteigerung in der Durchführung der Navigation auch über einen längeren Zeitraum hinweg zu beobachten war, was die Experten im Interview nochmals explizit bestätigten.

Zitat: "Es ist jetzt schon ein hoher Trainingseffekt spürbar. Die Navigation macht mir keine Probleme."

Es wird aus diesem Grund vermutet, dass trotz der von den Experten als sehr selbsterklärend und intuitiv bezeichneten Art der Navigation über die Zeit deutliche Effekte in Bezug auf die Navigationsgeschwindigkeit und Präzision zu erwarten sind. Eine Schwachstelle bei der Navigation, welche identifiziert werden konnte, ist die zu langsame Navigationsgeschwindigkeit beim Überbrücken von längeren Distanzen. Einer der Experten empfahl aus diesem Grund eine adaptive Navigationsgeschwindigkeit innerhalb der freien Navigation.

Zitat: "Man könnte die Geschwindigkeit anpassen. Also umso länger man kippt, umso schneller wird die Navigation."

Obwohl die inhaltssensitive Navigation äußerst positiv bewertet wurde, wurde auch die Navigation auf der Manipulationsebene häufig genutzt. Wie zu erwartet war, ergänzten sich dabei die beiden Formen der Navigation. Während die Experten große Distanzen und Strecken entlang von Straßenverläufen mit Hilfe des SpaceNavigators überbrückten, wurde auf der Manipulationsebene lediglich eine Feinjustierung durchgeführt beziehungsweise dem Straßenverlauf gefolgt, falls eine ständige Manipulation von Prozessvariablen erforderlich war. Die Kombination beider Formen der Navigation leistet somit einen erheblichen Beitrag dazu, einen unnötigen Blickwechsel zwischen den beiden Ebenen zu vermeiden. Durch die Synchronisation der Überwachungs- und Diagnoseebene mit der Manipulationsebene kann des Weiteren der Arbeitsablauf der Operatoren besser unterstützt werden, das heißt die erneute Auswahl des Kontextes zur Manipulation von Prozessvariablen entfällt.

Multifoci-Views: In den evaluierten Konzepten für die Visualisierung des Prozesses sahen die Experten großes Potenzial, um die Arbeit in der Versleitzentrale zu unterstützen. Nach Ansicht der Experten kann die stillschweigende Koordination der Operatoren durch den Einsatz einer Multifoci-View auf der Überwachungs- und Diagnoseebene deutlich verbessert werden. Des Weiteren war die Einschätzung der

Experten in Bezug auf die HML-View und die Folding-View beziehungsweise auf das Zusammenspiel von Überwachungs- und Diagnoseebene mit der Manipulationsebene gerade für den hier untersuchten Anwendungsfall sehr positiv. Die Möglichkeit der Darstellung des gesamten Straßennetzes bei gleichzeitiger Betrachtung von Details, wie sie durch die HML-View oder die Folding-View ermöglicht wird, kann dem Problem des Übersichts-Detail-Paradoxons in Leitwarten entgegenwirken. Dabei wird durch die Integration der Detailinformationen in ihren Kontext die mentale Verknüpfung der Informationen erleichtert. Der große Vorteil der HML-View beziehungsweise der Folding-View gegenüber der Kontrollansicht ist der geringere Blickwechsel, der nötig ist, um die Primäraufgaben der Überwachung, Diagnose und Manipulation zu erfüllen. Der häufigere Blickwechsel bei der Kontrollansicht hatte dabei deutliche Auswirkungen auf die Orientierung der Experten. Dies erklärt auch, warum trotz der deutlich schlechteren Beurteilung der Folding-View gegenüber der Kontrollansicht in den Fragebögen und der ähnlichen Bewertungen der HML-View und der Kontrollansicht keiner der Experten die Kontrollansicht als die präferierte Prozessvisualisierung nannte. Ferner kann die Wahl der Folding-View als präferierte Prozessvisualisierung, welche von über 35 % der Experten getroffen wurde, damit erklärt werden, dass ein deutlich unterschiedliches Vorwissen der Experten in Bezug auf den für die Evaluation eingesetzten Überwachungsraum bestand und die Folding-View des Weiteren auf unterschiedliche Weisen genutzt wurde. Experten, die die Folding-View präferierten, bewegten seltener zwei Fokuspunkte gleichzeitig. So war die Transformation des Informationsraums besser zu verstehen als bei vielen gleichzeitigen Bewegungen. Für das untersuchte Einsatzszenario stellt die Folding-View keine optimale Lösung dar. Jedoch wurden von den Experten einige alternative Einsatzmöglichkeiten der Folding-View genannt, diese zielen auf eine statischere Darstellung zur Beobachtung von mehreren neuralgischen Punkten ab.

Zitat: "Ich kann mir auch gut vorstellen, mehrere Fokuspunkte in einen Kontext, wo viel passiert, zu legen. Das wäre eine große Hilfe."

Zitat: "Die dritte Ansicht [Folding-View] kann ich mir gut zum Setzen von Fokuspunkten in Schwerpunktregionen vorstellen. Dann wäre eine durchgängige Betrachtung möglich."

Die HML-View wurde innerhalb der Fragebögen in Bezug auf die Übersichtlichkeit sowie die mentale Beanspruchung ähnlich bewertet wie die Kontrollansicht. Somit führt die Verzerrung, welche innerhalb der HML-View eingesetzt wurde, zu keiner größeren mentalen Belastung, bietet jedoch aus Sicht der Experten einige entscheidende Vorteile, wie der geringere Blickwechsel oder die bessere Orientierung durch die Konzentration auf die Überwachungs- und Diagnoseebene.

Unabhängig von der Variante der Prozessvisualisierung forderten die Experten eine Möglichkeit der Personalisierung der Ansicht. Die HML-View bietet ein großes

Potenzial, um dieser Forderung nach zu kommen. Innerhalb einer HML kann die Ansicht auf die Bedürfnisse eines jeden Operators abgestimmt werden, ohne die Ansicht der anderen Experten bedeutend zu beeinflussen. Neben einer Veränderung der Filterkriterien der Magic Lens Filter könnte dabei auch die Skalierung und Größe einer HML manipuliert werden. Weiter bleibt zu untersuchen wie gut die einzelnen Visualisierungsvarianten skalieren, wenn mehr als zwei Fokuspunkte eingesetzt werden. Wie die Nutzungskontextanalyse im Rahmen des Projektes “Holistic Workspace” zeigte, werden besonders Leitwarten für die Verkehrsüberwachung meist mit zwei Operatoren besetzt. Hier stellt die Nutzung von zwei Fokuspunkten einen realistischen Anwendungsfall dar.

Circles: In Bezug auf die Circles stimmten die Experten darin überein, dass es kaum möglich ist, eine Veränderung in der Prozessdynamik ohne den Einsatz von Circles zu erkennen. Es ist aus diesem Grund unerlässlich, eine Veränderung in der Prozessdynamik zusätzlich für den Operator kenntlich zu machen. Die eingesetzten Circles verbesserten zwar die Möglichkeit, Störungen zu erkennen, haben jedoch noch einige Schwachstellen. So werden auch mit Hilfe dieses Elements Störungen erst nach einer gewissen Zeit erkannt, wobei der Einsatz von zu vielen Circles gleichzeitig zu einer Informationsüberflutung der Operatoren führen könnte. Aus diesen Gründen müssen weitere Konzepte entwickelt werden, um die Operatoren auf Störungen aufmerksam zu machen. Dies kann vom Einsatz besserer Visualisierungen der Circles über die Darstellung von Störungen über Meldungen auf der Manipulationsebene bis hin zum Einsatz von Soundduschen an jedem Arbeitsplatz, welche für jeden Operator spezifisch gefilterte Warnsignale ausgeben, reichen.

Kamerabilder: Die Integration zusätzlicher Detailinformationen wie die Kamerabilder auf der Überwachungs- und Diagnoseebene bietet viele Möglichkeiten, um schnell einen Überblick über den aktuellen Zustand eines Prozesses zu erhalten. Die integrierten Kamerabilder sind dabei jedoch nur als zusätzliche Möglichkeit zu verstehen, um schnell die Situation analysieren zu können. Für eine detaillierte oder dauerhafte Betrachtung einzelner Kamerabilder sollten auch weiterhin separate Displays eingesetzt werden, wobei auch die Selektion eines Kamerabildes auf einem separaten Monitor mit Hilfe der inhaltssensitiven Navigation erfolgen könnte. Das heißt, dass der Operator mit Hilfe der integrierten Kamerabilder die Stelle im Prozess identifiziert, welche für ihn relevant ist, wie zum Beispiel eine Unfallstelle, und sich anschließend das Kamerabild zu dieser Stelle auf einem separaten Display darstellen lässt. Die Darstellung auf einem separaten Display ermöglicht es nun, die Entwicklung der Unfallstelle dauerhaft zu beobachten und mit dem Kamerabild zu interagieren, ohne die Übersicht zu verdecken. Somit könnte der Arbeitsablauf deutlich vereinfacht werden, da kein manuelles sequenzielles Durchschalten der einzelnen Kamerabilder

erforderlich ist.

Meldungsliste: Obwohl die Meldungsliste nur eine sehr begrenzte Funktionalität zur Verfügung stellte, wurde sie von den Experten dennoch sehr positiv bewertet. Besonders die Unterstützung bei der nonverbalen Koordination sowie die Verortung der Meldungen im Prozess wurden dabei hervorgehoben. Durch das Verbinden einer zu bearbeitenden Meldung mit einem der Fokuspunkte wird es den Operatoren erleichtert, die aktuellen Vorgänge in der Leitzentrale zu überblicken, da deutlich wird, welcher Operator gerade an welcher Stelle im Prozess welche Aufgabe erfüllt. Dabei hilft die Nutzung des SpaceNavigators als eine Art Token dabei, die Zuordnung der Fokuspunkte zu einem Operator besser begreifbar zu machen. Zu Beachten ist jedoch, dass die Experten während der Studie gemeinsam auf einem Display arbeiteten. Es bleibt somit zu überprüfen ob die Vorteile der Meldungsliste auch beim Einsatz von separaten Manipulationsebenen zum Tragen kommen. Es wird jedoch vermutet, dass durch eine farbige Zuordnung der einzelnen Meldungen zu Fokuspunkten die beschriebenen Vorteile der Meldungsliste erhalten werden können.

Einer der Experten bemerkte des Weiteren, dass prinzipiell die meisten Meldungen einer Stelle im Prozess zuordenbar sind, diese Informationen jedoch nicht genutzt werden beziehungsweise erst durch eine Analyse zum Beispiel eine E-Mail herausgefiltert werden müssen. Hierfür wurden auch drei Beispiele für einen solchen Workflow geliefert, welcher mit Hilfe des Systems der Meldungen und der automatischen Navigation unterstützt werden kann:

Zitat: “Das [die 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.”

Zitat: “Wir bekommen die Staumeldungen über den Verkehrswahndienst per E-Mail rein und die könnte man auch auslesen, da ist die Ortsangabe hinterlegt. Dann kann man auch automatisch hin springen.”

Zitat: “Die Meldungen [inklusive der Sprung-Funktion zum Problem] könnten auch sehr gut für die Schichtübergabe genutzt werden. Man kann direkt mit dem Kollegen zu den Problemen springen.”

