Nutzergerechte Informationsvisualisierung für Augmented Reality Anzeigen

vorgelegt von

Dipl.-Inform. Anne Wegerich

aus Rostock

Von der Fakultät V,
für Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin

im DFG Graduiertenkolleg
„Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion“
zur Erlangung des akademischen Grades
einer Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation.

Promotionsausschuss:

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger
Referent: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting
Koreferent: Prof. Dr. phil. Manfred Thüring

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 09. Januar 2012

Berlin 2012
D 83

Die vorliegende Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne ihre Unterstützer, denen ich an dieser Stelle danken möchte für ihre Hilfe. Im Besonderen danke ich meinem Doktorvater H. Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting, dessen fachliche und konzeptionelle Hilfe vor allem dabei geholfen hat, fokussiert und analytisch zu arbeiten und Relevantes von Irrelevantem zu trennen. Ihm und auch dem Technikteam des FG MMS danke ich zudem für die sehr großzügige finanzielle und technische Unterstützung bei der Smart Kitchen Entwicklung. Ein sehr großer Dank gebührt auch meinem Mentor und Retter in der Not Dr. Jeronimo Dzaack, der stetig für viel Motivation und die Besinnung auf den roten Faden gesorgt hat. Auch bei meinen Kollegen und inzwischen Freunden des Graduiertenkollegs prometei möchte ich mich außerordentlich herzlich bedanken. Sie waren zu jeder Tages- und Nachtzeit bereit zu helfen, sei es für schnelle Antworten an der Bürotür oder ausführliche Besprechungen und Hilfe bei der Versuchsvorbereitung. Es war eine tolle Zeit, danke. Für die Hard- und Softwareentwicklung in der Küche war darüber hinaus viel Hilfe von Nöten für die ich mich an dieser Stelle auch ganz herzlich bei meinen Praktikanten, studentischen Mitarbeitern und Kollegen Julian Adenauer, Marion Kölle, Marcelina Sünderhauf, Julia Posse und Jan Jalali bedanke, die sehr viel Unterstützung und Hilfe in der Not geleistet haben. Für die materielle Unterstützung möchte ich mich ebenso bei der DFG bedanken, ohne deren Mittel Vieles nicht möglich gewesen wäre.

Nicht zuletzt sondern ganz exklusiv möchte ich auch meinem Freund David danken, der immer wieder wusste, wie er mit meinen Launen, Wutanfällen und Abbruchgedanken umzugehen hatte und geduldig zuhörte oder mit Know-How weiterhalf. Und auch unsere kleine Tochter Valerie hat immer im richtigen Moment für Zerstreuung und ein Lächeln gesorgt und so auch ihren Teil beigetragen, der nicht zu unterschätzen ist.

Abstract

The presented work introduces a solution for user-centered design of (spatial) Augmented Reality displays. To achieve an optimal automation for generating AR presentations a bottom-up approach is used. Therefore, the techniques and models of two-dimensional information visualization serve as example. They represent the basis for the development of a prototype of an information system in a smart kitchen.

As a first step there is a need to collect the 2D visualization parameters. They form the core of visualization models which describe their relations and dependencies from data types and contextual factors. Also the transferability of relevant 2D parameters and appropriate guidelines for their user-centered presentation to AR displays has to be tested. This work also collect AR specific parameters and established guidelines which together serves as knowledge base for the automation of a visualization decision or synthesis. Inconsistent or open questions concerning the guidelines are determined with two experiments which give answers for the kitchen context.

In the second step visualization techniques are compared and analyzed for the proposed usage as a bottom-up visualization synthesis. At this point, the (in 2D) established Visualization Exploration Model combined with a fuzzy expert system will be implemented. The incorporated fuzzy rules sets for the appointment of parameter values thereby allow to handle weak definitions of value ranges.

The techniques are part of a high scalable blackboard system which is chosen as the architecture of the information system in the smart kitchen. This concept is generalizable with substituting kitchen components with e.g. the components for the setting of a plant control. But to achieve real dependencies and conditions for generating user-centered sAR displays this work also presents the appropriate implementations for a smart kitchen setting.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Lösungsweg der nutzergerechten Gestaltung von (stationären) Augmented Reality (sAR) Anzeigen vor. Für die verbesserte automatische Generierung von AR Darstellungen wird dazu ein Bottom-Up Verfahren eingesetzt. Dafür erfolgt eine Anlehnung an die Techniken und Modelle der Informationsvisualisierung für zweidimensionale Anzeigen. Ziel ist die Nutzbarmachung der entsprechenden Vorgehensweise in Form der prototypischen Entwicklung eines Informationssystems für eine intelligente Küchenumgebung.

Die Problematik besteht vorerst in der Sammlung der 2D Visualisierungsparameter, die in etablierten Taxonomien der Abhängigkeitsfaktoren eingefasst sind, sowie in der Klärung der Übertragbarkeit der wichtigsten Parameter und ihrer Gestaltungsrichtlinien auf die AR Anzeigecharakteristik. Darüber hinaus werden AR spezifische Visualisierungsparameter zusammen getragen, ebenso wie deren zugehörige Gestaltungsrichtlinien, um eine Basis zu schaffen für die automatisierte und nutzergerechte Erstellung von (s)AR Darstellungen (Visualisierungssynthese). Die sich ergebenden widersprüchlichen und offenen Fragestellungen zu den AR spezifischen Parametern werden durch zwei entsprechende Experimente (angelehnt an das Küchenszenario) geklärt.

Gemeinsam können die Parameter anschließend als Grundlage dienen, um eine geeignete Visualisierungssynthesetechnik zu ermitteln. Für diese Arbeit werden die in 2D bereits etablierte Technik des Visualization Exploration Models in Kombination mit einem Fuzzy Expertensystem genutzt. Fuzzy Wertzuweisungen ermöglichen dabei die Handhabung weicher Wertebereiche der Gestaltungsrichtlinien. Diese Techniken werden dann in die modulare und skalierbare Softwarearchitektur eines Blackboardsystems integriert, um die Systementwicklung auch für andere Anwendungsfelder zugänglich zu machen. In der vorliegenden Arbeit werden jedoch auch die nötigen Zusatzimplementierungen und kontext-abhängigen Softwaremodule beschrieben, um realitätsnahe Abhängigkeiten der AR Bilderstellung zu schaffen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

1.1 Problemstellung 2

1.2 Lösungsansatz 3

2 Theorien der Informationsvisualisierung für Augmented Reality **5**

2.1 Wahrnehmungsprozess und Visualisierungsverfahren 6

2.2 Augmented Reality – Ein Überblick 9

2.2.1 Definitionsdiskussion 10

2.2.2 Technische Klassifikation 11

2.2.3 Anwendungsklassifikation 15

2.3 Informationsvisualisierung und Visualisierungsparameter 17

2.3.1 Informationsvisualisierung 18

2.3.2 Parameter der Informationsvisualisierung 21

2.3.3 Übertragbarkeit 25

2.4 Informationsvisualisierung für AR 27

2.4.1 AR spezifische Darstellungsparameter 28

2.5 Offene Fragen 36

3 Experimente **42**

3.1 Experiment zur Darstellung von Navigationshinweisen in Innenräumen . . . 43

3.1.1 Hauptexperiment – Fragestellung 48

3.1.2 Methode 49

3.1.3 Design 51

3.1.4 Hypothesen 53

3.1.5 Ergebnisse 54

3.1.6 Diskussion und abgeleitete Gestaltungsrichtlinien 57

3.2 Experiment zur Darstellung von Objektmarkierungen 61

3.2.1 Hauptexperiment – Fragestellung 61

3.2.2 Methode 63

3.2.3 Design 65

3.2.4 Hypothesen . . . 65
3.2.5 Ergebnisse . . . 67
3.2.6 Diskussion und abgeleitete Gestaltungsrichtlinien . . . 70
3.3 Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse . . . 74

4 Verfahren der Visualisierungssynthese 78
4.1 Visualisierungspipeline und Visualisierungstechniken . . . 79
4.1.1 Visualisierungspipeline . . . 79
4.1.2 2D Visualisierungstechniken . . . 79
4.1.3 Augmented Reality Techniken . . . 81
4.2 Visualization Exploration Model – VEM . . . 86
4.3 Fuzzy Expertensystem – FXPS . . . 88
4.3.1 Regelsatzerstellung für das FXPS . . . 91
4.4 Kombination VEM und FXPS . . . 93

5 Systementwicklung UARKit 96
5.1 Softwareentwicklung . . . 96
5.1.1 Definition des Systemzieles . . . 97
5.1.2 Anforderungsanalyse . . . 99
5.1.3 Systemspezifikation und Komponenten . . . 100
5.1.4 Implementierung . . . 103
5.1.5 Evolution . . . 106
5.2 Integration UARKit . . . 112
5.2.1 Aufbau – Technik . . . 113
5.2.2 Systemkomponenten . . . 113
5.2.3 Kontextdatenerzeugung und -nutzung . . . 114
5.3 Diskussion . . . 117

6 Zusammenfassung und Ausblick 119
6.1 Zusammenfassung . . . 119
6.2 Diskussion . . . 121
6.3 Ausblick . . . 123

A Glossar 140

B Experiment Innenraumnavigation 142

C Bausteinexperiment 148
C.1 Vorbefragung Formähnlichkeit . . . 148
C.2 Instruktion . . . 148

Abbildungsverzeichnis

1.1 Übersicht des Lösungsansatzes und Kapitelzuordnung. Grau gekennzeichnet sind zusammengetragene, bereits etablierte Forschungsergebnisse und Herangehensweisen. Blau gekennzeichnet sind eigene Ergebnisse, bzw. eigenständig erarbeitete oder neu kombinierte Herangehensweisen. 4

2.1 Bildhintergrundwechsel mit AR Richtungsanzeige und mögliche Einblendungsveränderungen. Links: ohne Optimierung, Mitte: Top-Down Ergebnis, Rechts: Bottom-Up Ergebnis. 8
2.2 Eine Erdkugel bzw. Farbwürfel wird anhand eines für die Kamera sichtbaren Markers auf das Kamerabild geblendet. 9
2.3 Realitäts-, Virtualitätskontinuum nach Milgram et al. [MTUK95, S. 283] . . 10
2.4 Beispiel für AR Anwendung, bei der die AR Definition nicht vollends greift. Neben den nicht registrierten Funkionssymbolden ist bei den weiteren Informationen unklar, welches Restaurant gemeint ist. Die fehlende Verortung der Funktionsicons (wie E-Mail) lassen jedoch die Interpretation zu, dass sich auch die gezeigten Restaurants nicht zwingend am sichtbaren Platz befinden müssen, sondern vielleicht in einiger Entfernung liegen oder sich sogar in einer anderen Stadt befinden. 11
2.5 Beispiele für AR Anzeigen. Links: Bild der Layar Software [Lay11] auf mobilem Endgerät, Mitte: projeziertes Bild auf transparentem sAR Display, Rechts: projezierte Höheninformationen auf realem Relief (sogenannte Tabletop-Anwendung). 13
2.6 Die Einteilung der AR Systeme, mAR meint mobile AR, sAR meint stationäre AR. Der Rahmen zeigt die hier fokussierten Technologien. 13
2.7 Problemklassen der AR Visualisierungsanpassung. Links: Screen Management mit physikalischer Verdeckung, Überlappungen und Lücken, Mitte: View Management mit Platzierung der virtuellen Information unter Überdeckungsvermeidung, Rechts: Presentation Management mit Auswahl der Darstellungsform einer Information. 14