Die eingesetzte Meldungsliste zeigte, dass in diesem Bereich großes Potenzial für Verbesserungen besteht. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf eine im Gegensatz zu heutigen Systemen besseren Unterstützung bei der nonverbalen Koordination zwischen den Operatoren sowie einer besseren Unterstützung der Arbeitsabläufe in Leitzentralen gelegt werden.

Tabelle 6.3 fasst alle mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse entwickelten Kategorien zusammen. Die Kategorien umfassen dabei positive Aspekte (+), Kritikpunkte (-) sowie mögliche Erweiterungen (→), welche von den Experten geäußert wurden.

Tab. 6.3: Resultierende Kategorien der Expertenbeurteilung

| Kriterien | Resultierende Kategorien |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">Inhaltssensitive Navigation auf der Überwachungs- und Diagnoseebene</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Intuitive, einfache und selbsterklärende Navigation mit dem SpaceNavigator + Schnelle Navigation beim Folgen von Straßen + Sprung-Funktion mit SpaceNavigator ist wichtig + Hoher Trainingseffekt bei der Navigation + Gut für entfernte Displays + Vorteile gegenüber der Maus + Verbindung zur Straße sehr hilfreich - Springen ist schwer auszulösen - Navigation beim Überbrücken großer Distanzen zu langsam → Adaptive Navigationsgeschwindigkeit → Fadenkreuz in Navigationselement |
| <p style="text-align: center;">Navigation auf der Manipulationsebene</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Pannen gut für kleine Strecken - Pannen zu langsam → Zoom hinzufügen → Adaptive Pan-Geschwindigkeit oder Physics |

| | |
|--|---|
| <p>Kombination / Synchronisation der Ebenen</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Pannen für lokale Navigation, SpaceNavigator für globale Navigation + SpaceNavigator besser als Pannen + Synchronisation der Ebenen sehr hilfreich + Eindeutig, welcher Fokuspunkt verschoben wird + Eindeutig, welche Informationen auf Private Space + Mentales Verbinden der Informationen einfacher als bei geradliniger Darstellung |
| <p>Nonverbale Kommunikation über die Multifoci-View</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Ermöglicht nonverbale Koordination + Unterstützt Situationsbewusstsein |
| <p>Kontrollansicht</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Gute Übersicht über Straßen + Selbsterklärend – Blickwechsel sehr störend – Schlechte Orientierung wegen Blickwechsel – Zu wenig Details auf Überwachungs- und Diagnoseebene – Zu wenig Informationen auf Manipulationsebene |

| | |
|----------------------------|--|
| <p>HML-View</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Gute Übersicht + Keine Überdeckung + Große Bereiche abdeckbar + Verständlich + Zusätzliche Informationen sehr hilfreich + bessere Orientierung, da geringerer Blickwechsel + HML gut in Kombination mit inhaltssensitiver Navigation – Änderungen in der Verzerrung schwerer zu erkennen → HML personalisieren → HML nur bei Bedarf |
| <p>Folding-View</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Orientierung gut + Falten helfen bei Orientierung + Gute Größe der Fokusregionen + Großes Potenzial – Übersicht geht etwas verloren – Mentales Modell der Karte muss vorhanden sein – Störungen schwerer zu erkennen – Zu viel Bewegung → Separate Übersicht |

| | |
|--|---|
| <p>Arbeiten mit Meldungen / Automatische Navigation</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Implizite Kommunikation über Meldungen + Springen zu Meldungen, schnelle und gute Art der Navigation + Meldungen können Stellen im Prozess zugeordnet werden + Gute Workflow-Unterstützung - Automatischer Sprung irritiert → Springen manuell Auslösen oder mit Feedback → Farbcodierung für Meldungen |
| <p>Wahrnehmung und Nutzen der Circles</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Circles sehr hilfreich - Circles werden nicht direkt wahrgenommen - Zu viel Blinken in der Realität → Alarm zusätzlich über Meldungsliste |
| <p>Integration der Kamerabilder</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Integration ist sinnvoll + Gut für schnellen Überblick - Bilder sind zu klein - Überdeckung stört → Interaktion mit Kamerabilder → Zusätzlich auf separatem Display |
| <p>Multitouch auf Manipulationsebene</p> | <ul style="list-style-type: none"> + Multitouch ist sinnvoll + Direkter als Maus |

Kapitel 7

Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Konzept zur Unterstützung von Operatoren bei der Erfüllung ihrer Primäraufgaben, das heißt bei der Überwachung, der Diagnose und der Manipulation. Das Konzept wurde unter Berücksichtigung der vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction entwickelt. Mit Hilfe der durchgeführten Expertenbeurteilung konnten umfassende Erkenntnisse über das entwickelte Visualisierungs- und Interaktionskonzept mit seinen Ausprägungen für die Prozessvisualisierung gewonnen werden. Diese Erkenntnisse werden im Folgenden in Bezug auf die vier Gestaltungsebenen der Blended Interaction nochmals zusammengefasst. Dabei wird eine detaillierte Betrachtung jeder einzelnen Gestaltungsebene vorgenommen und gleichzeitig weitere Möglichkeiten aufgezeigt, um die entsprechende Ebene im Sinne der Blended Interaction weiter zu optimieren.

Persönliche Interaktion: Die Unterstützung der persönlichen Interaktion wurde innerhalb des Konzeptes unter anderem durch die auf die Aufgaben angepasste Art der Navigation mit Hilfe des SpaceNavigators berücksichtigt. Die Expertenbeurteilung zeigte, dass die Interaktion mit entfernten Displays mit Hilfe des SpaceNavigators der vorherrschenden Interaktionsform mit Maus und Tastatur, überlegen ist. Optimierungspotenziale konnten in Bezug auf die Navigation beim Überbrücken großer Distanzen entdeckt werden. Hier sollte eine Form der adaptiven Navigationsgeschwindigkeit, die zum Beispiel mit dem Kippausschlag des Eingabegeräts korrespondiert, integriert werden. Der SpaceNavigator stößt hier an seine Grenzen. Der Kippausschlag, welcher mit dem SpaceNavigator möglich ist, ist äußerst gering, was eine Steuerung der Navigationsgeschwindigkeit erschweren würde. Das heißt, dass auch das Eingabegerät an die mit ihm zu erfüllenden Aufgaben angepasst werden muss.

Eine weitere Unterstützung bei der persönlichen Interaktion wird durch den Einsatz einer der Multifoci-Views gegeben, wobei die HML-View für den in dieser Arbeit behandelten Anwendungsfall deutlich zu bevorzugen ist. Beide Ansichten, das heißt sowohl die HML-View als auch die Folding-View, haben das Potenzial, den von den Experten als störend empfundenen Blickwechsel zwischen

einem Übersichtsdisplay und einem Display für die Darstellung von Details zu vermeiden und können so dem Problem des Übersichts-Detail-Paradoxons in Leitwarten entgegenwirken. Dabei zeigte sich, dass die Folding-View beim Einsatz in einer sehr dynamischen Umgebung Probleme mit sich bringt, da die Ansicht sehr unruhig wird. Die Expertenbeurteilung zeigte jedoch, dass gerade eine solche Ansicht, welche versucht, die Verzerrung über eine realweltliche Metapher deutlich zu machen, für die statischere Überwachung von mehreren neuralgischen Punkten eingesetzt werden kann. Obwohl die HML-View innerhalb der Expertenbeurteilung gut bewertet wurde, besteht bei dieser Ansicht noch deutliches Optimierungspotenzial in Bezug auf den eingesetzten Algorithmus für die Verzerrung. Carpendale und Montagnese [CM01] stellen hierfür zahlreiche Distanzmetriken vor, welche dabei helfen können die Verzerrung der HML-View zu optimieren. Dabei ist es entscheidend, eine Möglichkeit zu schaffen, dass sich die einzelnen Linsen nicht überlagern, sondern dass diese ineinander fließen. Eine Erweiterung, welche für alle Ansichten unverzichtbar ist, ist die Personalisierung. Hier bietet die HML-View einen weiteren großen Vorteil: Zum Beispiel können die innerhalb einer HML dargestellten Informationen auf jeden Operator individuell angepasst werden.

Die persönliche Interaktion mit der Manipulationsebene über eine Touch-Bedienung wurde von den Experten positiv hervorgehoben. Die Experten sahen ein großes Potenzial im Einsatz dieser Interaktionsform in Leitzentralen. In welchen Bereichen einer Leitzentrale eine Touch-Bedienung sinnvoll eingesetzt werden kann bedarf einer weiteren Untersuchung. In dieser Arbeit wurde lediglich ein möglicher Anwendungsfall aufgezeigt.

Die entwickelten Konzepte für die persönliche Interaktion bilden jedoch nur eine Grundlage auf dem Weg, die Interaktion im Sinne der Multimodal Interaction beziehungsweise der Reality-Based Interaction zu optimieren. So ermöglicht das entwickelte Konzept zum Beispiel die Möglichkeit der Manipulation von Prozessvariablen mit Hilfe eines horizontal orientierten Multitouch-Displays, wobei die Manipulation selbst nur am Rande betrachtet wurde. Die entwickelte Manipulationsebene bietet vielfältige Möglichkeiten die Manipulation von Prozessvariablen an den Prinzipien der Reality Based Interaction auszurichten. Erste Forschungsarbeiten in diesem Bereich werden zum Beispiel von Schwarz et al. [SMBR11] durchgeführt. Innerhalb dieser Arbeiten wird versucht, verlorengegangene Qualitäten früherer Leitzentralen wie zum Beispiel spürbare und wechselnde Widerstände bei der Betätigung mechanischer Hebel oder Handrädern zurück zu gewinnen.

Soziale Interaktion & Kommunikation: Die Gestaltungsebene der sozialen Interaktion & Kommunikation wurde innerhalb des in dieser Arbeit vorgestellten

Konzeptes sowohl durch den Einsatz einer Multifoci-View auf einem öffentlichen Display als auch durch die Meldungsliste adressiert. Aktuell wird durch die von den Operatoren gemeinsam genutzten, statischen Wanddisplays eine implizite Kommunikation nicht oder in nur sehr geringem Umfang unterstützt. Der Einsatz einer der vorgestellten Multifoci-Views ermöglicht in Anlehnung an die in früheren Leitzentralen mögliche Kommunikation über die Position eines Operator im Raum eine bessere nonverbale Koordination. Die Experten bestätigten, dass eine solche Form der Darstellung die Zusammenarbeit zwischen den Operatoren erleichtern und das Situationsbewusstsein verbessern würde. Dieser Aspekt konnte innerhalb der Expertenbeurteilung jedoch nicht im Detail untersucht werden. Inwiefern eine Multifoci-View einen tatsächlichen Effekt auf die Qualität der Zusammenarbeit eines Teams hat ist in einer weiteren Studie zu untersuchen.

Ein weiterer Aspekt des vorgestellten Konzeptes, welcher der Gestaltungsebene der sozialen Interaktion & Kommunikation zugeordnet werden kann, ist die flexible Zuordnung der Fokuspunkte zu den Operatoren. Diese Flexibilität ermöglicht es, sowohl individuell als auch im Team mit der Überwachungs- und Manipulationsebene zu interagieren. Die Nutzung des SpaceNavigator als Token zur Selektion eines Fokuspunktes soll dabei die Wahrnehmung der Zuordnung der Fokuspunkte zu den Operatoren verbessern. Ob dieser Aspekt jedoch einen tatsächlichen Einfluss auf das Erkennen der Zuordnung hat konnte innerhalb der Expertenbeurteilung nicht ermittelt werden.