2.8 Beispiele für Informations- bzw. Knowledge Visualisierungen verschiedener Datensätze z.T erstellt mit der IBM Anwendung „Many Eyes“ [IBM11]. Medizinische Symbollegende links unten aus [LDBH+07] 19
2.9 Pfitzners Taxonomie der 2D Visualisierungsparameter. 22
2.10 Links: 2D, Mitte: 2,5 D oder Pseudo 3D, Rechts: angedeutete 3D Ansichten des gleichen Objektes (hier auch 2,5 D da Papierdruck) 26
2.11 Beispiel für redundante Einblendung. Die Karte links wiederholt die Straßenführung und bettet dort die Information des Richtungshinweises ein. . . 29
2.12 Möglichkeiten der Bezugherstellung durch Visualsierungsparameter. Zum realen Objekt (Baustein oder Haus) werden zusätzliche Informationen augmentiert. a) Bezug durch Positionierung, räumliche Nähe bzw. Verbindungsvisualisierung, b) Bezug formal oder inhaltlich durch ähnliche Farb- oder Formgebung, bzw. inhaltlichen Bezug (durch Symbol Kaffeetasse wird Bezug zum vorhandenen Cafehaus im Sichtfeld hergestellt). 38
2.13 Tabellenübersicht der gesammelten Richtlinien und offenen Fragestellungen. 40

3.1 Beispielhinweis 2 und 3 aus der vorgelegten Befragung. Ganzer Fragebogen siehe Anhang B. 45
3.2 Ergebnisübersicht deskriptive Statistik, Mediane, Minima, Maxima und Standardabweichungen der gegebenen Noten. 46
3.3 Schema des Testraumes aus Vogelperspektive. Die Ecken 1 bis 3 zeigen die Zielquadranten (involviert waren jeweils mind. zwei Regale, Pfeile deuten die jeweils offene Regalseite an). 50
3.4 Eine Versuchperson steht am Ausgangspunkt und betrachtet den projezierten Suchhinweis. Rechts lokalisiert die Versuchsperson das Zielobjekt. 51
3.5 Beispiele für Navigationshinweise (Pfeil, schematische und texturierte Karte). 52
3.6 Häufigkeiten der Fehlertypen für die jeweilige Hinweisart. 55
3.7 Interaktion der Faktoren Animation mit Visualisierungsart. 56
3.8 Benotungswerte der Pfeil- und Kartenvarianten mit dem sichtbaren (und signifikanten) Verbesserungseffekt der Animation. Tendenziell signifikanter Interaktionseffekt des Visualisierungstys und der Animation erkennbar durch unterschiedliche Anstiege. 57
3.9 Bewertungen der Exaktheit der dargestellten Hinweisvarianten. 57
3.10 Die sechs verschiedenen Formoptionen. 62

3.11 Beipielbilder der getesteten Einblendungen. Sie zeigen jeweils die Überblendung von Teil- oder ganzen Steinen, konforme und nonkonforme Augmentierungen (mit einer Verbindungslinie zum gemeinten Stein oder keiner Linie), sowie die variierten Ähnlichkeitsstufen. Die redundanten Versionen (rechts, mit zusätzlichem Bildausschnitt in der oberen Ecke) werden nur mithilfe von Konturen markiert, da die Hypothesen bezüglich der Ähnlichkeit (sowie Position) und die der Redundanz unabhängig voneinander getestet wurden, um den Aufwand des Versuches zu reduzieren. 64
3.12 Diagramme für die Redundanzergebnisse und Hypothesen H 1.1 bis H 1.4 links, Diagramme für die Positionsergebnisse und Hypothesen H2.1 bis H 2.4 Mitte, Diagramme für die Ähnlichkeitsergebnisse und Hypothesen 3.1 bis 3.4 rechts; (t in ms, alle Werte sind Mittelwerte) 69
3.13 Interaktion der Position und Ähnlichkeit bezüglich der Detektionszeiten. . . 70
3.14 Echtzeiteinblendungsbeispiel mit zu großem Farbabstand, Formkontrast- und Positionsfehlern. 71
3.15 Vollständige Tabelle der Richtlinien mit ersetzen Lücken bzw. Widersprüchen. 76

4.1 Visualisierungspipeline nach [SM99]. 79
4.2 „Periodensystem“ der Visualisierungsmethoden nach [Lit11]. Wird eines der „Elemente“ mit der Maus überkreuzt, so erhält der Nutzer ein Beispielergebnisbild der Methode und eine kurze Erläuterung. Zusätzlich sind durch die Symboliken der „Elemente“ weitere Zuordnungsdetails zu erfahren, wie der mögliche Aufgaben- oder Datentyp, für den diese Methode geeignet ist. Im obigen Bildschirmschnappschuss sind die Details der Methode Layer Chart (Ebenendiagramm) zu sehen. 80
4.3 Bildausschnitte nach Pan und Zoom. 83
4.4 Beispielhafte Darstellung einer Overview & Detail Anzeige. Es werden jeweils getrennte Fenster benutzt. Die Overviewleiste unten zeigt die (per Nutzerbewegung) veränderlichen Richtungshinweise mit Markern für augmentierte Objekte im Sichtfeld (weiße Kreise) 83
4.5 Beispieldarstellung einer Fischaugenlinse als Focus & Context Technik. . . . 84
4.6 Visualization Exploration Model Komponenten nach [JKMG02]. 86
4.7 Beispiel für Anpassung einer Visualisierung mit den formalisierten Schritten des Visualization Exploration Models. 87
4.8 Struktur eines Expertensystems. 89
4.9 Fuzzy Set der Variable Ähnlichkeit (similarity) zusammengesetzt aus Form (und Größe) und Farbe. Formähnlichkeitsfunktionen aus Vorbefragung (schwarz), Farbähnlichkeiten aus Farbabstand ΔE (grün; skalierte Darstellung). 93

4.10 Schema des VEM mit integriertem FXPS. 94

5.1 Foto der Küche des UARKit Projektes, Rechts: Draufsicht mit Möbelpositionen und möglichen Nutzerausrichtungen nach Arbeits- und Anzeigeflächen (Pfeile), Anzeigeflächen (grün) und Abmessungen (in cm). 98
5.2 Tasse auf Arbeitsfläche der Küche mit annotierter Projektion und Touchdsiplay mit Menüführung. 99
5.3 Struktur des Blackboard Systems mit den unabhängigen KS der hiesegen Anwendung. 102
5.4 Sequenzdiagramm der Blackboard Komponenten (grau markiert). Für Details der VisSynthese (Verweis 2) siehe Abb. 5.5. 104
5.5 Sequenzdiagramm der VisSynthese Komponente mit den integrierten Visualization Exploration Model (VEM), Visualiszation Transform (VT) und dem Fuzzy Expertensystem (FXPS). 105
5.6 Abhängigkeiten der Top-Down Bildauswahl 111
5.7 Sequenzdiagramm der veränderten Visualisierungserstellung. 112
5.8 Struktur, Art und Anbindung der Systemkomponenten. 114
5.9 Überblendung auf eine der im Regal vorhandenen Zutaten. 115
5.10 Schema der Sensorenanordnung rechts, Schnappschüsase der Verlaufsfolge der Projektionsverschiebung am Beispiel Navigationspfeil links. 116
5.11 Beispiel einer inhaltlichen High-Level Anpassung. 116

Tabellenverzeichnis

2.1 Einteilung der AR Zieldarstellungen nach [DN00]. Grau unterlegt ist das hier fokussierte Anwendungsgebiet. 16
2.2 Die vier Perspektiven des Knowledge Visualization Framework [Bur05]. . . . 20
2.3 Kategorien der Tiefenreize nach [DM96]. 32

3.1 Faktoren und jeweilige Stufen für die Auswertung der Vorbefragung. Graue Kästchen markieren die jeweils herangezogenen Werte für eine Faktorstufe. „Ohne Standpunktausrichtung“ bedeutet eine beliebige Position des Startpunktes des Pfeiles, der Linie oder der Karte. Der aktuelle Standpunkt des Nutzers wurde in diesem Fall gesondert markiert oder war wegen der Vogelperspektive nicht auf diesen anzupassen. 47
3.2 Übersicht der im Experiment getesteten Faktorstufen. 52
3.3 Übersicht der Ergebnisse. 59
3.4 Mittelwerte und Standardabweichungen der Optionen gezeigt in Abb. 3.10. . 62
3.5 3x3 Design für die Faktorstufen von Ähnlichkeit und Position, graue Quadrate kennzeichnen das vorhandene Beispielbild in Abb. 3.11 65
3.6 Design für die Variation der Redundanz verglichen mit der bloßen Kontur, graue Quadrate kennzeichnen das vorhandene Beispielbild in Abb. 3.11 . . . 65
3.7 Übersicht der Ergebnisse. 72

5.1 Ausgangsdaten und Visualisierungsparameter sowie deren Ursprung. 106
5.2 Zusammenfassung der verwendeten Darstellungsflächen und deren Sichtbarkeit 108
5.3 Sammlung der relevanten Eigenschaften der verwendeten Display- und Projektionsgeräte 109
5.4 Darstellungsfälle (und Kürzel) für Aufwandsreduktion; dunkelgrau entspricht Dopplung, hellgrau entspricht nicht zielführend; beides führt zum Ausschluss. 109
5.5 Unterscheidbare und gleichartige Funtkionsteile der Systemvarianten 117
5.6 Funktionen und Zeitbedarf der Komponenten der Visualisierungssynthese. . 118

Kapitel 1

Einleitung

Die Technologie Augmented Reality (AR) oder Erweiterte Realität hat sich unmerklich in unseren (mobilen) Alltag geschlichen. Die Anwendungen zur Einblendung zusätzlicher Informationen sind so einfach zugängig und akzeptiert wie nie. Mit nahezu allen mobilen Endgeräten, die ihrerseits über Kameras, einen Internetanschluss und Ortungstechnologien verfügen, kann sich der Nutzer an jedem Ort der Welt die Richtung zur nächsten Apotheke oder die Nährwertampel zum Produktbarcode im Supermarkt direkt in sein (abgefilmtes) Blickfeld einblenden lassen. Auch stationäre (fest installierte) Systeme gewinnen vor allem für Werbezwecke an Bedeutung. Augmented Reality als Basis dieser Anwendungen hat sich damit nach jahrzehntelangem Brachliegen etabliert.

Zuvor waren für alle nötigen AR Systemkomponenten massige Computer, große Kameras und Trackingunterstützungssysteme in einem Rucksack auf dem Rücken zu tragen. Auch Kopf-basierte Bildschirme glichen kleinen Fernsehgeräten mit entsprechendem Gewicht. Lange Zeit galten die technischen Herausforderungen der richtig verorteten und in Echtzeit erzeugten 3D Zusatzinformationen als die Hauptthemenfelder der Forschung im Bereich der Augmented Reality. Die nutzergerechte Gestaltung beschränkte sich allein auf die Reduzierung der Größe und des Gewichtes der zu tragenden Technik.

Auch in der aktuellen Forschung sind die Probleme der beteiligten Technik und der Software noch immer große Themen, jedoch werden mehr und mehr auch die nutzergerechte Interaktionsgestaltung und Visualisierung der Information einbezogen [ZDB08]. Dazu trägt vor allem die große Verbreitung der Mobiltelefone und Tablet-PCs bei, die den Zugang zu AR Anwendungen erleichtert hat und somit zahlreiche neue Nutzer anspricht.

Doch nicht nur die höchst unterschiedlichen Typen der nutzbaren Displays, auch die Vielfalt der darstellbaren Informationen führt zu einer sehr weitgefassten Auslegung der AR Definition seitens der Systementwickler. Viele Bildüberlagerungen werden als AR bezeichnet, sind jedoch nicht immer auch solche, da sie z.T. keinerlei räumliche Zuordnung (Registrierung) oder Echtzeitinteraktion beinhalten. Visualisierte Zusatzinformationen werden so in ihrer Bedeutung aufgelöst. Der Nutzer ist nicht mehr in der Lage zu unterscheiden, ob

eine Information zum aktuellen Sichtfeld gehört oder stetig eingeblendet wird. Zudem sind bei fehlender Registrierung die Zugehörigkeiten des virtuell Eingeblendeten zum realen Bezugsobjekt mehrdeutig. Ist eine Information stetig vorhanden, kann nicht mehr eindeutig zugeordnet werden, zu welchem sichtbaren Objekt diese gehört.

Die Problematik der nutzergerechten Gestaltung der AR Anzeigen besteht so vor allem in der Anpassung der visualisierten AR Informationen unter strenger Berücksichtigung der AR Definition. Die vorliegende Arbeit geht auf diese Problematik ein und fragt allgemein, wie eine nutzergerechte AR Visualisierung erreicht werden kann und wie diese zu automatisieren ist.

1.1 Problemstellung

AR Darstellungen dienen unterschiedlichsten Zwecken. Innerhalb der Forschung sind dabei vor allem grundsätzliche Themen von Bedeutung wie eine sehr genaue Registrierung (räumliche Zuordnung) oder das realitätsnahe Rendering (Oberflächengenerierung aus Modelldaten). Im Nutzerbreich werden jedoch typischerweise Zusatzinformationen für alltägliche Situationen und Produkte benötigt, die weniger Wert auf die technische Korrektheit als vielmehr auf das Design und die Fülle der zugänglichen Informationen legen. Vor diesem Hintergrund sind die verschiedenen AR Anwendungen für Endnutzer breit gefächert und folgen nicht immer strikt den Definitionskriterien. Diese verlangen die Kombination von Realem und Virtuellem (neben visueller Information kann dies bspw. auch akustisch erfolgen), Interaktion in Echtzeit und die Herstellung des räumlichen Bezuges zwischen den Informationsteilen in Form der dreidimensionalen Registrierung (Verortung) [Azu97].

In gängigen Anwendungen wird jedoch die Bezugherstellung nicht immer genau beachtet. Auch in der Forschung spielt die Vereinfachung der Interpretation des Dargestellten kaum eine Rolle. So können bspw. lokale Informationen einer Straßenansicht (Restaurants, Speisekarten, Geldautomaten, etc.) sogenannte Location Based Services zwar in das Echtzeitbild der Kamera integriert werden. In vielen Fällen werden diese jedoch aus Soft- oder Hardwareentwicklungsgründen als bloße Randmenüs oder einfache und gleichartige Kartenoverlays (nicht immer nutzergerecht designed) visualisiert. Insbesondere Anwendungen für mobile Endgeräte sind beschränkt auf die vorhandenen Rechen- und Speicherkapazitäten und können keine aufwendige Umgebungserkennung auf optischer Basis und eine darauf aufbauende Registrierung vornehmen. Sie sind angewiesen auf eine sehr genaue Wissensbasis über die Umgebung oder auf dort befindliche reale optische Marker (eindeutige Identifikationsmuster) am Objekt der Überblendung, die selten vorhanden sind.

Aufgrund des größeren Interesses am ästhetischen Aussehen bzw. in der Forschung an der Einhaltung geringer technischer Toleranzen der Anwendung ergeben sich Schwierigkeiten für den Nutzer im Sinne von Mehrdeutigkeiten, Verständnisproblemen vor allem in

Bezug auf die Registrierung, aber auch Probleme der Erkennbarkeit. Welche Information ist real, welche virtuell? Welches reale Objekt ist mit der Überblendung gemeint? Sind relevante Information der realen Welt verdeckt durch das Virtuelle etc.? Auch bei stationären Systemen ergeben sich Probleme, wenn der Projektionsuntergrund nicht homogen ist, stark reflektierend wirkt oder die Darstellung aufgrund seiner Form verzerrt.

Die vorliegende Arbeit greift an diesem Punkt an. Es soll ein erster Schritt hin zu nutzergrechten AR Visualisierungen unternommen werden, der zum Ergebnis ein System hat, das bereits in einer frühen Entwicklungphase prospektiv auf dieses Ziel ausgerichtet ist. Die Schwierigkeit retrospektiver Nachbesserungen bestehen vor allem in der grundsätzlich nötigen Herangehensweise der Visualisierungsanpassung auf Basis der Kontextbedingungen. In Nachbesserungsfall würde das System eine Visualisierung berechnen, die im Anschluss möglicherweise vollständig verworfen würde, aufgrund der mehrdeutigen oder erschwerten Interpretation des Dargestellten.

Es ist also die Fragestellung zu klären, was eine nutzergerechte AR Visualisierung ist, welche Kriterien sie erfüllt und welche Abhängigkeiten gelten sowie wie die automatisierte Erstellung einer nutzergerechten Visualisierung (Synthese) in eine prospektive Systementwicklung transferiert werden kann.

1.2 Lösungsansatz

Die Fragestellung beinhaltet zwei Teilaspekte. Der Lösungsansatz ist daher ebenso zweigeteilt (siehe Abb.1.1 linker Teil). In einem ersten Schritt wird dazu erörtert, was eine nutzergerechte AR Visualisierungen ist und worin ihre Spezifik besteht. Darauf aufbauend lehnt sich der vorgestellte Lösungsansatz stark an die Herangehensweisen der zweidimensionalen Informationsvisualisierung (InfoVis) an, die in Bottom-Up Verfahren Visualisierungsanpassungen ermöglichen. Dafür werden vorerst Visualisierungsparameter gesammelt (Farbigkeit der Abbildung, Größe, Animation, etc.) und deren beeinflussende Faktoren (Aufgaben- und Datentyp, Nutzerfähigkeiten, etc.). Richtlinien, die aus empirisch gewonnenen Antworten zu Fragestellungen der Abhängigkeiten für bestimmte Anwendungen stammen, können dann für die Anpassungen genutzt werden. Dieses Vorgehen dient als Vorbild für die Sammlung der AR Parameter und entsprechenden Richtlinien. Gemeinsam mit den InfoVis Richtlinien werden daraus Regelsätze gebildet für eine möglichst vollständige Wissensbasis der Visualisierungsanpassung.

Innerhalb der Richtliniensammlung für die Informationsvisualisierung und AR ergaben sich jedoch Widersprüchlichkeiten der Erkenntnisse und offene Fragen. Um diese aufzuklären, wurden zwei Experimente mit ähnlichen Fragestellungen für die herausgestellten Problembereiche durchgeführt (Kapitel 3). Mit ihrer Hilfe gelingt dann die Bildung der konsistenten Wissensbasis für die spätere Systementwicklung im Anwendungsfeld Smart

Kitchen inklusive der automatisierten Visualisierungssynthese.

Das letztlich zu entwickelnde System stellt den zweiten Teil des vorgestellten Lösungsweges dar. Die Automatisierung der AR Bilderstellung wird über ein neues Softwarekonzept bereit gestellt. Dazu wird ein Fuzzy Expertensystem mit einem bisher für die 2D InfoVis genutzten generischen Bildsyntheseverfahren, dem Visualization Exploration Model (VEM) kombiniert (Kapitel 4). Damit kann ein effektives Bottom-Up Verfahren der Bilderstellung umgesetzt werden, wie in der InfoVis angedacht. Zudem gelingt bereits durch die Architekturentscheidung der im Expertensystem offenen Regelsatzergänzung für Darstellungsverbesserungen die prospektiv nutzergerechte Gestaltung des Endsystems.

Prospektive Systementwicklungen bedeuten im Allgemeinen einen verringerten Aufwand der nutzergerechten Gestaltung und eine verbesserte Akzeptanz des Systems bereits während der Einführungsphasen [GHN+11]. Dieses Prinzip wird anschließend umgesetzt werden für eine exemplarische Systementwicklung (Kapitel 5). Ziel ist es, die nutzergerechte Bildgenierung in ein vollständiges Informationssystem eines Anwendungsfalles zu integrieren. Entsprechend wird dazu eine Architekturentscheidung getroffen und innerhalb eines Softwareentwicklungszyklus vorgestellt, die die Integration des erarbeiteten Softwarekonzeptes ermöglicht.

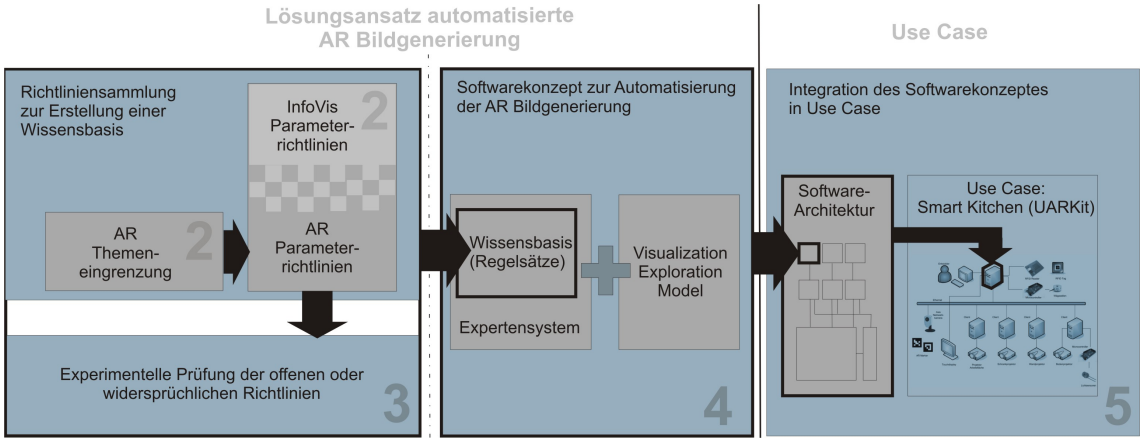


Abbildung 1.1: Übersicht des Lösungsansatzes und Kapitelzuordnung. Grau gekennzeichnet sind zusammengetragene, bereits etablierte Forschungsergebnisse und Herangehensweisen. Blau gekennzeichnet sind eigene Ergebnisse, bzw. eigenständig erarbeitete oder neu kombinierte Herangehensweisen.

Kapitel 2

Theorien der Informationsvisualisierung für Augmented Reality

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer automatisierten Visualisierungssynthese. Dazu erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung grundsätzlicher Wahrnehmungsprozesse und abgeleiteter Visualisierungsverfahren nach einem Top-Down, bzw. Bottom-Up Verfahren. Am Ende steht die begründete Entscheidung für eines der Verfahren und die Eingrenzung der AR Anzeigetechnologien und -anwendungsbereiche, für die die Visualisierungsoptimierung vorgenommen wird.