Ebenfalls einen Einfluss auf die soziale Interaktion & Kommunikation hat die Meldungsliste. Diese ermöglicht es den Operatoren, einen Überblick darüber zu erhalten, wer welche Aufgaben erfüllt hat, was wiederum die Zuteilung von neuen Meldungen deutlich erleichtert. Die Meldungsliste, wie sie in dieser Arbeit entwickelt wurde, deckt jedoch nur einen sehr geringen Teil eines Meldungsmanagements in Leitzentralen ab. Dennoch bewerteten die Experten die Zuteilung der Meldungen zu den Fokuspunkten als sehr hilfreich. Diese Beziehung zwischen Fokuspunkt und Meldung kann jedoch zum Beispiel durch eine farbige Umrandung der Meldung noch deutlicher herausgearbeitet werden.

Reale und computergestützte Abläufe (Geschäftsprozesse): Innerhalb der Gestaltungsebene der computergestützten Abläufe wurde der Fokus auf die Abfolge der Primäraufgaben eines Operators gelegt. Das heißt, dass sowohl die Funktionen für die Überwachung des Prozesses als auch für die Diagnose einer Problemursache sowie für die Manipulation von Prozessvariablen integriert wurden. Die computergestützten Abläufe wurden dabei an den sequenziellen Abläufen der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen nach Rasmussen [Ras84] ausgerichtet. Dabei ermöglicht das Konzept einen fließenden Übergang

zwischen den Aktivitäten bei Kontroll- und Problemlösetätigkeiten.

Neben der Unterstützung der Primäraufgaben finden weitere Arbeitsabläufe durch das Konzept Berücksichtigung, wie zum Beispiel die Schichtübergabe. Durch die Verortung der Meldung innerhalb des Prozesses und der Möglichkeit, zu diesen Positionen zu springen, kann im Rahmen einer Schichtübergabe die Meldungsliste abgearbeitet werden, um dem Personal der neuen Schicht so einen umfassenderen Einblick in die Geschehnisse geben zu können. Eine zusätzlich Unterstützung in Bezug auf die Kombination der realen und computergestützten Abläufe wäre durch die Integration der Digital Pen & Paper Technologie möglich. Diese Technik kann genutzt werden, um der Meldungsliste neue Meldungen hinzuzufügen, welche dann einzelnen Operatoren zugeteilt und von diesen bearbeitet werden können.

In dieser Arbeit wurden nur die Primäraufgaben betrachtet. Um eine Integration der realen und computergestützten Abläufe in Leitzentralen zu erreichen, müssen auch die Sekundäraufgaben der Operatoren, wie zum Beispiel das Anlegen eines Schichtbuchs, berücksichtigt werden.

Gestaltung der physischen Umgebung: Die Gestaltung der physischen Umgebung wurde innerhalb dieser Arbeit an den von den Operatoren zu erfüllenden Aufgaben ausgerichtet. Die eingesetzten Displays wurden abhängig von ihren Stärken ausgewählt, um so eine optimale Unterstützung zu erreichen. Für die nonverbale Kommunikation und die dauerhafte Betrachtung des Prozesses eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften besonders vertikal ausgerichtete Wanddisplays. Im Gegensatz dazu können Multitouch-Displays dabei helfen, die Manipulation von Prozessvariablen zu optimieren. Innerhalb der Expertenbeurteilung bestätigte sich, dass das Beobachten eines Prozesses mit Hilfe eines horizontal ausgerichteten Displays eine unergonomische Körperhaltung zur Folge hat. Daher ist es für die Operatoren besonders wichtig, diese Aufgabe mit Hilfe eines vertikalen Displays ausführen zu können. Als eine Erweiterung des entwickelten Konzeptes wäre es des weiteren Möglich, die horizontale Manipulationsebene durch ein gebogenes Display wie es in Kapitel 3 vorgestellt wurde zu ersetzen. Diese Bauform eines Display würde es ermöglichen die Vorteile sowohl einer horizontalen als auch einer vertikalen Ausrichtung auch innerhalb der Manipulationsebene zu nutzen. Die Überwachungs- und Diagnoseebene fungiert in diesem Fall weiterhin als Unterstützung für die nonverbale Koordination der Operatoren.

Die in dieser Arbeit genutzten zwei Ebenen (Überwachungs- und Diagnoseebene und Manipulationsebene) können jedoch nur einen Teil der in Leitwarten zu findenden Geräte ersetzen. Die genaue Positionierung dieser Ebenen sowie die Kombination mit anderen Geräten innerhalb der physischen Arbeitsumgebung

bedarf einer detaillierteren Untersuchung. Des Weiteren bleibt zu untersuchen, ob das entwickelte Konzept auch während eines gesamten Arbeitstages eine ergonomische Interaktion ermöglicht.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Interaktionskonzept sowie die Visualisierungskonzepte zeigen einige Aspekte auf, die einen wesentlichen Schritt dazu beitragen können, das vorherrschende Interaktionsparadigma in Leitzentralen abzulösen. Die Blended Interaction trägt dazu bei, die Leitzentrale als holistische Arbeitsumgebung zu betrachten und alle Bereiche dieser Umgebung innerhalb der Konzeptentwicklung zu berücksichtigen. Innerhalb dieser Arbeit wurden Konzepte beschrieben, welche prinzipiell domänenübergreifend einsetzbar sind. Für die Durchführung einer Expertenbeurteilung musste ein konkreten Anwendungskontext gewählt werden. Eine Beurteilung der Konzepte im Rahmen von Domänen wie der Energieverteilung oder der Bahnüberwachung können in einem weiteren Schritt durchgeführt werden. Auch in diesen Domänen müssen Informationsräume mit netzwerkartiger Struktur überwacht werden, wobei sich die Primäraufgaben der Operatoren domänenübergreifend decken [SKOR10] und sich die Operatoren mit dem Übersichts-Detail-Paradoxon konfrontiert sehen.

Literaturverzeichnis

- [AHL06] AHLSTRÖM, D. ; HITZ, M. ; LEITNER, G.: An Evaluation of Sticky and Force Enhanced Targets in Multi Target Situations. In: *NordiCHI '06: Nordic Conference on Human-Computer Interaction*. New York, NY, USA : ACM Press, 2006, S. 58–67
- [AM00] ABOWD, G. D. ; MYNATT, E. D.: Charting Past, Present and Future Research in Ubiquitous Computing. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 7 (2000), Nr. 1, S. 29–58
- [Arba] ARBEITSGRUPPE MENSCH-COMPUTER INTERAKTION: *Homepage*.
Url.: <http://hci.uni-konstanz.de/index.php?a=research&lang=en>. – Zugriff: 04.02.2012
- [Arbb] ARBEITSGRUPPE MENSCH-COMPUTER INTERAKTION: *Internetseite des Forschungsprojektes "Holistic Workspace"*.
Url.: <http://hci.uni-konstanz.de/index.php?a=research&b=projects&c=16462808&lang=de>. – Zugriff: 16.04. 2012
- [Arbc] ARBEITSGRUPPE MENSCH-COMPUTER INTERAKTION: *Internetseite des Forschungsprojektes "permaedia - Personal Nomadic Media for the Coming Decade"*.
Url.: <http://hci.uni-konstanz.de/index.php?a=research&b=projects&c=15957171&lang=en>. – Zugriff: 08.01.2012
- [AT92] AUMAYR, G. ; TRITTINGER, D.: Elemente moderner Benutzeroberflächen zur Führung elektrischer Netze. In: *etz* 113 (1992), Nr. 5, S. 289–294
- [Bai83] BAINBRIDGE, L.: Ironies of Automation. In: *Automatica* 19 (1983), Nr. 6, S. 775–779
- [BBE⁺02] BELLOTTI, V. ; BACK, M. ; EDWARDS, W. K. ; GRINTER, R. E. ; HENDERSON, A. ; LOPES, C.: Making Sense of Sensing Systems: Five Questions for Designers and Researchers. In: *CHI '02: SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2002, S. 415–422

- [BG02] BOURGEOIS, F. ; GUIARD, Y.: Multiscale pointing: facilitating pan-zoom coordination. In: *CHI '02: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2002, S. 758–759
- [BGBS02] BAUDISCH, P. ; GOOD, N. ; BELLOTTI, V. ; SCHRAEDLEY, P.: Keeping things in context: a comparative evaluation of focus plus context screens, overviews, and zooming. In: *CHI '02: SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2002, S. 259–266
- [BGS01] BAUDISCH, P. ; GOOD, N. ; STEWART, P.: Focus plus context screens: combining display technology with visualization techniques. In: *UIST '01: ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 2001, S. 31–40
- [BHRD05] BORING, R. L. ; HUGO, J. ; RICHARD, C. M. ; DUDENHOEFFER, D.: The Role of Human-Computer Interaction in Next-Generation Control Rooms. In: *CHI '05: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2005, S. 2033–2034
- [BKLP04] BOWMAN, D. A. ; KRUIJFF, E. ; LAVIOLA, J. J. ; POUPYREV, I.: *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Bd. 1. Boston : Addison-Wesley Professional, 2004
- [BKM09] BANGOR, A. ; KORTUM, P. ; MILLER, J.: Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. In: *Journal of Usability Studies* 4 (2009), Nr. 3, S. 114–123
- [BMBW09] BENKO, H. ; MORRIS, M. R. ; BRUSH, A. J. B. ; WILSON, A. D.: Insights on Interactive Tabletops: A Survey of Researchers and Developers / Microsoft Research, USA. Microsoft Research, 2009. – Forschungsbericht
- [BPV96] BEAUDOIN, L. ; PARENT, M.A. ; VROOMEN, L. C.: Cheops: A Compact Explorer For Complex Hierarchies. In: *VIS '96: InfoVis IEEE Symposium on Information Visualization*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society Press, 1996, S. 87–92
- [BR92] BÖHLE, F. ; ROSE, H.: *Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen*. München : Campus Verlag, 1992
- [Bro96] BROOKE, J.: SUS: A quick and dirty usability scale. In: JORDAN, P. W. (Hrsg.) ; WEERDMEESTER, B. (Hrsg.) ; THOMAS, A. (Hrsg.) ;