In einem nächsten Schritt orientiert sich der darauf basierende Lösungsansatz an den Systematisierungen der zweidimensionalen Informationsvisualisierung. Hier werden Visualisierungsparameter (Form, Farbe, Größe, etc.) als unterste Ebene einer Anpassungstaxonomie herausgearbeitet. Diese dienen als mögliche Freiheitsgrade der Darstellung, die beschränkt werden durch die Einflussfaktoren (Datentyp, Aufgabentyp, Kontext, etc.). Die Richtlinien für die Anpassung dieser Parameter werden in einer Aufstellung gesammelt.

An dieser Stelle ist zu klären, aus welchen Gründen die 2D Visualisierungsparameter nicht ausreichen, um auch AR Darstellungen zu optimieren. AR Visualisierungen besitzen zusätzliche Charakteristika der Darstellung, die mit zu ergänzenden spezifischen AR Visualisierungsparametern gefasst werden müssen. Im dritten Schritt der Lösung werden daher die spezifischen AR Parameter gesammelt, zugehörige Richtlinien der Darstellung diskutiert und auf ihre Konsistenz hin überprüft.

Der Abschnitt endet mit der Auflistung der durch die Richtliniensammlung entstandenen offenen Fragen bzw. Widersprüchlichkeiten. Ausgehend von diesen Lücken werden konkrete Fragestellungen für die experimentelle Überprüfung formuliert. Ziel ist die Erstellung einer konsistenten Wissensbasis für die Visualisierungssynthese.

2.1 Wahrnehmungsprozess und Visualisierungsverfahren

Die Idee der Visualisierungserstellung aufbauend auf den Basisparametern und dem iterativen Zusammensetzen der abhängigkeitsgesteuerten Metaebenen der Parameter ist entstanden durch die Erkenntnisse über die kognitiven Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen. Vor allem für den Forschungsgegenstand der Aufmerksamkeit und der Visuellen Suche wurden Standardwerke veröffentlicht, die den Ansatz unterstützen, dass in einer preattentiven Phase bereits Einzelparameter für eine Vorabeinschätzung oder Auswahl parallel verarbeitet werden. Dies entspricht einer Bottom-Up Strategie. So kann schneller entschieden werden, ob etwas (mehr) Aufmerksamkeit verlangt (Feature Integration Theory von Anne Treisman [TG80, Tre85, TG88]. Auf der anderen Seite existieren jedoch auch Theorien der Wahrnehmung visueller Objekte, die einem Top-Down Ansatz folgen. Als Beispiel sei hier die Guided Search Theory von Jeremy Wolfe [Wol94] genannt, die die zentrale Frage beinhaltet, ob eine visuelle Information einem gesuchten Objekt (als Ganzes oder einer Objekteigenschaft) entspricht.

Auch Kombinationen der Ansätze sind denkbar, etwa unter Einbeziehung des Aufgabentyps. Werden bspw. Objekte mit bestimmten visuellen Eigenschaften gesucht, wie einer speziellen Ausrichtung, so vermag die Wahrnehmung in einer Bottom-Up Herangehensweise nach Ausrichtungen zu suchen und dabei visuelle Kombinationen von Parametern oder Gesamteindrücke außer Acht zu lassen. Wird hingegen keine konkrete Suchaufgabe gestellt, so entscheiden auch Parameterkombinationen, also entsprechend herausstechende Repräsentanten, welche Objekte zuerst wahrgenommen werden. Erst eine detailliertere Verarbeitung macht dann die ursächlichen Parameter ausfindig. Diese Aufgabentrennung ist jedoch nicht immer so strikt möglich.

Die Unterscheidung der Wahrnehmungstheorien von visuellen Eindrücken ist gleichzeitig eine wichtige Unterscheidungsmöglichkeit für die Informationsvisualisierungsynthese. Werden Parameter einer Darstellung (wie Farbe oder Form) parallel und einzeln verarbeitet, werden also Objekte auf der Basis hervorstechender Einzelparameter detektiert, so muss eine Anpassung dieser Parameter für den dynamischen Charakter einer Echtzeitbilderstellung bzw. -interaktion gefunden werden. An dieser Stelle muss entsprechend Bottom-Up vorgegangen werden, um Einflüsse auf andere Parameter möglichst auszuschließen. Besitzen Wahrnehmungsprozesse jedoch ausschließlich eine Top-Down Natur, so müssen auch Visualisierungen immer unter Anpassung des Gesamteindrucks (also unter Anpassung aller Parameterkombinationen) erstellt werden. Dies würde den weit größeren Aufwand bedeuten.

In einer entsprechenden Arbeit von Kruijff, Swan und Feiner [KSF10] erfolgte eine Sammlung der relevanten Augmented Reality Darstellungseffekte, Wahrnehmungsspezifika und resultierende Gestaltungsrichtlinien. Dort werden in einem Top-Down Ansatz Anwen-

dungen, Displaytechnologien und weitere Perspektiven genutzt, um die jeweiligen Ursachen der Effekte zu bestimmen und zugehörige Richtlinien der AR Parameternutzung für diese Perspektive zu nennen. Der in der vorliegenden Arbeit umgesetzte Lösungsansatz der Bottom-Up Methode zur Anpassung von Visualisierungsparametern ist in dieser Art für Augmented Reality noch nicht angewandt worden. Dennoch bezeichnet dies einen durchaus üblichen Weg für 2D Visualisierungen, die hier als Vorbild dienen.

Das Top-Down Vorgehen hat den Vorteil der pragmatischen Herangehensweise auch für zukünftige Augmented Reality Systementwicklungen, die schneller nutzergerecht designed werden können. Der große Nachteil besteht jedoch in der fehlenden Alternativenbildung, falls der aktuelle und veränderliche Kontext eine andere Einschränkung bedeutet. Diese Veränderung der Visualisierung muss nachträglich und unter großem Aufwand erfolgen, etwa durch die Nutzung einer sehr großen Bilddatenbank oder wahlweise eines sehr komplexen Augmented Reality Browsersystems, das die Bildwauswahl übernimmt. Die eingeblendeten Bilder selbst sind so nicht modular aufgebaut und entsprechend nicht in Einzelparametern veränderlich. Diese Eigenschaft kann jedoch erzielt werden durch einen Bottom-Up Ansatz der Nutzung von Basisvisualisierungsparametern und einer geeigneten Bildsynthese, die Thema des Kapitels 4 ist.

Die Unterscheidung soll mit einem Beispiel aus dem Bereich der AR Head-Up Displays in Fahrzeugen (Windschutzscheibenprojektion) verdeutlicht werden. Auf dem Display soll eine Richtung eingeblendet werden. Während der Fahrt ändert sich jedoch aufgrund von Richtungswechseln auch der Hintergrund von homogenen Straßen hin zu einem heterogenen Kreuzungsgeschehen (siehe Abb. 2.1). Die Darstellung erfolgte bis zu diesem Zeitpunkt mittels grüner, dünner und voll gesättigter Linien.

Um die Richtung und alle weiteren Angaben auch vor dem heterogenen Hintergrund weiterhin optimal wahrnehmbar zu gestalten, müssen bei einem Top-Down Verfahren bspw. die Richtungsdarstellungen verändert werden hin zu mehr Homogenität als Kontrast zum Hintergrund. Die Anpassung der schlecht wahrnehmbaren Richtungsdarstellungen hat in einem Top-Down Verfahren in jedem Fall Auswirkungen auf alle verwendeten Parameter der Darstellung, da die Veränderung jeden Zweig der Darstellungszusammensetzung betrifft. Sie erfordern damit unter Umständen eine Neuorientierung des Fahrers, weil z.B, breitere, andersfarbige, transparente oder gar umpositionierte Richtungsangaben einblendet werden. In Abb. 2.1 wird hier aus der Linie ein umpositionierter, andersfarbiger und breiterer Pfeil. Die priorisierte Richtlinie, die zur Neudarstellung führte, betraf die nötige Kontrastbildung hin zu mehr Homogenität der Darstellung (Breite und Farbe). Dabei wurden jedoch auch andere Einflussfaktoren aktiviert, wie die nun fehlende Sichtbarkeit anderer Informationen. Diese sind berücksichtigt durch die hinzugefügte Transparenz und neue Position. Es wurde also mehr als ein Bilderstellungschritt benötigt, der jeweils neue Einflussfaktoren einbezieht.

Ein Bottom-Up Verfahren passt nacheinander einzelne Parameter an, je nach ausreichender Sichtbarkeitsherstellung, und bezieht dabei die jeweiligen Einflüsse der Sichtfeldumgebung erst auf höheren Ebenen ein. In einem einmaligen Testverfahren können entsprechende Zusammenhänge für diesen speziellen Anwendungsfall untersucht und dokumentiert werden inneralb eines Baumes. So ist es möglich, bspw. nur eine Verbreiterung der Weglinien (Formveränderung) vorzunehmen (zur Herstellung größerer Homogenität, also großem Kontrast zum heterogenen Hintergrund, siehe Abb. 2.1).

Wurde diese Formveränderung im vorgelagerten Versuch als mehrdeutig empfunden, so kann auf einer Meta-Ebene über den Basisparametern auch die Transparenzerhöhung[1] eingesetzt werden. An dieser Stelle ist die optimale Wahrnehmung nun wieder hergestellt und die Bildveränderung kann gestoppt werden. So ist nur in seltenen Fällen jeder Darstellungsparameter betroffen und Neuorientierungen des Fahrers sind kaum nötig.

Der Nachteil besteht entsprechend in der Aufstellung der Parameterabhängigkeiten für die jeweiligen Anwendung oder in der Entwicklung einer generischen Taxonomie mit der Fassung aller möglichen Beschaffenheiten der virtuellen und realen Information in den Tiefenebenen. Die vorliegende Arbeit stützt sich hier auf die Spezifikation des Anwendungsfalles in einem nachvollziehbaren Verfahren der Darstellungseingrenzung.

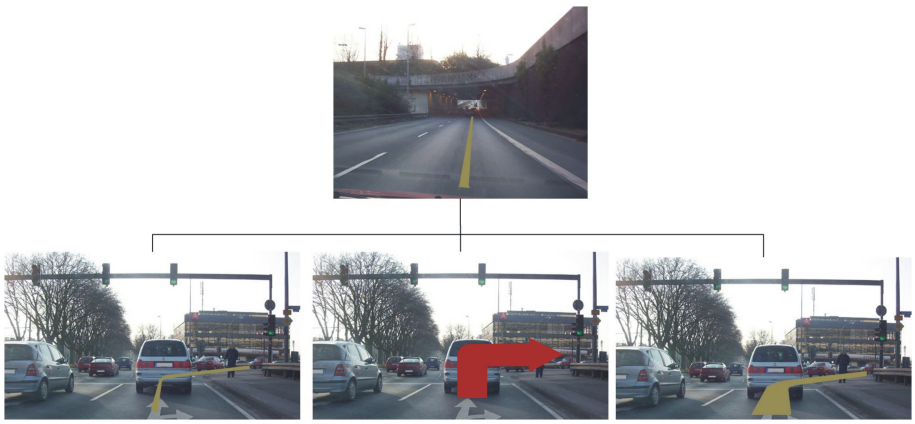


Abbildung 2.1: Bildhintergrundwechsel mit AR Richtungsanzeige und mögliche Einblendungsveränderungen. Links: ohne Optimierung, Mitte: Top-Down Ergebnis, Rechts: Bottom-Up Ergebnis.

Im Folgenden wird so aufgrund der vorteilhaften Visualisierungssyntheseeigenschaften ein Bottom-Up Ansatz verfolgt, der es ermöglicht, Einzelparameter hinsichtlich der zugehörigen Richtlinien anzupassen. An dieser Stelle wird so wahrscheinlichen Gesamtbildveränderungen vorgebeugt, die zwar auch Visualisierungsoptimierungen beinhalten, aber neben dem großen Speicher-, bzw. Selektionsaufwand u.U. auch neue Wahrnehmungsprobleme

[1] Transparenz, um die durch die größere Breite verdeckten Fahrbahnmarkierungen oder andere Objekte wieder sichtbar zu machen

nach sich ziehen.

Nicht für jede AR Anzeigetechnologie bzw. Anwendung ist jedoch eine Visualsierungsoptimierung sinnvoll. Im nächsten Abschnitt wird dazu eine Übersicht angeboten und die für diese Arbeit vorgenommenen Einschränkungen erklärt.

2.2 Augmented Reality – Ein Überblick

Augmented Reality ist eine Anzeigetechnologie und gleichzeitig ein Interaktionsparadigma. Die bis heute genutzte Definition wurde von Ronald Azuma entwickelt [Azu97, ABB+01]:

> *AR Darstellungen erfüllen die folgenden 3 Kriterien:*
>
> - *Reales wird mit Virtuellem kombiniert,*
> - *Interaktiv in Echtzeit und*
> - *Registriert in 3D.*

Die Definition schließt dabei jede Interaktionsmodalität ein. Sie ist nicht auf visuelle Augmentierungen beschränkt. Diese Arbeit fokussiert sich jedoch allein auf visuelle AR. Abbildung 2.2 zeigt dazu ein Beispiel einer Überblendung auf einen vorhandenen Marker (eindeutiges, schwarz-weißes Muster). AR ist dabei auch Bestandteil des Realitäts-, Vir-

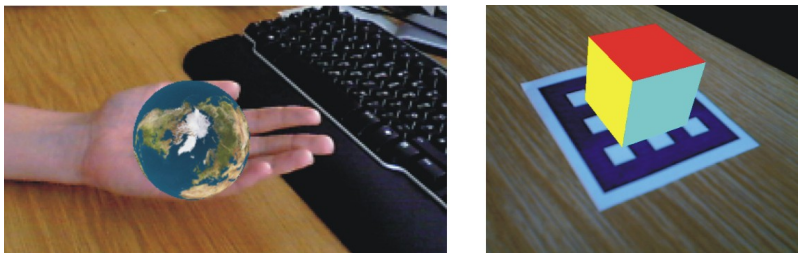


Abbildung 2.2: Eine Erdkugel bzw. Farbwürfel wird anhand eines für die Kamera sichtbaren Markers auf das Kamerabild geblendet.

tualitätskontinuums von Milgram et al. [MTUK95]. Dieses weist zwischen den Extrema Realität und Virtualität weitere Begrifflichkeiten für die Art und Menge der eingeblendeten Informationen (für jede mögliche Modalität) aus. Der Übergang zwischen den Extrema erfolgt fließend von wenigen zusätzlichen Informationen der Augmented Reality, über die bereits mehrheitlich virtuellen Informationen der Augmented Virtuality (erweiterte Virtualität), bis hin zur völligen virtuellen Welt, in der kein Sinneseindruck der realen Welt mehr für den Nutzer wahrnehmbar ist. Dieses Extrem kann mit heutiger Technik jedoch kaum erreicht werden. Abb.2.3 zeigt die jeweiligen Zuordnungen der Begriffe der Mixed Reality (übergeordnete Instanz für alle gemischten Realitäten).

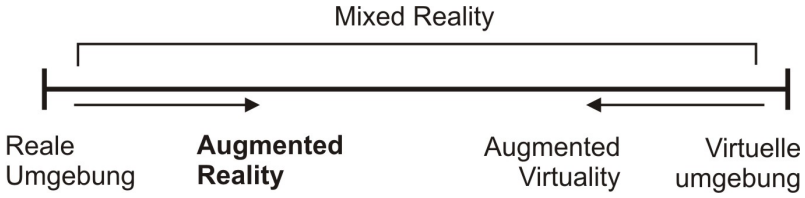


Abbildung 2.3: Realitäts-, Virtualitätskontinuum nach Milgram et al. [MTUK95, S. 283]

2.2.1 Definitionsdiskussion

Die Streubreite der möglichen (und stark zunehmenden) Anwendungen zeigt, dass Interpretationen und Ausdehnungen für AR auf Basis der Definition möglich und verbreitet sind. In manchen Anwendungen werden Einblendungen verwendet, die bspw. keine eindeutige örtliche Verhaftung (3D Registrierung) mit der sichtbaren Umwelt aufweisen. Oftmals ist es in diesem Zusammenhang schwierig, eine Trennlinie zu ziehen zwischen abstrakten Informationen, die kein physisches Pendant im Sichtfeld für eine genaue Registrierung haben, wie bspw. Richtungsinformationen, deren Ziel typischerweise außerhalb des Sichtfeldes liegt. Auf der anderen Seite stehen jedoch auch Einblendungen, die ebenso keinen physischen Bezug im Sichtfeld haben, bzw. keinen in der realen Welt allgemein und damit der Definition nicht mehr exakt entsprechen. So könnte bspw. auch ein Telefon mit einem darauf befindlichen Email-Funktionssymbol in des Sichtfeld des Nutzers gehalten werden. Wird dieses Bild abgefilmt für ein sogenanntes video-see-through System, so wäre es keine AR. Jedoch sind die Übergänge hier fließend und u.U. ist eine solche Kritik argumentativ nicht haltbar. Abb.2.4 zeigt ein solches Beispielbild, in das mögliche Zusatzapplikationen am Seitenrand eingeblendet werden, die virtuelle Funktionen (z.B. eines Telefons) meinen und damit keinen Raumbezug haben. An dieser Stelle ist die Zuordnung der Information nicht eindeutig möglich. Sie kann jedes Objekt oder keines des Sichtfeldes betreffen.

Die Schwierigkeit der Definitionsgenauigkeit besteht in der Anzahl der möglichen, resultierenden Darstellungen, wenn die Kriterienbedeutungen der Definition weiter ausgelegt werden. Die dadurch möglichen Visualisierungen von sehr abstrakten Informationen wie Funktionssymbolen benötigen bspw. keinen räumlichen Bezug mehr und würden zunehmend mehrdeutige Interpretationen des Gemeinten zulassen.

Für die AR Visualisierungsanpassung ist ein fixer theroretischer Rahmen nötig, der die möglichen Abhängigkeiten fasst und strukturiert, so dass herausgefiltert werden kann, welcher Anwendungszweck einer Anpassung bedarf und welcher nicht. Sind z.B. Funktionsicons ohne räumlichen Bezug als Anwendung möglich, so unterliegen sie bspw. auch der gewollten Bezugherstellung zwischen virtueller und realer Information. Diese ist jedoch mit den dafür evaluierten Mitteln der Visualisierungsanpassung nicht erreichbar, da sie dafür keinen Sinn macht und ihre Erkenntnisse für diesen Fall nicht nutzbar wären.

Die Fragestellung dieser Arbeit bezieht sich daher auf die sachliche und enge Aus-

Abbildung 2.4: Beispiel für AR Anwendung, bei der die AR Definition nicht vollends greift. Neben den nicht registrierten Funkionssymbolden ist bei den weiteren Informationen unklar, welches Restaurant gemeint ist. Die fehlende Verortung der Funktionsicons (wie E-Mail) lassen jedoch die Interpretation zu, dass sich auch die gezeigten Restaurants nicht zwingend am sichtbaren Platz befinden müssen, sondern vielleicht in einiger Entfernung liegen oder sich sogar in einer anderen Stadt befinden.

legung der Definitionskriterien, die real-virtuelle Kombinationen in einem Bild verlangt, Echtzeitinteraktion im Sinne der pro Frame neu berechneten Bildgenerierung und der dreidimensionalen Registrierung, die einen Ortsbezug der darzustellenden Information für das Sichtfeld bedeutet. Diese kann auch abstrakt sein, sollte aber zu der aktuellen Szenerie gehören und nicht an jeder anderen Stelle des Anwendungsverlaufes gleichartig eingeblendet werden können. Es sei jedoch gesagt, dass die resultierende Visualisierungsanpassung auch für solche Anwendungen Verbesserungen erbringen kann, denen eine weiter gefasste Auslegung der AR Definition zugrundeliegt wie beim gezeigten Beispiel. Dies ist gesondert zu prüfen.

2.2.2 Technische Klassifikation

Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit werden nun die fokussierten Technologien und Anwendungen eingegrenzt, um die Zielbereiche herauszuarbeiten, für die eine angepasste Informationsvisualisierung nötig ist und für welche nicht, bzw. um den Aufwand der letztlichen beispielhaften Systementwicklung zu beschränken. Die Displaytechnologieeinschränkung bedeutet jedoch keine Einschränkung der Gültigkeit der erzielten Gestaltungsrichtlinien. Sie sind generell gültig, da das Darstellungsprinzip der kombinierten realen und virtuellen Informationsanzeigen für alle Displays das gleiche ist.

Für eine AR Einblendung werden technisch lediglich ein gut aufgelöstes Kamerabild der Umgebung (die einen Marker enthält), ein AR Informationssystem und ein Ausgabemedium (zumeist ein Display oder Projektor) benötigt. Algorithmisch sind dabei Tracking

(Positionsbestimmung), Kalibrierung (Kameraeinstellungen), Authoring und Rendering (Erstellung der virtuellen Information)und Registrierung (Positionierung der virtuellen Information) zu lösen. AR Anwendungen unterscheiden sich äußerlich vor allem durch die verwendete Displayart und deren Fixierung. Möglich sind transparente Displays, die lediglich die Aufblendung der zusätzlichen virtuellen Information verlangt, sogenannte *optical-see-through Systeme*.

Eine weitere Variante sind *video-see-through Systeme*, die neben der virtuellen Information auch das Kamerabild anzeigen, da die Displayoberfläche als undurchlässige Projektionsebene dient. Der Nutzer kann die reale Umgebung durch dieses nicht sehen und benötigt ein Abbild. Eine letzte Möglichkeit sind auch *Projektionssysteme* (projective AR). Hier werden ein oder mehrere Projektoren genutzt, um Einblendungen direkt auf die (möglichst homogene) reale Oberfläche zu projezieren.

Unterschieden werden können die Systeme zusätzlich nach der Art ihrer Fixierung im Raum. *Head-mounted* (oder Kopf-basierte) Systeme sind am Kopf des Nutzers befestigt. Die Weltkoordinaten der dort angebrachten Kamera entsprechen so denen des Kopfes, bzw. der Position des Nutzers und sind damit hochdynamisch für jeden Frame (jedes Einzelbild der Kamera) neu zu erfassen, um Änderungen der Bildpositionierung zu bestimmen. Diese Systeme haben den Vorteil, dass das mögliche Anwendungssichtfeld für Überblendungen keiner Beschränkung unterliegt, es wächst mit der Bewegung des Nutzers und ist so theoretisch auf die gesamte sichtbare Welt erweiterbar. Head-mounted Systeme sind jedoch für Einzelnutzer entworfen. Jede weitere Person, die die gleichen Informationen erhalten soll, ist auf ein eigenes System angewiesen.