-
- MCLELLAND, I. L. (Hrsg.): *Usability evaluation in industry*. London, UK : Taylor and Francis, USA, Singapur, Australia, 1996
- [BSK⁺05] BENFORD, S. ; SCHNADELBACH, H. ; KOLEVA, B. ; ANASTASI, R. ; GREENHALGH, C. ; RODDEN, T. ; GREEN, J. ; GHALI, A. ; PRIDMORE, T. ; GAVER, B. ; BOUCHER, A. ; WALKER, B. ; PENNINGTON, S. ; SCHMIDT, A. ; GELLERSEN, H. ; STEED, A.: Expected, sensed, and desired: A framework for designing sensing-based interaction. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)* 12 (2005), Nr. 1, S. 3–30
- [BSMR12] BUTSCHER, S. ; SCHWARZ, T. ; MUELLER, J. ; REITERER, H.: Monitoring of processes and manipulation of process variables in the context of a multi-user setting in a traffic control room. In: *HFSE '11: Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting (Poster Session)*, 2012
- [BSP⁺93] BIER, E. A. ; STONE, M. C. ; PIER, K. ; BUXTON, W. ; DEROSE, T. D.: Toolglass and magic lenses: The see-through interface. In: *SIGGRAPH '93: ACM Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993, S. 73–80
- [But11] BUTSCHER, S.: *Technischer Bericht zum Master-Projekt: Prototypische Umsetzung und Evaluation eines Systems für die Verkehrsüberwachung*. 2011
- [BVJS10] BÜTZLER, J. ; VETTER, S. ; JOCHEMS, N. ; SCHLICK, C. M.: Ergonomische Bewertung von Körperhaltung, Greifräumen und Komfort bei der Arbeit mit großflächigen berührungssensitiven Bildschirmen. In: *Dokumentation des 56. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses in Darmstadt 2010: Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten*. Dortmund : GfA-Press, 2010, S. 823–826
- [Cam] CAMRATH, J.: *Kameras sehen fast alles*. Url.: <http://www.hna.de/nachrichten/stadt-kassel/kassel/kameras-sehen-fast-alles-858133.html>. – Zugriff: 12.03. 2012
- [CCD97] CARPENDALE, M. S. T. ; COWPERTHWAIT, D. J. ; D., Fracchia F.: Making distortions comprehensible. In: *VL '97: IEEE Symposium on Visual Languages*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1997, S. 36–45
- [Cha94] CHARWAT, H. J.: *Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation*. Bd. 2. München : Oldenbourg Verlag, 1994

- [Cha98] CHARWAT, H. J.: Richtlinien zu Benutzungsoberflächen, VDI/VDE 3699: "Prozessführung mit Bildschirmen". In: *GMA-Kongreß '98 Mess- und Automatisierungstechnik - Neue Entwicklungen, Technologien, Anwendungen, VDI-Berichte 1397*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1998, S. 783–793
- [CKB08] COCKBURN, A. ; KARLSON, A. ; BEDERSON, B. B.: A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces. In: *ACM Computing Surveys* 41 (2008), Nr. 1, S. 1–31
- [CM01] CARPENDALE, M. S. T. ; MONTAGNESE, C.: A Framework for Unifying Presentation Space. In: *UIST '01: ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 2001, S. 61–70
- [Deu] DEUTSCHE VERKEHRS-ZEITUNG (DVZ): *Freie Fahrt auf dem Seitenstreifen*. Url: <http://www.dvz.de/news/transport/artikel/id/freie-fahrt-auf-dem-seitenstreifen.html>. – Zugriff: 10.04. 2012
- [Dou01] DOURISH, P.: *Where The Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*. Cambridge, MA : MIT Press, 2001
- [EHRF08] ELMQVIST, N. ; HENRY, N. ; RICHE, Y. ; FEKETE, J. D.: Melange: space folding for multi-focus interaction. In: *CHI '08: SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2008, S. 1333–1342
- [EMJ+11] ELMQVIST, N. ; MOERE, A. V. ; JETTER, H.-C. ; CERNEA, D. ; REITERER, H. ; JANKUN-KELLY, T. J.: Fluid Interaction for Information Visualization. In: *Information Visualization* 10 (2011), Nr. 4, S. 327–340. – Published online 22. August 2011
- [ERRF10] ELMQVIST, N. ; RICHE, Y. ; RICHE, N. H. ; FEKETE, J. D.: Mélange: Space Folding for Visual Exploration. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 16 (2010), S. 468–483
- [FB95] FURNAS, G. W. ; BEDERSON, B. B.: Space-Scale diagrams: Understanding multiscale interfaces. In: *CHI '95: SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1995, S. 234–241
- [FIB95] FITZMAURICE, G. W. ; ISHII, H. ; BUXTON, W. A. S.: Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In: *CHI '95: SIGCHI*

-
- Conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1995, S. 442–449
- [Fla90] FLACH, J. M.: The Ecology of Human-Machine Systems I: Introduction. In: *Ecological Psychology* 2 (1990), Nr. 3, S. 191–205
- [Fli07] FLICK, U.: *Qualitative Sozialforschung: Eine Einführung*. Reinbek : Rowohlt, 2007
- [Fur86] FURNAS, G. W.: Generalized fisheye views. In: *CHI '86: ACM Conference on Human Factors in Computer Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1986, S. 16–23
- [Gei96] GEITZ, B.: Einsatz von Großbild-Rückprojektionssystemen in Leitwarten. In: *Leitwarten. 3. internationaler Workshop: Einsatz neuer Informations- und Leitsysteme in Verkehr, Prozessführung, Fertigung*. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1996, S. 209–212
- [Gra66] *Kapitel Bewußtsein und Bewußtheit. Probleme und Befunde der psychologischen Bewußtseinsforschung*. In: GRAUMANN, C. F.: *Allgemeine Psychologie. I. Der Aufbau des Erkennens. 1. Halbband: Wahrnehmung und Bewußtsein*. Hogrefe, Göttingen, 1966, S. 79–127
- [Gra98a] GRAMS, T.: Bedienfehler und ihre Ursachen (Teil 1). In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP* 40 (1998), Nr. 3, S. 53–56
- [Gra98b] GRAMS, T.: Bedienfehler und ihre Ursachen (Teil 2). In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP* 40 (1998), Nr. 4, S. 55–60
- [Gri] GRIMMER, K.: *Lebensader und Stromherz*. Url.: <http://www.pnn.de/potsdam/212931/>. – Zugriff: 06.01. 2012
- [GS03] GUTWIN, C. ; SKOPIK, A.: Fisheye Views are Good for Large Steering Tasks. In: *CHI '03: ACM Conference on Human Factors in Computer Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2003, S. 201–208
- [Har06] HART, S. G.: NASA-TASK LOAD INDEX (NASA-TLX); 20 YEARS LATER. In: *HFSE '06: Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2006, S. 904–908
- [Hau00] HAUSER, A.: *Integrale Netzzustandsanzeige zur Unterstützung der Betriebsführung elektrischer Energieversorgungssysteme*, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Bergischen Universität - Gesamthochschule Wuppertal, Diss., 2000

- [Hel05] HELFFERICH, C.: *Qualität qualitativer Daten. Ein Schulungsmanual zur Durchführung qualitativer Einzelinterviews*. Bd. 2. Wiesbaden : VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2005
- [Her96] HERZING, R: Entwicklung der Leitwartengestaltung in der chemischen Industrie. In: G. BECKER, W. P. (Hrsg.): *Leitwarten. 3. internationaler Workshop: Einsatz neuer Informations- und Leitsysteme in Verkehr, Prozessführung, Fertigung*. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1996, S. 201–208
- [Her08] HERCZEG, M: Vom Werkzeug zum Medium: Mensch-Maschine-Paradigmen in der Prozessführung. In: GRANDT, M. (Hrsg.) ; BAUCH, A. (Hrsg.): *Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt. 1-11. DGLR-Bericht 2008-04/01*, 2008
- [Hes] HESSEN MOBIL STRASSEN- UND VERKEHRSMANAGEMENT: *Homepage*. Url.: <http://www.staufreieshessen2015.hessen.de/>. – Zugriff: 08.01.2012
- [Heu98] HEUSSER, E.: Mensch-Prozess-Kommunikation am Beispiel des Steamcrackers der BASF Antwerpen. In: *Tagungsband VDE-Kongreß '98, GMA-Fachtagung*. Berlin : VDE-Verlag, 1998, S. 119–127
- [HF01] HORNBAEK, K. ; FRØKJÆR, E.: Reading of Electronic Documents: The Usability of Linear, Fisheye, and Overview+Detail Interfaces. In: *CHI '01: ACM Conference on Human Factors in Computer Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2001, S. 293–300
- [HIB⁺92] HILL, S. G. ; IAVECCHIA, H. P. ; BITTNER, J. ; C., Alvah ; BYERS, J C. ; ZAKLAD, A L. ; CHRIST, R. E.: Comparison of four subjective workload rating scales. In: *Human Factors - Special issue: measurement in human factors* 34 (1992), Nr. 4, S. 429–439
- [HKB11] HAGEMANN, V. ; KLUGE, A. ; BADUR, B.: The impact of a large-screen projection of the entire technical process on shared mental model congruency and team performance in a furnace control room. In: *HFSE '11: Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting (Poster Session)*, 2011
- [HS88] *Kapitel Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research*. In: HART, S. ; STAVELAND, L.: *Human mental workload*. Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam, 1988, S. 139–183

-
- [HW05] HOLLNAGEL, E. ; WOODS, D. D.: *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*. Boca Raton, FL : CRC Press, 2005
- [IF06] ISHAK, E. W. ; FEINER, S. K.: Content-aware scrolling. In: *UIST '06: ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 2006, S. 155–158
- [IGY06] IRANI, P. ; GUTWIN, C. ; YANG, X. D.: Improving Selection of Off-Screen Targets with Hopping. In: *CHI '06: ACM Conference on Human Factors in Computer Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2006, S. 299–308
- [IH00] IGARASHI, T. ; HINCKLEY, K.: Speed-dependent automatic zooming for browsing large documents. In: *UIST '00: ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 2000, S. 139–148
- [Ing98] INGENDAHL, N.: Mensch-Prozess-Kommunikation am Beispiel eines bergbaulichen Gewinnungsprozesses. In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP 40* (1998), Nr. 4, S. 46–54
- [Ish08] ISHII, H.: The tangible user interface and its evolution. In: *Communications of the ACM* 51 (2008), Nr. 6
- [IU97] ISHII, H. ; ULLMER, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In: *CHI '07: SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1997, S. 234–241
- [JGH⁺08] JACOB, R. J. ; GIROUARD, A. ; HIRSHFIELD, L. M. ; HORN, M. S. ; SHAER, O. ; SOLOVEY, E. T. ; ZIGELBAUM, J.: Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In: *CHI '08: SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2008, S. 201–210
- [JGSR12] JETTER, H.-C. ; GEYER, F. ; SCHWARZ, T. ; REITERER, H.: Blended Interaction - Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In: *AVI '12: Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2012
- [JLG⁺12] JETTER, H.-C. ; LEIFERT, S. ; GERKEN, J. ; SCHUBERT, S. ; REITERER, H.: Does (Multi-)Touch Aid Users' Spatial Memory and Navigation in 'Panning' and in 'Zooming & Panning' UIs? In: *AVI '12: Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2012

- [Joh86] JOHNSON, D.: Einsatz von Farbbildschirmen in der Informations- und Datenverarbeitung unter Berücksichtigung farbphysiologischer Parameter. In: *Biomedizinische Technik* 31 (1986), Nr. 5, S. 108–111
- [Joh93] JOHANNSEN, G.: *Mensch-Maschine-Systeme*. Heidelberg : Springer Lehrbuch, 1993
- [KASE97] KURLE, H. P. ; ARNOLD, M. ; SELLMAYER, G. ; EINWANGER, E.: Trainingssimulator zur Ausbildung von Chemiekanten und Anlagenfahrern. In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP* 36 (1997), S. 50–56
- [Kün02] KÜNZLER, C.: *Kompetenzförderliche Sicherheitskultur, Ganzheitliche Gestaltung risikoreicher Arbeitssysteme Mensch, Technik, Organisation. Band 36*. Zürich : vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2002
- [KSO02] KLUMP, R. ; SCHOOLEY, D. ; OVERBYE, T.: An advanced visualization platform for real-time power system operations. In: *PSCC 2002: Power Systems Computation Conference, 2002*
- [Kuh70] KUHN, T. S.: *The Structure of Scientific Revolutions*. 2. Chicago, IL : University of Chicago Press, 1970
- [Kur08] KURZ, H.: Alarme und die Herausforderungen ihrer Integration in die Mensch-Prozess-Schnittstelle. In: *Useware 2008. Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte (VDI-Berichte 2041)*. Düsseldorf : VDI Verlag, 2008
- [LA94] LEUNG, Y. ; APPERLEY, M.: A Review and Taxonomy of Distortion-Oriented Presentation Techniques. In: *TOCHI '94: ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. New York, NY, USA : ACM Press, 1994, S. 126–160
- [Lan94] LANGE, R.: Einsatz von Standards in der Prozeßvisualisierung. In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP* 36 (1994), Nr. 3, S. 20–27
- [May00] MAYRING, P.: Qualitative content analysis. In: *Forum Qualitative Sozialforschung (Online Journal)* 1 (2000), Nr. 2
- [May10] MAYRING, P.: *Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken*. Bd. 11. Weinheim : Beltz Verlag, 2010
- [MB07] *Kapitel Qualitative Inhaltsanalyse*. In: MAYRING, P. ; BRUNNER, E.: *Qualitative Marktforschung, Konzepte - Methoden - Analysen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2007, S. 669–680

- [MBM07] MORRIS, M. R. ; BRUSH, A. J. B. ; MEYERS, B. R.: Reading Revisited: Evaluating the Usability of Digital Display Surfaces for Active Reading Tasks. In: *Tabletop '07: IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2007, S. 79–86
- [MBM08] MORRIS, M. R. ; BRUSH, A. J. B. ; MEYERS, B. R.: A field study of knowledge workers' use of interactive horizontal displays. In: *Tabletops '08: IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2008, S. 105–112
- [McC04] MCCULLOUGH, M.: *Digital Ground: Architecture, Pervasive Computing, and Environmental Knowing*. Cambridge, MA : MIT Press, 2004
- [MCH⁺09] MOSCOVICH, T. ; CHEVALIER, F. ; HENRY, N. ; PIETRIGA, E. ; FEKETE, J. D.: Topology-Aware Navigation in Large Net-works. In: *CHI '09: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2009, S. 939–949
- [MFW10] MORRIS, M. R. ; FISHER, D. ; WIGDOR, D.: Search on surfaces: Exploring the potential of interactive tabletops for collaborative search tasks. In: *Information Processing & Management* 46 (2010), Nr. 6, S. 703–717
- [MLS98] MÜLLER, D. ; LINDEN, F.-W. ; STELZNER, P.: Möglichkeiten zur Nutzung einer Großbildprojektion in Leitstellen der Verbundebene. In: *Elektrizitätswirtschaft* 97 (1998), Nr. 6, S. 48–51
- [MN91] *Kapitel* ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur Methodendiskussion. In: MEUSER, M. ; NAGEL, U.: *Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1991, S. 441–471
- [Ovi08] *Kapitel* Multimodal Interfaces. In: OVIATT, S.: *The Human-Computer Interaction Handbook (2nd Edition)*. New York : Lawrence Erlbaum Associates, New York, NY, 2008, S. 413–432
- [PF93] PERLIN, K. ; FOX, D.: An Alternative Approach to the Computer Interface. In: *SIGGRAPH '93: Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993, S. 57–64

- [Pfe90] PFENDLER, C.: Zur Messung der mentalen Beanspruchung mit dem NASA-Task Load Index. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 44 (1990), S. 158–163
- [RAG94] RASMUSSEN, J. ; ANNELISE, P. ; GOODSTEIN, L. P.: *Cognitive Systems Engineering. Wiley Series in Systems Engineering*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 1994
- [Rai84] RAICHLE, P.: Erfahrungen mit unterschiedlich gestalteten Leitwarten in kontinuierlich arbeitenden Prozessanlagen. In: *Kolloquium Leitwarten*. Köln : TÜV Rheinland e.V., 1984, S. 595–601
- [Ras84] *Kapitel* Strategies for state identification and diagnosis in supervisory control tasks, and design of computer-based support systems. In: RASMUSSEN, J.: *Advances in Man-Machine Systems Research, Volume 1*. JAI Press, Greenwich, 1984, S. 139–193
- [Ras86] RASMUSSEN, J. ; SAGE, A. (Hrsg.): *Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. New York : Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1986
- [RCM93] ROBERTSON, G. G. ; CARD, S. K. ; MACKINLAY, J. D.: Information visualization using 3d interactive animation. In: *Communications of the ACM - Special issue on graphical user interfaces* 36 (1993), Nr. 4, S. 56–71
- [Rob07] ROBERTS, J.: State of the Art: Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization. In: *CMV '07: International Conference on Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2007, S. 61–71
- [ROC97] RENSINK, R. A. ; O'REGAN, K. J. ; CLARK, J. J.: To see or not to see: the need for attention to perceive changes in scenes. In: *Psychological Science* 8 (1997), Nr. 5, S. 368–373
- [RWLN97] REINIG, G. ; WINTER, P. ; LINGE, V. ; NÄGLER, K.: Trainingssimulatoren: Engineering und Einsatz. In: *Chemie Ingenieur Technik* 69 (1997), S. 1759–1764
- [SB92] SARKAR, M. ; BROWN, M. H.: Graphical Fisheye Views of Graphs. In: *CHI '92: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1992, S. 83–91

- [SBMR11] SCHWARZ, T. ; BUTSCHER, S. ; MUELLER, J. ; REITERER, H.: Inhalts-sensitive Navigation in der Verkehrsleitzentrale. In: EIBL, Maximilian (Hrsg.): *Mensch und Computer*. München : Oldenbourg, 2011, S. 49–58
- [SGH98] STREITZ, N. A. ; GEISSLER, J. ; HOLMER, T.: Roomware for Cooperative Buildings: Integrated Design of Architectural Spaces and Information Spaces. In: *International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organization, and Architecture*. Wiesbaden : Springer-Verlag, 1998, S. 4–21
- [SHB⁺11] SCHWARZ, T. ; HEILIG, M. ; BUTSCHER, S. ; MUELLER, J. ; REITERER, H.: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-)ein Platz für Innovationen? In: *Automation*. Düsseldorf : VDI Verlag, 2011
- [She87] SHERIDAN, T. B.: Supervisory Control. In: SALVENDY, G. (Hrsg.): *Handbook of Human Factors*. New York : Wiley, 1987
- [SHLR12] SCHWARZ, T. ; HENNECKE, F. ; LAUBER, F. ; REITERER, H.: Perspective+Detail - a visualization technique for vertically curved displays. In: *AVI 2012: Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2012
- [SIE08] SIEMENS AG: *Pressebild. Referenznummer: sots200801-08*. 2008
- [SINH98] SCHUMACHER, W. ; INGENDAHL, N. ; NIRSCHL, G. ; HEIM, M.: Gestaltung von Prozess-Bedienoberflächen, Mitwirkung der Bediener. In: *Tagungsband VDE-Kongreß '98, GMA-Fachtagung*. Berlin : VDE-Verlag, 1998, S. 43–54
- [SKOR10] SCHWARZ, T. ; KEHR, F. ; OORTMANN, H. ; REITERER, H.: Die Leitwarte von heute verstehen - die Leitwarte von morgen gestalten! In: *Mensch und Computer*. München : Oldenbourg, 2010, S. 93–102
- [SMBR11] SCHWARZ, T. ; MUELLER, J. ; BUTSCHER, S. ; REITERER, H.: Reality-Based Interaction for Control Rooms. In: *HFSE '11: Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting (Poster Session)*, 2011
- [SOR11] SCHWARZ, T. ; OORTMANN, H. ; REITERER, H.: Holistic Workspace - den Leitstand der Zukunft gestalten! In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP Edition* (2011)
- [Spe07] SPENCE, R.: *Information Visualization: Design for Interaction*. 2. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2007

- [SPT85] SACHS, P. ; PATERSON, A. M. ; TURNER, M. H. M.: ESCORT - an expert system for complex operations in real time. In: *Expert Systems* 3 (1985), Nr. 1, S. 22–28
- [SSR⁺04] STANNY, K. ; SAMMAN, S. ; REEVES, L. ; HALE, K. ; BUFF, W. ; BOWERS, C. ; GOLDIEZ, B. ; NICHOLSON, D. ; LACKEY, S.: A Paradigm Shift in Interactive Computing: Deriving Multimodal Design Principles from Behavioural and Neurological Foundations. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 17 (2004), Nr. 2, S. 229–257
- [SSTR93] SARKAR, M. ; SNIBBE, S. S. ; TVERSKY, O. J. ; REISS, S. P.: Stretching the Rubber Sheet: A Metaphor for Viewing Large Layouts on Small Screens. In: *UIST '93: ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993, S. 81–91
- [Str] STRASSENVERKEHRSZENTRALE BADEN- WÜRTTEMBERG: *Straßenverkehrszentrale Baden- Württemberg*. Url: <http://www.svz-bw.de/startseite.html?&L=0>. – Zugriff: 08.03.2012
- [TA08] TULLIS, T. ; ALBERT, W.: *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics (Interactive Technologies)*. 1. Waltham, MA : Morgan Kaufmann, 2008
- [TS04] TURETKEN, O. ; SHARDA, R.: Development of a Fisheye Based Search Processing Aid (FISPA) for Managing Overload in the Web Environment. In: *Decision Support Systems* 37 (2004), Nr. 3, S. 415–434
- [UI00] ULLMER, B. ; ISHII, H.: Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. In: *IBM Systems Journal* 39 (2000), Nr. 3-4, S. 915–931
- [URSW⁺88] UNEMA, P. ; RÖTTING, M. ; SEPPER-WILLEBERG, M. ; STRÜMPFEL, U. ; KOPP, U.: Der NASA Task Load Index: Erste Ergebnisse mit der deutschen Fassung. In: ARBEITSWISSENSCHAFT E.V., Gesellschaft für (Hrsg.): *Jahresdokumentation 1988 der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. - Bericht zum 34. Arbeitswissenschaftlichen Kongress an der RWTH Aachen*. Köln : O. Schmidt, 1988
- [VDI98] VDI FACHBEREICH ENGINEERING UND BETRIEB AUTOMATISIERTER ANLAGEN ; AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, VDI (Verein Deutscher Ingenieure) / VDE-Gesellschaft M. (Hrsg.): *Vorgestaltete Darstellung zur Prozessführung über Bildschirm in verfahrenstechnischen Anlagen - Richtlinie 3695*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1998