Aktuelle technische Trends beweisen jedoch, dass die zu tragende Hardware keine körperliche Belastung mehr darstellt, da sehr viele AR Anwendungen in Mobiltelefone, Tablet PCs oder andere mobile Endgeräte wie Navigationssysteme integriert werden können [SMK+09, VK10, Mob11, Lay11, Met11]. Diese bezeichnen die mobilen AR Systeme (mAR). Damit ist zwar das verfügbare Sichtfeld (Field of View, FOV) stark eingeschränkt gegenüber head-mounted Systemen, aber die generelle Mensch-Fixierung bleibt erhalten.

World-mounted Displays hingegen sind fixiert an einem (nicht beweglichen) Teil der Umgebung des Nutzers. Sie haben entsprechend eine fixe Position und die Weltkoordinaten müssen nach einmaliger Konfiguration selten neu eingestellt werden. Diese Systeme werden auch stationäre AR oder *spatial AR* (sAR) genannt [BR05]. Sie bieten den Vorteil der grundsätzlichen Eignung für mehrere Benutzer (mit Einschränkungen) und der technisch weniger aufwändigen Registrierung. Im Vordergrund steht hier jedoch vor allem die Berherrschbarkeit des Hintergrundes. Für die vorliegende Fragestellung liegt der Fokus auf diesen sAR Systemen, da sie den Aufwand der Installation angemessen halten und dennoch übertragbare Ergebnisse der Darstellungsoptimierung ermöglichen. Die Visualisierungsanpassung für stationäre AR schlägt zudem einen ersten Schritt für die bessere Nutzbarkeit

der AR Displaytechnologien im Allgemeinen vor.

Beispielanwendungen für projective bzw. stationäre AR sind zahlreich. Zum Einsatz kommen sowohl Projektoren, die (möglichst homogene) Oberflächen nutzen, um Zusatzinformationen aufzublenden (Bsp.: [Pin01, RED05, Wil05, BRML08]) als auch Displays [BR05] (Abb. 2.5 zeigt Beispiele, Abb. 2.6 stellt die zusammengefassten Technologieklassen dar).

Abbildung 2.5: Beispiele für AR Anzeigen. Links: Bild der Layar Software [Lay11] auf mobilem Endgerät, Mitte: projeziertes Bild auf transparentem sAR Display, Rechts: projezierte Höheninformationen auf realem Relief (sogenannte Tabletop-Anwendung).

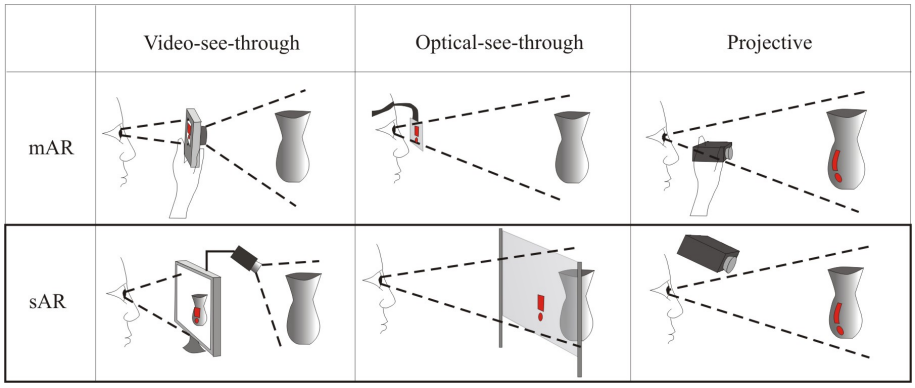


Abbildung 2.6: Die Einteilung der AR Systeme, mAR meint mobile AR, sAR meint stationäre AR. Der Rahmen zeigt die hier fokussierten Technologien.

Die weiterführende Frage, in welcher Form und an welcher Stelle eine virtuelle Information eingeblendet wird, ist gleichermaßen ungeklärt für mobile und stationäre AR Anzeigen und führt zu einer weiteren Klassifizierung und Eingrenzung der fokussierten Technologie. Für die AR Informationsvisualisierung auf stationären Anzeigen lassen sich drei Teilprobleme unterscheiden (die die Fragestellungen mobiler Systeme einschließen). Die Aufgabengebiete sind im Einzelnen:

- Welches der Projektionssysteme zeigt etwas wo im Raum an (*Screen Management*)?
- An welcher Stelle wird die Information auf der zur Verfügung stehenden Anzeigefläche platziert (*View Management*)?

- Welche Visualisierung sollte die Information haben (*Presentation Management*)?

Abbildung 2.7 zeigt diese drei Problemklassen anhand von Beispieldarstellungen.

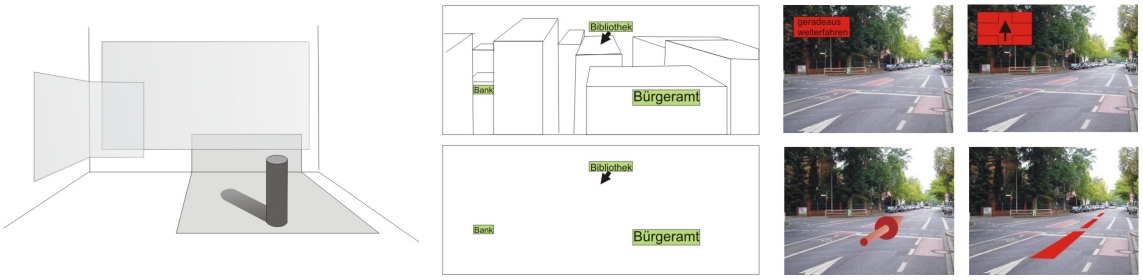


Abbildung 2.7: Problemklassen der AR Visualisierungsanpassung. Links: Screen Management mit physikalischer Verdeckung, Überlappungen und Lücken, Mitte: View Management mit Platzierung der virtuellen Information unter Überdeckungsvermeidung, Rechts: Presentation Management mit Auswahl der Darstellungsform einer Information.

Die Anzeigeverwaltung (Screen Management) auf mehreren möglichen Geräten fokussiert vor allem die technischen Probleme der Selektion, der Zusammenfügung und Informationsverteilung auf feststehenden Anzeigen. Dazu werden typischerweise Multi-Projektoren-Umgebungen und Verfahren des gezielten Benutzertrackings sowie des Kontextmanagements in Form von (Sensor-) Datenverarbeitung entwickelt und genutzt. Diese Ansätze beeinflussen die Informationsvisualisierung nicht direkt und stellen eigenständige und hochkomplexe Themenfelder dar, die hier nicht untersucht werden. Bspw. werden Überlappungen von Projektionsflächen mittels Texturmatching und Perspektivanpassung ausgeglichen [RWF98, RCWS98, RWC99, RBY+99, BWRR03]. Auch die Projektionsanpassung bei Schattenbildung durch physikalische Verdeckungen (wie dem Nutzer selbst) sind bereits entwickelt bzw. umgangen durch bewegliche Einzelprojektoren [JWS+01, Pin01, PLKP05, WDR10].

Die Anordnung der Information auf einer ausgewählten Projektionsfläche beinhaltet vor allem Fragestellungen des Sichtfeldmanagements (View Management). Es sollte kein reales Objekt mit der Einblendung überdeckt werden, ausgenommen das, auf das sich die Information bezieht [BFH01]. Zusätzlich wird die Größe der Einblendung beschränkt durch die Dimensionen der Anwendung. Informationen, die sich auf weit Entferntes in der Tiefenebene des Raumes beziehen (wie bspw. in 3D-Stadtansichten) sollten in ihren Ausmaßen angepasst werden. Für weiter entfernt liegende Informationen muss auch die Anzeige für das dort gemeinte Objekt verkleinert werden, aufgrund der Verkleinerung der Abmessung aller umliegenden Objekte (siehe Abb. 2.7 Mitte). Weitere Probleme ergeben sich dadurch, dass Nutzer die Tiefendistanz der eingeblendeten Information oftmals fehlerhaft einschätzen (Missakkomodation, [UMKT05, FAD02, CN06]) oder dadurch, dass relevante Informationen verdeckt werden durch annotierte Labels. In diesem Zusammenhang existieren

viele Lösungen für die technische Realisierung der automatischen Anzeigeanpassung unter Einbeziehung der Tiefenwahrnehmung [KT98, AF03].

Tiefenzuordnungen (depth perception) gelten auch für aktuelle AR Anwendungen als eine der noch immer schwierigen Darstellungsherausforderungen für eine nutzergerechte Gestaltung. Sie sind Bestandteil des View Management, da eingeblendete Informationen auch in räumlichen Ebenen umpositioniert werden können. Typischerweise wird hier auf gezielt gestaltete Okklusionen zurückgegriffen [SBHN06, KMS07]. Okklusionen gilt es hingegen zu vermeiden bei der Positionierung der AR Informationen im Bereich des View Managment für eine 2D Ebene, um relevante Informationen sichtbar und interpretierbar zu halten. Hier werden jedoch keine Aussagen über die noch als zusammengehörig wahrgenommenen Abstände zwischen den Informationsteilen getätigt [AF03, AHS05, LSC08].

Die Problemklasse des View Mangement ist sehr komplex und ein eigenständiges Thema, das in der vorliegenden Arbeit nicht explizit fokussiert wird. In diesem Bereich geht es vornehmlich um die Detektion geeigneter Einblendungsbereiche, Positionierungen und Größenfestlegungen. Einflüsse der Thematik sind dennoch nicht zu vernachlässigen, da Visualisierungsanpassungen auch die Position und Größe einer Darstellung verändern können und Verdeckungen relevanter Informationen erzeugen. An dieser Stelle wird entsprechend für das weitere Vorgehen die Prämisse der Vermeidung von Informationsverdeckungen generell festgelegt, ohne eine explizite methodische Behandlung des dennoch eingetretenen Falles zu verlangen.

Die Form der angezeigten Information (Presentation Management), die Frage also wie sich eine Information bestmöglich veranschaulichen lässt, kann sich an den nutzergerechten 2D Informationsvisualisierungsansätzen orientieren. Es gibt viele Untersuchungen, die sich dort bereits mit sehr ähnlichen Fragestellungen für gängige (Desktop-)Displays befassen und diese in Modelle fassen [Shn96, CM97a, CMS99, Spe00, PHP03, War04, Bur05, ADN08]. Solche Modelle sind jedoch nur bedingt nutzbar für AR und müssen aufgrund bspw. der zusätzlichen Option der 3D-Darstellung oder für die variierenden Verhältnisse der realen und virtuellen Information angepasst und erweitert werden.

2.2.3 Anwendungsklassifikation

AR Anwendungen können basierend auf dem Zweck, dem sie dienen, in vier Klassen eingeteilt werden. Ziel dieser Einteilung ist die Fokussierung auf Bereiche der nötigen Darstellungsanpassungen für AR, da nicht jede AR Anzeige einer Visualisierungspassung bedarf. Dubois und Nigay [DN00] haben dazu eine Übersicht der Klassifikation nach der Anwendungsmotivation und entsprechend resultierenden Einblendungen vorgenommen (siehe Tab. 2.1).