-
- [VDI99] VDI FACHBEREICH ENGINEERING UND BETRIEB AUTOMATISIERTER ANLAGEN ; AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, VDI (Verein Deutscher Ingenieure) / VDE-Gesellschaft M. (Hrsg.): *Prozeßführung mit Bildschirmen - Fließbilder - Richtlinie 3699*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1999
- [VSBS94] VAN SOMEREN, M. W. ; BARNARD, Y. F. ; SANDBERG, J.: *The think aloud method*. Waltham, MA : Academic Press, 1994
- [VV96] VERWEY, W. B. ; VELTMAN, H. A.: Detecting short periods of elevated workload. A comparison of nine workload assessment techniques. In: *Journal of Experimental Psychology* 2 (1996), Nr. 3, S. 270–285
- [Wei91] WEISER, M.: The Computer for the Twenty-First Century. In: *Scientific American* 265 (1991), Nr. 3, S. 94–100
- [Wei93] WEISER, M.: Some computer science issues in ubiquitous computing. In: *Communications of the ACM* 36 (1993), Nr. 7, S. 75–84
- [Wei95] WEISER, M.: The computer for the 21st century. In: *Human-computer interaction: toward the year 2000* (1995), S. 933–940
- [WH00] WICKENS, C. D. ; HOLLANDS, J. G.: *Engineering Psychology and Human Performance*. Bd. 3. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2000
- [WHS⁺10] WIMMER, R. ; HENNECKE, F. ; SCHULZ, F. ; BORING, S. ; BUTZ, A. ; HUSSMANN, H.: Curve: revisiting the digital desk. In: *NordiCHI 2'10: Conference on Human-Computer Interaction*. New York, NY, USA : ACM Press, 2010, S. 561–570
- [Wit00] WITTENBERG, C.: *Virtuelle Prozessvisualisierung am Beispiel eines verfahrenstechnischen Prozesses*, Universität Gesamthochschule Kassel, Diss., 2000
- [WL95] WARE, C. ; LEWIS, M.: The DragMag image magnifier. In: *CHI '95: ACM Conference on Human Factors in Computer Systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1995, S. 407–408
- [WMG93] WELLNER, P. ; MACKAY, W. ; GOLD, R.: Back to the Real World. In: *Communications of the ACM* 36 (1993), Nr. 7, S. 24–26
- [WVSB10] WEISS, M. ; VOELKER, S. ; SUTTER, C. ; BORCHERS, J.: BendDesk: dragging across the curve. In: *ITS '10: ACM Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2010, S. 1–10

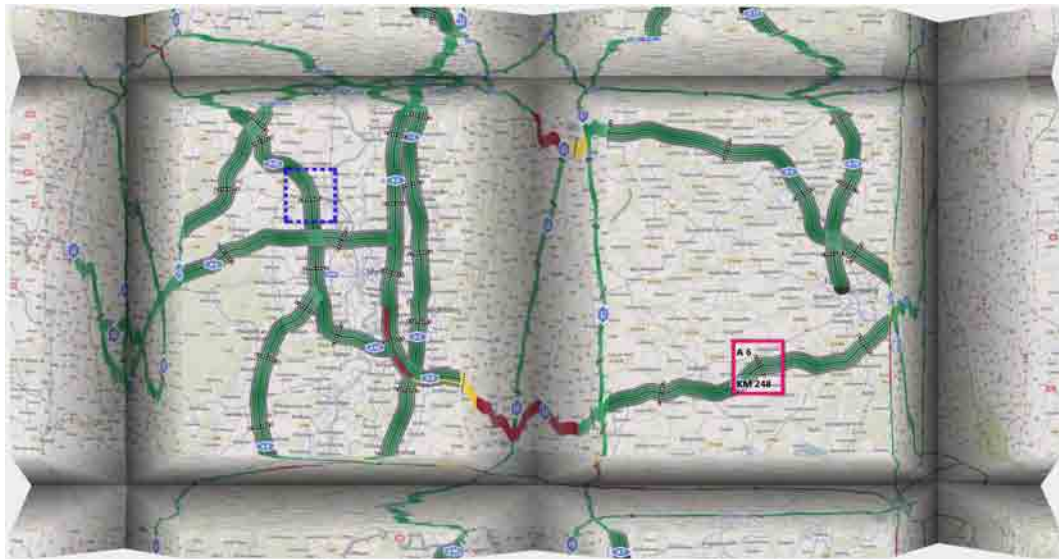
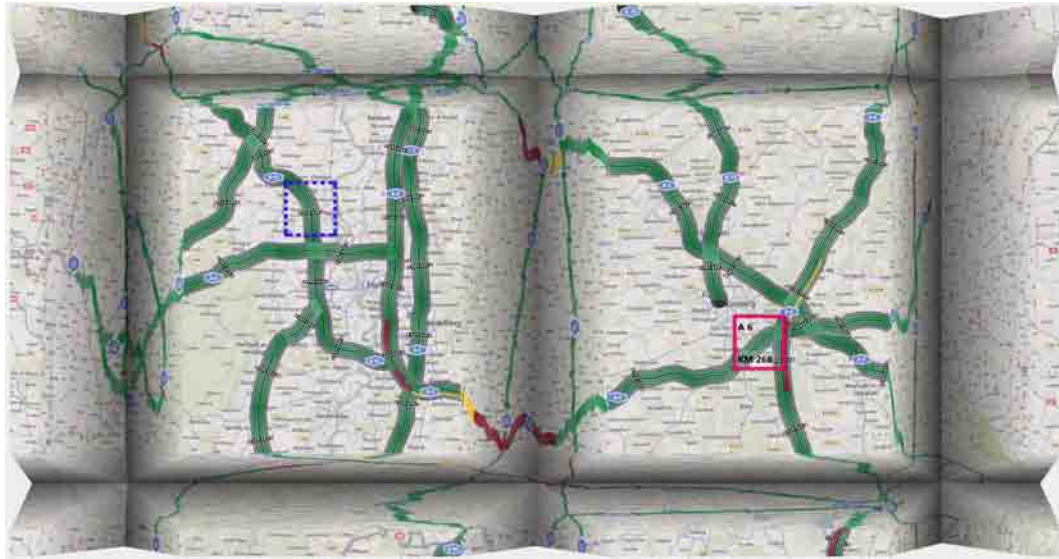
- [Zin95a] ZINSER, K.: Fisheye Views - gezielte Informationsdarstellung zur Beherrschung komplexer Systeme. In: *ABB Technik* 3 (1995), S. 10–15
- [Zin95b] ZINSER, K.: Fisheye Views - Interaktive, dynamische Visualisierungen. In: *Automatisierungstechnische Praxis ATP* 37 (1995), Nr. 9, S. 42–50
- [ZMD93] ZHAI, S. ; MILGRAM, P. ; DRASCIC, D.: An Evaluation of four 6 degree-of-freedom input techniques. In: *INTERCHI '93: ACM Conference on Human Factors in Computing*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993, S. 155–161
- [ZZ04] ZIEGLER, D. ; ZÜHLKE, D.: Applications of Humanoid Avatars in Industrial Environments. In: *IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium Analysis*. New York, NY : IEEE Press, 2004, S. 1–6

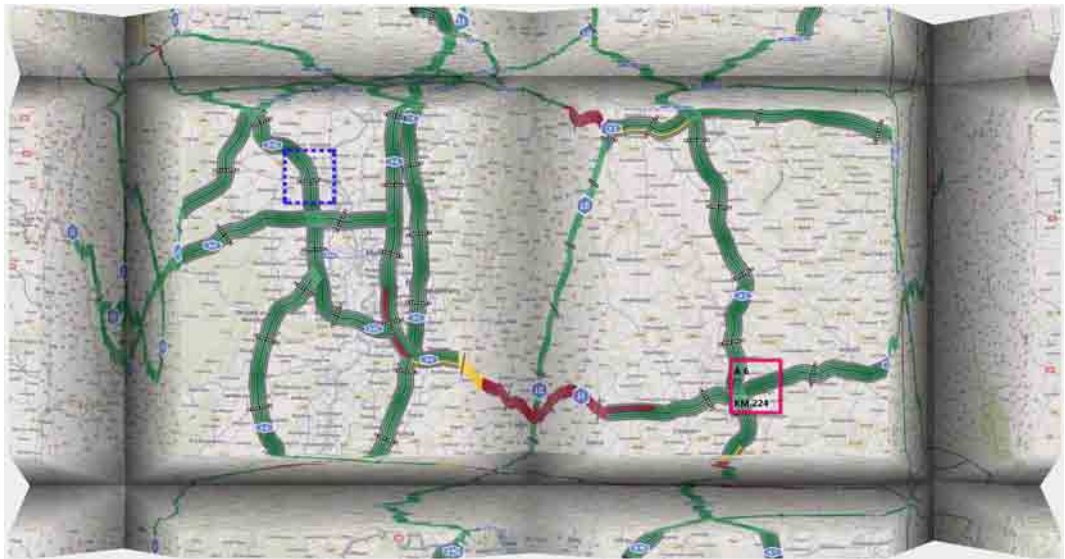
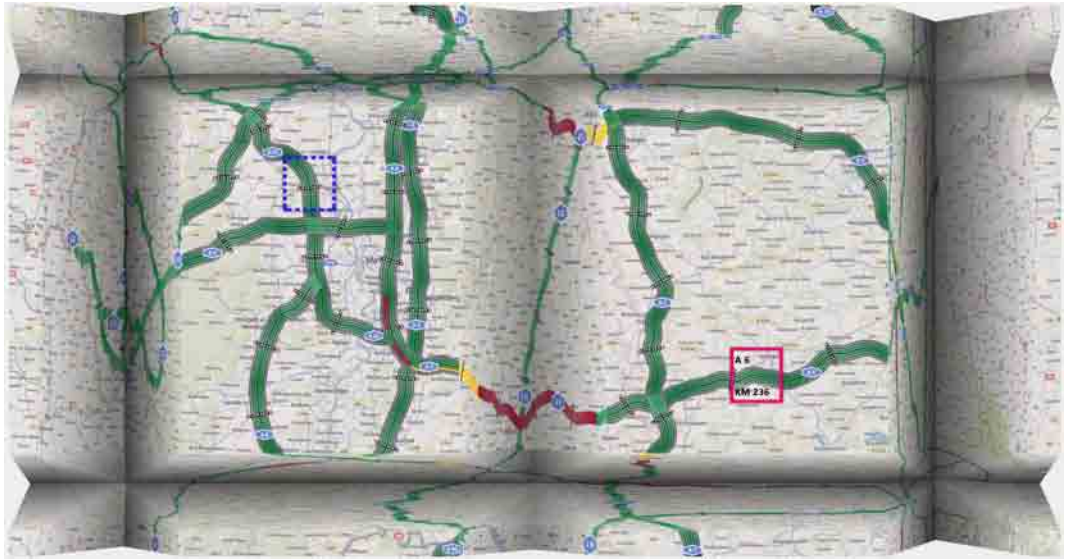
Anhang A

Kontinuierliche Transformation der Folding-View

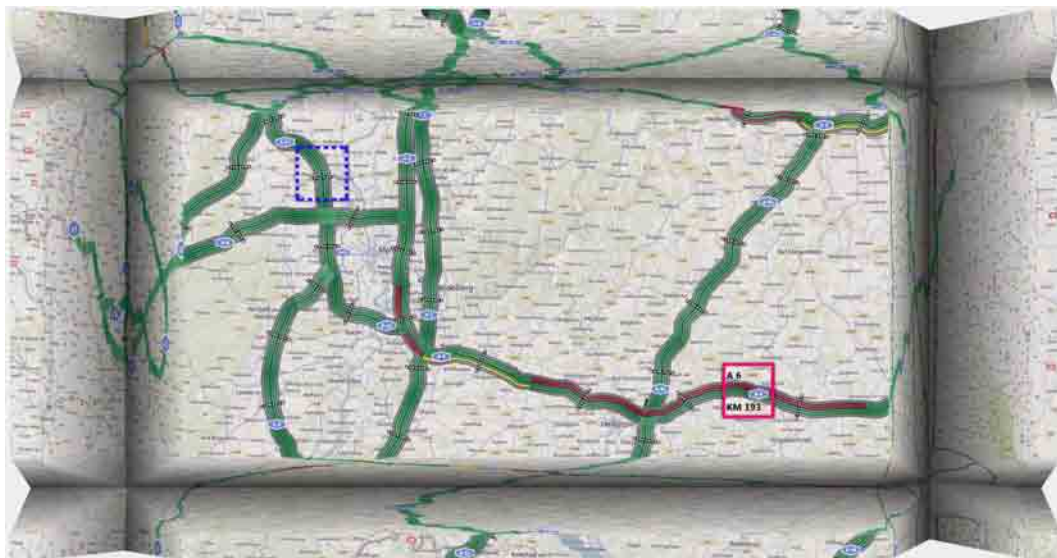
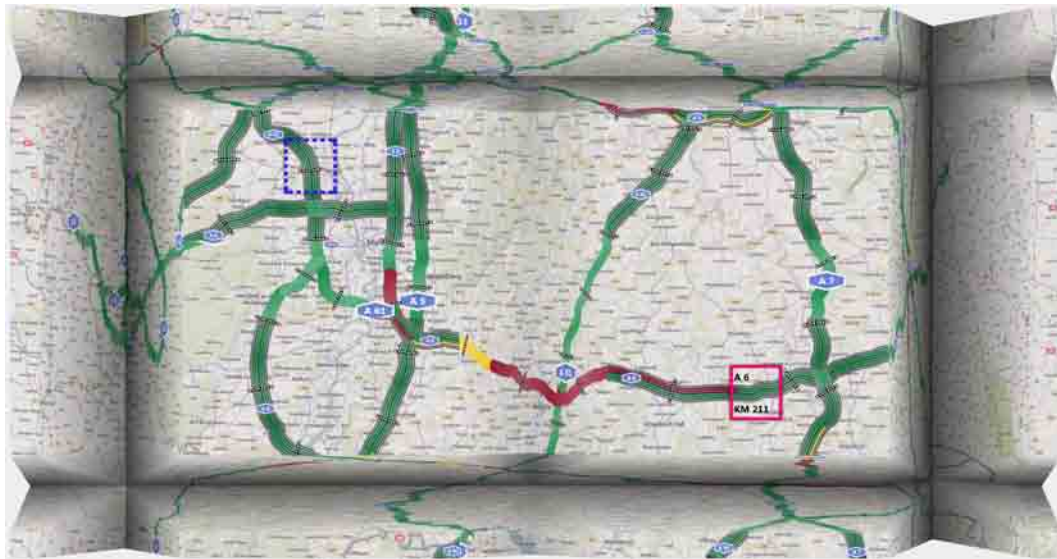
Die folgenden sechs Abbildungen verdeutlichen die kontinuierliche Transformation des Informationsraums beim Verschieben eines Fokuspunktes auf der Folding-View. In dem hier gezeigten Beispiel wird der magentafarbene Fokuspunkt über den Informationsraum bewegt.

A Kontinuierliche Transformation der Folding-View





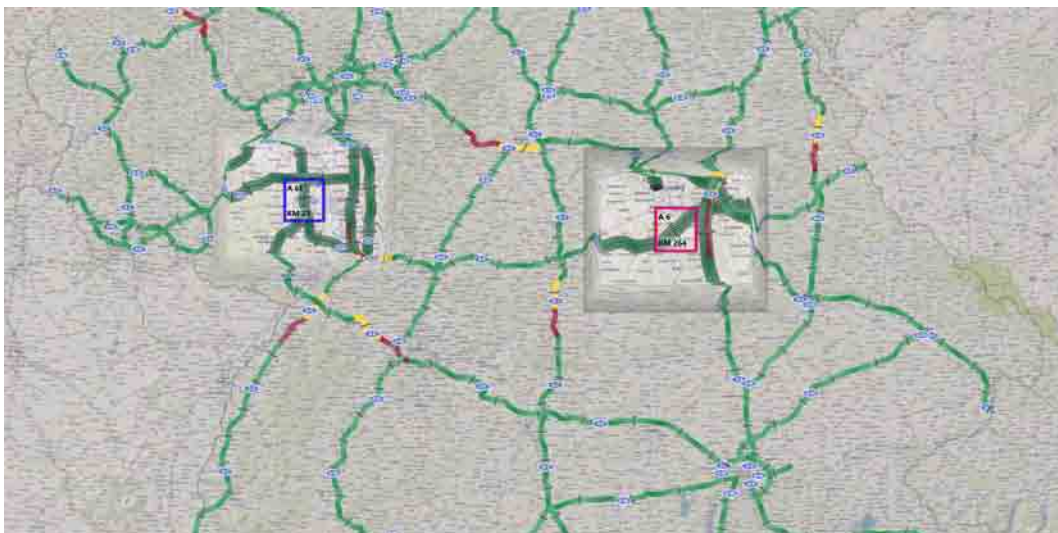
A Kontinuierliche Transformation der Folding-View



Anhang B

Rechteckige HML

Abbildung mit zwei rechteckigen (nicht quadratischen) Linsen. Die Linsen besitzen außerdem unterschiedliche Zoomstufen.



Anhang C

Testunterlagen

Dieser Anhang enthält alle während der Expertenbeurteilung ausgehändigten Fragebögen sowie die für die halbstrukturierten Experteninterviews eingesetzten Interviewleitfäden. Des Weiteren wurde eine von insgesamt drei Varianten (eine Variante für jede Prozessvisualisierung) des Beobachtungsprotokolls angefügt.

Fragebögen

1. Pre-Test-Fragebogen
2. Fragebogen zur Navigation
3. NASA-TLX Fragebogen
4. Kombiniertes SUS und Likert-Scale Fragebogen
5. Fragebogen zum Gesamtsystem

Interviewleitfäden

1. Interviewleitfaden zur Prozessvisualisierung
2. Interviewleitfaden zum Vergleich der Prozessvisualisierungen
3. Interviewleitfaden zum Gesamtsystem

Beobachtungsprotokolle

1. Beobachtungsprotokoll

Pretest-Fragebogen

Herzlichen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben an dieser Untersuchung teilzunehmen. Bevor wir anfangen, benötigen wir von Ihnen noch einige Angaben zu Ihrer Person. Wir möchten Ihnen hiermit noch einmal mitteilen, dass alle Daten vertraulich behandelt werden.

Demografie

Alter: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Ihre momentane Tätigkeit

Leiden Sie an einer rot-grün Schwäche?

nein ja

Sind Sie...?

Linkshänder Rechtshänder Beides Weiß nicht

Computeraffinität

Seit wie viele Jahren benutzen Sie einen Computer? _____

Wie viele Stunden verbringen Sie pro Tag an einem Computer?

- bis zu 1 Stunde
- mehr als 1, bis zu 2 Stunden
- mehr als 2, bis zu 3 Stunden
- mehr als 3 Stunden

Wie würden Sie sich selbst als Computernutzer einschätzen?

Anfänger Experte



Interaktionsgeräte

Haben Sie neben Maus und Tastatur bereits Erfahrung im Umgang mit anderen Interaktionsgeräten?

ja nein

Falls ja, welche Art von Interaktionsgeräten haben Sie bereits selbst genutzt?

Joystick

Falls ja, wie häufig nutzen Sie diese Art von Geräten?

sehr häufig sehr selten

Bei welchen Gelegenheiten benutzen Sie diese (z.B. Kamera-steuerung)?

Berührungsempfindliche Displays (Touchscreen)

Falls ja, wie häufig nutzen Sie diese Art von Geräten?

sehr häufig sehr selten

Bei welchen Gelegenheiten benutzen Sie diese (z.B. Handy, Fahrkartenautomat)?

Sonstige Eingabe-Geräte: _____

Falls ja, wie häufig nutzen Sie diese Art von Geräten?

sehr häufig sehr selten

Bei welchen Gelegenheiten benutzen Sie diese?

Kartennavigation

Haben Sie bereits Erfahrung im Umgang mit einer Kartennavigation, wie beispielsweise Google Maps, Routenplaner, oder Software aus dem Verkehrsüberwachungskontext?

- ja**
- nein**

Falls ja, wie häufig verwenden Sie diese Form der Kartennavigation?

- täglich**
- mehrmals wöchentlich**
- einmal oder mehrmals monatlich**
- seltener**

Falls ja, interagieren Sie auch in der Kartenansicht?

- ja**
- nein**

Falls ja, wie häufig benutzen Sie die Zoomfunktion in der Kartenansicht?

- sehr häufig** **sehr selten**

Falls ja, wie häufig benutzen Sie die Panningfunktion (Bewegen des Kartenausschnitts mit der Maus) in der Kartenansicht?

- sehr häufig** **sehr selten**

Fragebogen: Navigation

1. Hat das Eingabegerät entsprechend Ihren Erwartungen reagiert?
- | | | | | | |
|---------|--|--|--|--|-----------------|
| absolut | | | | | überhaupt nicht |
|---------|--|--|--|--|-----------------|
2. Falls Sie bereits Erfahrung mit der computergestützten Navigation in Karten (wie zum Beispiel auf Google maps) gemacht haben, wie gut kamen Sie mit der Navigation im Verhältnis zu der bekannten Navigation mit der Maus zurecht?
- | | | | | | |
|-------------------|--|--|--|--|-----------------------|
| wesentlich besser | | | | | wesentlich schlechter |
|-------------------|--|--|--|--|-----------------------|
3. Wie beurteilen Sie die Navigationsgeschwindigkeit auf der Karte?
- | | | | | | |
|-----------------|--|--|--|--|-----------------|
| viel zu schnell | | | | | viel zu langsam |
|-----------------|--|--|--|--|-----------------|
4. Fanden Sie die Anzeige der Kipprichtung hilfreich?
- | | | | |
|----|--|------|--|
| ja | | nein | |
|----|--|------|--|
5. Das Navigationskonzept war...
- | | | | | | |
|-------------------|--|--|--|--|-----------------|
| sehr verständlich | | | | | sehr verwirrend |
|-------------------|--|--|--|--|-----------------|
6. Die Navigation erforderte...
- | | | | | | |
|--------------------------|--|--|--|--|-------------------------|
| sehr wenig Konzentration | | | | | sehr viel Konzentration |
|--------------------------|--|--|--|--|-------------------------|
7. Wie gut funktionierte das Folgen der Straßen?
- | | | | | | |
|----------|--|--|--|--|---------------|
| sehr gut | | | | | sehr schlecht |
|----------|--|--|--|--|---------------|
8. Wie gut funktionierte das Abbiegen an Kreuzungen?
- | | | | | | |
|----------|--|--|--|--|---------------|
| sehr gut | | | | | sehr schlecht |
|----------|--|--|--|--|---------------|
9. Wie beurteilen Sie die Funktion, die es ermöglicht, direkt zu einer Kreuzung zu springen?
- | | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|-----------------|
| sehr hilfreich | | | | | sehr verwirrend |
|----------------|--|--|--|--|-----------------|

Beanspruchungsstruktur

Durch die eben absolvierten Aufgaben erfuhren Sie eine gewisse Belastung. Bitte lesen Sie sich die Erläuterungen zu den folgenden Aspekten der Belastung durch:

Aspekte

Erläuterung

1) Geistige Anforderungen

Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen, ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert Sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

2) Körperliche Anforderungen

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren, ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

3) Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

4) Ausführung der Aufgaben

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter oder Ihnen selbst gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

5) Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

6) Frustration

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Beanspruchungsstruktur

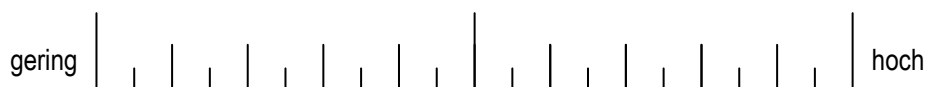
Geben Sie jetzt bitte an, wie hoch die Beanspruchung in den einzelnen Aspekten war. Markieren Sie dazu bitte auf den folgenden Skalen, in welchem Maße Sie sich in den sechs genannten Aspekten von der Aufgabe beansprucht oder gefordert gefühlt haben:

Beispiel:



Geistige Anforderungen

Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen, ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert Sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?