Abbildungen mit dem Zweck einer Ausführung (gemeint sind Funktionsinhalte, linke Tabellenspalte) meinen vor allem virtuelle *Funktionen*, die zur realen Welt hinzugefügt

Augmentierungsmotiv Aufgabenfokus	Ausführung	Evaluation
Virtuelles Objekt	Manipulation durch die Nutzung eines realen Objektes, das mit virtuellen Funtkionen erweitert wurde (mediablocks [UIG98])	Realistische Grafiken
Reales Objekt	Manipulation durch virtuelle Funktionen auf realem Objekt; bspw. virtuelles Cut & Paste von virtuellem Text auf realem Papier	Virtuelle Information über reales Objekt

Tabelle 2.1: Einteilung der AR Zieldarstellungen nach [DN00]. Grau unterlegt ist das hier fokussierte Anwendungsgebiet.

werden. Dabei ist es nicht relevant, ob das Bezugsobjekt real oder virtuell ist. Die virtuellen Funtkionen haben keinen festgelegten Bezug zu einem realen Pendant, dieses ist austauschbar. Ist ein reales Objekt der Bezug (wie im Bsp. der reale Text), aber auch im anderen Fall, so führt der Nutzer die virtuell augmentierte Funktion im Virtuellen aus. Die Visualisierung muss entsprechend das Ziel verfolgen, dem Nutzer diese virtuelle Handlung zu erleichtern. Das Bezugsobjekt und alle zugehörigen Informationen liegen in einem Bereich, der sehr viele Freiheitsgrade der Darstellung hat, weil es sich um abtrakte Daten einer virtuellen Funktion handelt. Am Beispiel des virtuellen Copy & Paste des realen Textes, muss die Visualisierung der AR Funktion „Copy & Paste“ verständliche Icons entwerfen, die die Menge und den Zielort des Text einfügen und die Bewegung dorthin verdeutlicht, bspw. indem sie sich absichtlich vom realen Textobjekt auf dem Schreibtisch räumlich abhebt, also keinerlei Kolokation[2] unterstützt oder eine verständliche Bezugsherstellung. Diese Art der Visualisierung ist für die vorliegende Fragestellung daher nicht gemeint.

Etwas zu Evaluationszwecken einzublenden meint hingegen, eine virtuelle Information zum Ist-Zustand zu liefern. Im Unterschied zur Ausführungsseite oder Funktionsseite ist keine Handlung angeschlossen, die den Ist-Zustand in einen Soll-Zustand überführt. Es wird lediglich eine Information, die (auf normalem Wege) nicht ersichtlich ist, sichtbar gemacht. Eine Beispielanwendung für die Evaluationsüberblendung eines virtuellen Objektes (erste Zeile oben in der Tabelle) ist die Werbeapplikation aus dem Uhrenhaus Tissot [Tis11]. Mit einem ausgedruckten Marker auf den Arm geklebt und einer Webcam kann daheim jedes

[2] Räumliche Verbundenheit.

Uhrenmodell „anprobiert“ werden. Die Uhr ist vorher nicht vorhanden und wird in Gänze virtuell eingeblendet. Entsprechend ist die Zielvorgabe für diese Einblendungen eine so realistische Darstellung wie möglich. Auch für diese Art der Visualisierung ist daher keine Anpassung im Sinne der Fragestellung der vorliegenden Arbeit notwendig.

Die Evaluationseinblendung für reale Objekte hingegen macht ebenso nicht sichtbare Informationen per Augmentierung zugänglich, aber sie benötigt immer ein reales Bezugsobjekt, dass materiell vorhanden oder ein abstraktes Konstrukt des Nutzersichtfeldes sein kann (bspw. ein Status oder eine Richtung). Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf diese Einblendungsart.

Zusammenfassend liegt der Fokus dieser Arbeit nach den genannten Einschränkungen entsprechend auf der nutzerzentrierten Anpassung des AR Presentation Managements (als Teil der Visualisierung) für stationäre AR Anzeigen, die virtuelle Erweiterungen für reale Objekte anbieten. Für die Automatisierung dieser Bildanpassung wird ein Bottom-Up Verfahren angestrebt. Die Erkenntnisse sind dabei jedoch nicht auf die Anwendung im stationären Bereich beschränkt. Die Eingrenzung auf stationäre Displaytechnologien erfolgt allein als Aufwandsbegrenzung für die exemplarische Systementwicklung. Die Fragestellungen hinsichtlich der Visualisierungsparameter werden ohne Konzentration auf Projektions- oder andere stationäre AR Displays untersucht. Einblendungen nach den hier erhaltenen Gestaltungsrichtlinien sind auch auf mobilen Endgeräten gültig aufgrund des gleichen Darstellungsprinzips von kombinierten realen und virtuellen Informationsteilen.

Im Folgenden werden nun 2D Informations- und Knowledge Visualisierung Herangehensweisen und entsprechende Parameter diskutiert. Die Erkenntnisse sind sehr relevant für AR, da auch hier zweidimensionale Displays, bzw. Pseudo-3D (auch 2,5 D) verwendet werden.

2.3 Informationsvisualisierung und Visualisierungsparameter

In diesem Unterkapitel und dem Folgenden werden nun die Parameter der Visualisierung (2D und AR) und deren Darstellungsrichtlinien für eine Optimierung zusammengetragen. Entsprechende Richtlinien wurden in der InfoVis auf Basis der Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungstheorien für die menschliche Informationsverarbeitung erstellt und gelten somit für jede Form der Darstellung in einem Mensch-Maschine-System. Die gemachten Einschränkungen der AR Technologien und Anwendungsfelder für die spätere Umsetzung der automatisierten Visualisierungsanpassung sind an dieser Stelle vorerst nicht von Bedeutung. Sie werden erst für die Implementierung mit den Richtlinien zusammengefügt (vgl. Kap.5).

2.3.1 Informationsvisualisierung

Die Informationsvisualisierung ist eine der Anwendungen des großen Forschungsspektrums der Visualisierung. Dabei bezeichnet die Visualisierung im Allgemeinen eine Technik des Erstellens visueller Repräsentationen für Daten [McC88, RF94]. Weitere Anwendungen spezifizieren die Herkunft der Daten oder den Zweck der Visualisierung. *Scientific Visualization* bezeichnet bspw. die Visualisierung für experimentell oder auf Simulationsbasis erhaltene Daten [BCA92]. *Educational Visualization* dient der Bilderstellung für Lehrzwecke. Die *Informationsvisualisierung* (InfoVis) hingegen veranschaulicht verschiedartige (vor allem abstrakte) Daten ohne eine spezielle Zielgruppenorientierung und ist damit die größtmögliche Visualisierungsanwendung.

Die Definition für Informationsvisualisierung lautet entsprechend im internationalen Konsens:

> *„The use of computer-supported, interactive, visual representations of abstract data to amplify cognition.“* [CMS99, S. 7]

Die Visualisierung erfolgt demnach (mindestens zum Teil) durch computergenerierte Berechnungen, ist interaktiv veränderbar und stellt visuelle Repräsentationen von abstrakten Daten dar, um insgesamt die Kognitionsleistung zu verbessern.

Für die frühe Entwicklung und Nutzeranpassung papierbasierter Visualisierungen stehen vor allem die Namen Bertin [Ber83] und Tufte [Tuf90, Tuf97, Tuf01]. Nach dem Aufkommen der Personal Computer wurde die Informationsvisualisierung jedoch an die Rechnerentwicklung geknüpft und darauf basierend auch die Definition erweitert um die Bedingung der computer-generierten Visualisierungen [CMS99, Che99, Spe00, War04]. Gemein ist beiden Entwicklungsschritten jedoch die Begrenzung auf zweidimensionale, bzw. 2,5 D Darstellungen (sogenanntes Pseudo 3D) [3].

Abb. 2.8 zeigt typische Informationsvisualisierungen unterschiedlicher Datensätze.

Die Informationsvisualisierung unterliegt weiteren praktischen Einschränkungen. Zum Einen werden, wie bereits beschrieben, nicht durch einen Computer generierte, visuelle Repräsentationen ausgeschlossen ebenso wie Wissenstypen, die formal in keiner Datenbank gefasst werden können (betrifft zumeist semantische Zusammenhänge). Zudem wurde und wird der Betrachter der erstellten Grafik selten in die vorherigen Erstellungen oder als Verifikationsinstanz einbezogen [Bur05].

Nicht zuletzt um diese Einschränkungen aufzuheben, begann vor einigen Jahren die Abspaltung eines zusätzlichen Visualisierungsanwendungsgebietes, der *Knowledge Visualization* (KnowVis). Im Gegensatz zur Informationsvisualisierung zielt die KnowVis darauf

[3] Pseudo 3D Darstellungen sind Einzelbilder von verschiedenen Perspektiven auf ein und dasselbe Objekt mit vorgetäuschter Räumlichkeit bzw. mit Tiefenwirkung. Diese werden dargestellt in 2D, etwa auf 2D Bildschirmen. So entsteht ein 3D Eindruck, der durch 2D erzeugt wird. Für ein Bsp. siehe Abb. 2.10

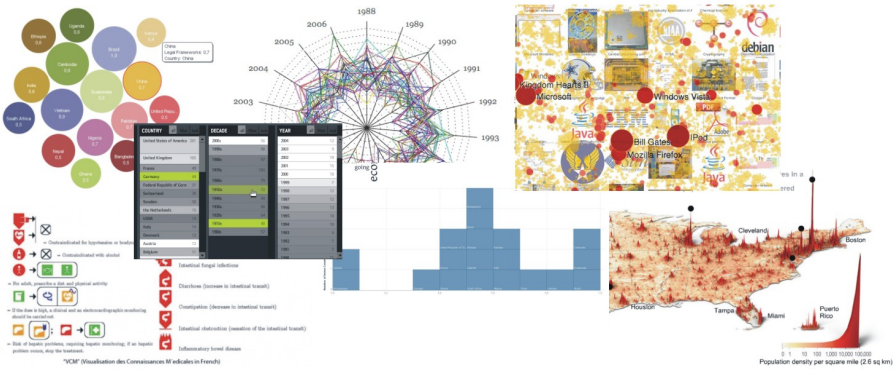


Abbildung 2.8: Beispiele für Informations- bzw. Knowledge Visualisierungen verschiedener Datensätze z.T erstellt mit der IBM Anwendung „Many Eyes“ [IBM11]. Medizinische Symbollegende links unten aus [LDBH+07]

ab, eine oder mehrere visuelle Repräsentationen zu erstellen, um den Transfer von Wissen zwischen (mind. 2) Menschen zu verbessern oder um die Bildung von Wissen in Gruppen zu erleichtern [Bur05]. Damit hat diese Form der Visualisierung stärker den Nutzer im Fokus.

Jedoch sind diese Anwendungsgebiete der Visualisierung nicht scharf voneinander getrennt und gehen teilweise ineinander über. Die theoretischen Grundlagen und Methoden haben die gleiche Basis in beiden Gebieten. Die Visualisierung für Augmented Reality ist hier zwischen den Definitionen der Informationsvisualisierung und der Knowledge Visualization einzuordnen. Der AR Fokus liegt stark auf dem Verständnis und der Interaktion zwischen Nutzer und Maschine. Zudem wird Wissen vermittelt, das auch semantischen Charakter besitzen kann, bzw. selten eine große und abtrakte, formalisierte Datenmenge zur Basis hat. Dennoch ist nicht unbedingt die unmittelbare Kommunikationsverbesserung zwischen (zwei) Menschen gemeint, wenngleich sie der Zweck sein kann.