Körperliche Anforderungen

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren, ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



Ausführung der Aufgaben

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter oder Ihnen selbst gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?



Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?



Frustration

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert fühlten Sie sich während der Aufgabe?



Fragebogen: Public View

| | stimme überhaupt nicht zu | | | | | stimme völlig zu |
|--|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich denke, dass ich dieses System gerne häufig nutzen würde. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 2. Ich fand das System unnötig komplex. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 3. Ich denke, das System war einfach zu benutzen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 4. Ich denke, ich würde Hilfe eines Technikers benötigen, um das System benutzen zu können. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 5. Ich halte die verschiedenen Funktionen des Systems für gut integriert. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 6. Ich halte das System für zu inkonsistent. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute sehr schnell lernen würden, mit dem System umzugehen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 8. Ich fand das System sehr mühsam zu benutzen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 9. Ich fühlte mich bei der Nutzung des Systems sicher. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 10. Ich musste viele Dinge lernen, bevor ich das System nutzen konnte. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |

ID: _____

Gruppe: _____

Ansicht: _____

11. Ich denke, dass dieses System für den Einsatz im Arbeitsalltag in Verkehrsleitwarten geeignet ist.

stimme
überhaupt
nicht zu

stimme
völlig zu

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

12. Ich denke, dass die Orientierung im Überwachungsraum durch das „Public Display“ (Wand-Display) sehr gut möglich ist.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

13. Ich denke, dass ich den Überwachungsraum auf dem „Public Display“ (Wand-Display) stets gut überblicken kann.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Sonstige Bemerkungen:

Fragebogen: Gesamtsystem

1. Die Bedienung des Eingabegerätes (SpaceNaviator) war für mich sehr intuitiv/selbsterklärend.

stimme
überhaupt
nicht zu

stimme
völlig zu

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

1 2 3 4 5

2. Die Touch-Interaktion halte ich für diese Art von Anwendung für sinnvoll.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

1 2 3 4 5

3. Die Interaktion mit dem „Private Display“ (Touch Display) bereitet mir keinerlei körperliche Anstrengung.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

1 2 3 4 5

4. Die Synchronisation des „Private Displays“ (Touch Display) mit dem „Public Display“ (Wand Display) halte ich für sehr hilfreich.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

1 2 3 4 5

5. Die Integration der Kamerabilder auf dem „Public Display“ (Wand Display) im Kontext der Straßen halte ich für sehr hilfreich.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

1 2 3 4 5

Interviewleitfragen - Public View

1. **Leitfragen:**

Was halten Sie von der Overview-Ansicht?

2. **Inhaltliche Aspekte**

2.1. Was hat Ihnen besonders gut bzw. was hat Ihnen nicht gefallen.

2.2. Was würden Sie verbessern?

2.3. War die Ansicht für sie verständlich?

2.4. Welche Modifikation wäre für Ihre Leitzentrale notwendig?

2.5. Benötigen Sie zusätzliche Informationen auf der Overview bzw. werden zu viele Informationen angezeigt.

2.6. Waren für die Änderungen beim Verkehrsaufkommen immer ersichtlich?

2.7. Haben Sie die Halos bei der Aufgabenerfüllung unterstützt?

2.8. Wie gut können Sie sich auf der Karte orientieren?

2.9. Hatten Sie stets das Gefühl alle wichtigen Informationen im Blick zu haben?

Aufrechterhaltungsfragen

- Gibt es sonst noch was?
- Und sonst? Und weiter?
- Fallen Ihnen noch andere Dinge ein?

Nachfragen

- Warum gefallen Ihnen gerade diese Dinge (nicht)?
- Warum denken Sie, dies könnte wichtig sein?
- Haben Sie eine Idee wie man schneller mit der Oberfläche umzugehen lernt?

Interviewleitfragen - Vergleich der Public Views

1. Leitfragen:

Welche der drei Darstellungen hat Ihnen am besten gefallen?

2. Inhaltliche Aspekte

2.1. Welche Vor- und Nachteile sehen Sie in den einzelnen Ansichten?

Vorteile: _____

Nachteile: _____

Sonstiges: _____

Aufrechterhaltungsfragen

- Gibt es sonst noch was?
- Und sonst? Und weiter?
- Fallen Ihnen noch andere Dinge ein?

Interviewleitfragen - Gesamtsystem

1. Leitfragen:

Halten Sie das Gesamtkonzept aus Public-Space und Private-Space für den Einsatz in einer Verkehrsleitzentrale für geeignet?

2. Inhaltliche Aspekte

2.1. Erachten Sie den Einsatz einer Multifokus-View in der Verkehrsleitzentrale als sinnvoll?

2.1.1. Welche Vor- Nachteile sehen Sie durch Einsatz einer Multifokus-View?

2.1.2. Unterstützt Sie die Multifokus-View bei der kooperativen Arbeit (Situationsbewusstsein was macht der Kollege)?

2.1.3. War immer Eindeutig welchen Fokuspunkt Sie mit Hilfe des SpaceNavigators verschieben können?

2.1.4. War für Sie immer Eindeutig zu welchem Fokuspunkt aktuell Detailinformationen auf dem private Space dargestellt werden (Verbindung der Ansichten)?

2.2. Wie beurteilen Sie das Navigationskonzept?

2.2.1. Wie gut kamen Sie mit der Navigation mit Hilfe des Space-Navigators zurecht?

2.2.2. Wie gut kamen Sie mit der Navigation durch Panning zurecht?

2.2.3. In welcher Situation finden Sie die Navigation mit dem SpaceNavigator bzw. die Navigation durch Panning besser?

2.2.4. Erachten Sie die direkte Navigation (über Meldungen) zu interessanten Stellen im Überwachungsraum für wichtig?

2.2.5. An welcher Stelle sahen Sie Verbesserungspotenzial?

2.2.6. Haben Sie Ideen für alternative Navigationskonzepte?

2.3. Erachten Sie die Synchronisation zwischen Public-Space und Private-Space für sinnvoll?

2.3.1. Welche Vor und Nachteile sehen Sie von dem vorgestellten Konzept gegenüber Ihrem aktuell eingesetzten System.

2.4. Wie beurteilen Sie die Integration der Kamerabilder im Kontext der Übersichtskarte?

2.4.1. Welche Vor- Nachteile sehen Sie durch die Integration der Kamerabilder in den Kontext?

2.5. Ist der Einsatz von Multitouch-Displays in der Verkehrsleitzentrale sinnvoll?

2.5.1. Welche Vor- Nachteile sehen sie durch Einsatz von Multitouch-Displays?

2.5.2. Sehen Sie Vorteile beim Einstellen der dynamischen Verkehrszeichen über Multitouch im Gegensatz zur Maus?

Aufrechterhaltungsfragen

- Gibt es sonst noch was?
- Und sonst? Und weiter?
- Fallen Ihnen noch andere Dinge ein?

Nachfragen

- Warum gefallen Ihnen gerade diese Dinge (nicht)?
- Warum denken Sie, dies könnte wichtig sein?
- Haben Sie eine Idee wie man schneller mit der Oberfläche umzugehen lernt?

Beobachtungsprotokoll

1. Aufgabe

Es wurde ein Pannenfahrzeug auf der A 81 zwischen Heilbronn und Würzburg gemeldet. Setzen Sie die Geschwindigkeit auf Höhe des Pannenfahrzeuges auf allen Fahrspuren auf 80 km/h herunter.

| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

2. Aufgabe

Sperrten Sie alle freigegebenen Standstreifen (grün Markiert) auf der A 93.

| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

3. Aufgabe

Stau auf der A 3 zwischen Würzburg und Nürnberg: Geben Sie den Standstreife auf der ganzen Staulänge frei (80 km/h) und setzen die Geschwindigkeit auf allen andern Fahrbahnen herunter (80km/h).

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

4. Aufgabe

Unfall auf der A 81 auf Höhe der A 6: Führen sie ein Vollsperrung der Straße auf Höhe der Unfallstelle durch und setzen die Geschwindigkeiten auf dem Abschnitt vor der Sperrung auf 80km/h herunter.

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

ID: _____

Gruppe: _____

5. Aufgabe

Änderung des Verkehrsaufkommens ohne HALO → A 70

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

6. Aufgabe

Änderung des Verkehrsaufkommens mit HALO → 62

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

ID: _____

Gruppe: _____

7. Aufgabe

Baustelle auf der A 9 in Fahrtrichtung Norden: Sperren Sie die rechte Fahrspur und setzen Sie die Geschwindigkeit der linken Fahrspur auf 80 km/h.

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

8. Aufgabe

Gefrierende Nässe auf der A 1 in Höhe der A 62. Aktivieren Sie das entsprechende Straßenschild.

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

ID: _____

Gruppe: _____

9. Aufgabe

Der Stau auf der A 3 hat sich aufgelöst: Sperren Sie alle zuvor freigegebenen Standstreifen.

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

10. Aufgabe

Einige Unfallfahrzeuge auf der A 81 wurden entfernt: Geben Sie die linke Fahrspur mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h frei.

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Zusätzlich: |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Gelöst (ohne Schwierigkeiten) | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>keine</u> Hilfe nötig | Gelöst <u>mit</u> Schwierigkeiten, <u>mit</u> Hilfe | Nicht gelöst | Gelöst, aber nicht verstanden |

Anhang D

Inhalt der DVD

| | |
|--|--|
| Veröffentlichungen & sonstige Dokumente | <ul style="list-style-type: none">• Mensch & Computer 2011 (Langbeitrag): Inhaltssensitive Navigation in der Verkehrsleitzentrale.• HFES 2011 (Poster): Monitoring of processes and manipulation of process variables in the context of a multi-user setting in a traffic control room.• AVI 2012 (Short Paper): Content-aware navigation for large displays in context of traffic control rooms.• Ausarbeitung zum Masterseminar• Dokumentation zum Masterprojekt |
| Videos | <ul style="list-style-type: none">• Video zum entwickelten Visualisierungs- und Inetraktionskonzept• Video zum Projekt |
| Software | <ul style="list-style-type: none">• VisualStudio-Projekt als RAR-Archiv (ZOIL ist nicht enthalten) |
| Testunterlagen | <ul style="list-style-type: none">• Willkommensschreiben/Einverständniserklärung• Checklisten• Fragebögen• Intervieuleitfäden• Beobachtungsprotokolle |

D Inhalt der DVD

RawData

- Digitalisierte Beobachtungsprotokolle
 - Digitalisierte Interviewprotokolle
-

Auswertung

- Excel-Sheets der ausgewerteten Fragebögen
 - Excel-Sheets zur qualitativen Inhaltsanalyse
-

**Schriftliche
Ausarbeitung**

- Latex: vollständiges Lyx-Projekt der Arbeit
 - PDF: PDF-Version der Arbeit
 - Bilder: alle innerhalb der Arbeit verwendeten Bilder
-