Eine Einordnung der AR Informationsvisualisierung dient so der vereinfachten Anwendung der etablierten 2D Methoden beider Anwendungen. Zudem hilft sie bei der Strukturierung der AR Wahrnehmungsspezifika und zugehöriger Richtlinienbildung aufgrund der Nutzbarkeit der jeweiligen Taxonomien. Das Framework der Knowledge Visualization beinhaltet dabei alle Perspektiven, deren Betrachtung bei der Erstellung der visuellen Repräsentation notwendig ist und gleichzeitig die Input-Daten strukturiert Tab. 2.2. Mit der Perspektive „Funktion“ werden Abhängigkeiten gefasst, die vornehmlich vom übermittelnden Nutzer (der Quelle) stammen. Der „Wissenstyp“ beschreibt im weitesten Sinne Daten(mengen), deren Beschreibung nicht unbedingt formalisiert sein muss. Die Perspektive des „Rezipienten“ beinhaltet wiederum Nutzeranpassungen, die ebenso Abhängigkeiten formulieren, diese aber ausgehend vom Adressaten und damit dem wahrnehmenden Nutzer oder der Nutzergruppe. Der „Visualisierungstyp“ klassifiziert nun die verwendeten Mittel

Funktion	Wissenstyp	Rezipient	Visualisierungstyp
Koordination	Wissen-Was	Individuell	Skizze
Aufmerksamkeit	Wissen-Wie	Gruppe	Diagramm
Erinnerung	Wissen-Warum	Organisation	Bild
Motivation	Wissen-Wo	Netzwerk	Karte
Elaboration	Wissen-Wer		Objekt
Neue Details			Interaktive Visualisierung
			Geschichte

Tabelle 2.2: Die vier Perspektiven des Knowledge Visualization Framework [Bur05].

und Methoden der visuellen Repräsentation. Dabei werden jedoch keine Details der verwendeten Bildvariablen oder Visualisierungsparameter ersichtlich.

In der Informationsvisualisierung existieren ebensolche Frameworks bzw. Taxonomien, um die Abhängigkeiten der Visualisierung zu verknüpfen mit den Freiheitsgraden der möglichen Darstellung. Dabei werden detaillierte Unterteilungen der relevanten Einflussparameter und der Visualisierungsparameter vorgenommen (siehe Abb. 2.9).

Die gewählte Taxonomie enthält klassifizierte Einflussparameter (Datentyp, Aufgabentyp, etc.), die den Perspektiven der *Quelle* und des *Rezipienten* im Framework der KnowVis entsprechen. Sie werden dabei jedoch noch genauer ausgeführt bzw. in anderer Weise sortiert. Bei genauerer Betrachtung können die Perspektiven der KnowVis jedoch nicht alle gleichzeitig eingenommen werden und machen somit in der Bilderstellungsphase (Visualisierungssynthese) nicht alle Abhängigkeiten oder Dartellungsmöglichkeiten formal ausschöpfbar. Bspw. kann für die Visualisierung des Maisertrags des US Bundesstaates Arizona auf einer geografischen Karte die Perspektive der Funktion (der Quelle) eingenommen werden. Dort wird festgelegt, dass die visuelle Repräsentation der Daten dem Vergleich mit den anderen Bundesstaaten dient. Es geht also mittelbar um die Auffälligkeit der Darstellung. Mit der groben Einordnung der Rezipienten als Organisationen und der Verwendung von Diagrammen bleiben jedoch viele Fragen ungeklärt. Wird die Darstellung hinsichtlich der Verständlichkeit und amtlichen Konsistenz optimiert, so kann der einzelne Nutzer kaum mehr in Betracht gezogen werden, damit auch nicht der verwendete Bildschirm mit seinen Eigenschaften oder die Fähigkeiten des Nutzers sowie seine elementare Aufgabe. Innerhalb der InfoVis sind bspw. jedoch Motivationen oder Zielgruppenhierarchien kaum fassbar, da auf der verwendeten unteren Ebene eher syntaktische, nicht aber semantische Zusammenhänge integriert werden können.

Für die Fragestellung, wie eine nutzerangepasste AR Visualisierung in eine (generische) automatisierte Visualisierungssynthese überführt werden kann, müssen beide Taxonomieansätze in Kombination einbezogen werden. Die Ebenen der KnowVis sind geeignet, den

Zweck und die Datengrundlage der AR Darstellungen zu fassen. In der vorliegenden Arbeit wird entsprechend weniger auf die in den InfoVis Taxonomien verwendeten Einflussparameter des Datentyps eingegangen. Der Detailgrad der Informationsvisualisierung ermöglicht jedoch eine genauere Betrachtung der Bildparameter und macht somit den Hauptteil des hier verwendeten Lösungsansatzes aus. Dazu werden Meta-Ebenen genutzt, die Kombinationen der Basisparameter zu neuen Parametern erlauben. Im Folgenden werden dazu die entsprechenden Visualisierungsparameter zusammengefasst und kurz erläutert, um deren Nutzbarkeit für AR zu betrachten. Zusätzlich werden relevante InfoVis Einflussparameter aufgeführt.

2.3.2 Parameter der Informationsvisualisierung

Das Basiswerk der Unterscheidung und Nutzbarmachung der heutigen Visualisierungsparameter ist die „Semiology of Graphics“ von Jacques Bertin [Ber83] (Zeichentheorie für Grafiken). Er führt die sogenannten graphischen Variablen ein, die nahezu unverändert in die Taxonomien der InfoVis als Visualisierungsparameter übernommen wurden. Dazu zählen: Ebene, Größe, Helligkeit, Muster, Farbe, Richtung und Form. Diese Basisparameter werden in einer Hierarchie geordnet u.a. durch Hake, Grünreich [HG00]. Die grafischen Variablen bilden die unterste Ebene der separaten Nutzung. Darüber befindet sich die Ebene der „zusammengesetzten Zeichen“ (Diagramme, Schrift, etc.) und darüber die Ebene des Bezuges sowohl im Raum als auch im Informationsgefüge (Proportionen, Wertigkeiten, etc.).

Systematisierungen für InfoVis Parameter, sowohl Parameter der Abhängigkeiten als auch der Visualisierung selbst sind typischerweise auf Basis der Bertin'schen grafischen Variablen entwickelt und fassen mehr oder weniger ähnliche Abhängigkeiten. Gemein ist allen solchen Taxonomien die fehlende Hierarchie und Wertigkeit der einzelnen Faktoren der Abhängigkeit und der jeweiligen Relationen [WL90, CM97b, War01, ADN08, Suo09]. Exemplarisch wird für diese Arbeit die Übersicht von Pfitzner, Hobbs und Powers herangezogen (siehe Abb. 2.9,[PHP03]). Sie erklärt sehr ausführlich die Visualisierungsparameter und Einflussparameter modellhaft in ihren Zusammenhängen.

Die Parameter Größe, Ebene, Farbe, Form und Orientierung (Richtung) sind unverändert übernommen. Das Muster geht hier in das Merkmal Textur über, die im Sinne der grafischen 2D Darstellung der Oberflächenbeschaffenheit gemeint ist nicht jedoch im dynamischen Sinne des (wiederholten) Verhaltens einer möglichen Visualisierung. Durch die Bedeutungsvielfalt der Variable „Value“ (Helligkeit bei Bertin, jedwedes Unterscheidungskriterium zum Hervorheben der Information bei Pfitzner) ist dieser Parameter schwierig zu handhaben und wird in „Wertigkeit“ überführt für die weiteren Betrachtungen (entspricht am ehesten der Pfitzner'schen Erläuterung des Parameters).

Pfitzners Visualisierungsparameter sind also die Spektren „Text-Grafik“ (jede Form

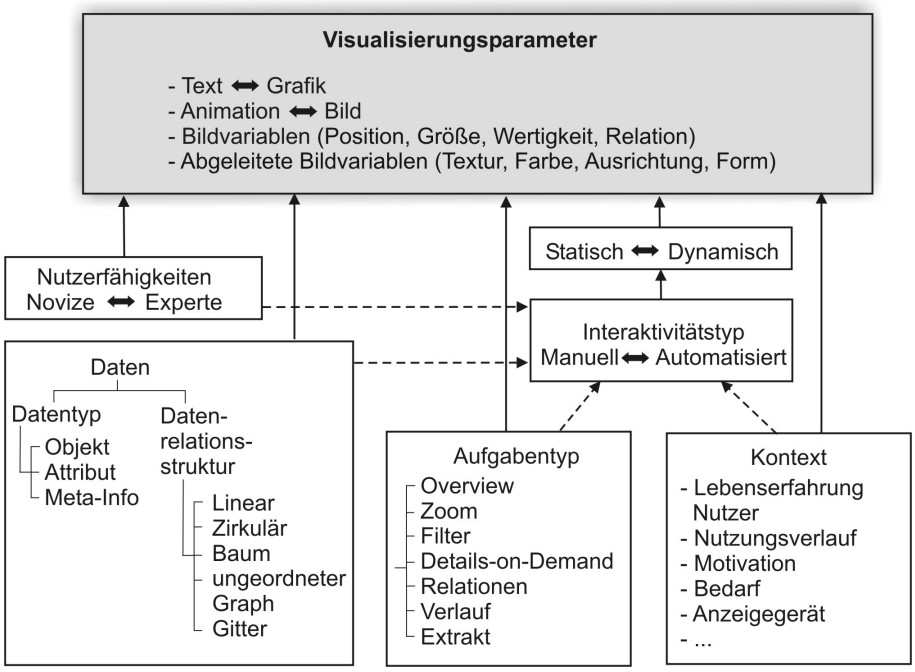


Abbildung 2.9: Pfitzners Taxonomie der 2D Visualisierungsparameter.

möglich von reinem Text bis hin zu ausschließlich bildhafter Darstellung) und „statisches Bild-Animation“ (jede Form zwischen rein statischer Darstellung bis hin zu vollständig animiert), sowie die Bildvariablen Flächenposition, Größe, Wertigkeit, Relation und die abgeleiteten Bildvariablen Textur, Farbe, Orientierung und Kontur/Form.

Im Folgenden werden die einzelnen Parameter erklärt und zueinander in Beziehung gesetzt. Anschließend wird diskutiert, warum die neuen Parameter gemeinsam mit den Etablierten genutzt werden können, um AR-Darstellungen zu optimieren. Diese Erörterung soll dazu dienen, eine Wissensbasis für die Optimierung von stationären AR-Anzeigen zu erstellen und diese zur Entwicklung einer entsprechenden Softwarekomponente zu nutzen.

Visualisierungsparameter

Text-Grafik. Dieses Spektrum bezeichnet die mögliche Darstellung einer Information einerseits als Text (in Schriftform), als hybride Variante (Kombination aus textuellen und grafischen Mitteln, wobei die Anteile Text und Grafik gemäß des Spektrums variabel sind), hin zur rein grafischen Informationsdarstellung.

Bild-Animation. Dieses Spektrum beschreibt die Möglichkeiten zwischen der animierten (bewegten) Darstellung einer Information, einer Teilanimation bis hin zur komplett statischen Darstellung in Form eines Einzelbildes.

Position. Dieser Parameter fasst die mögliche Position einer Information auf der Gesamtfläche der Anzeige (x,y-Koordinaten).

Größe. Dieser Parameter gilt für die mögliche Größe der Darstellung der Information.
Wertigkeit (Value). Dieser Parameter umfasst jeden Indikator einer Darstellung, der einen Wertigkeitsunterschied zu anderen Informationskomponenten transportiert. Bertin hatte ihn ursprünglich als Helligkeit deklariert. Diese ist jedoch in der möglichen Farbe als separatem Parameter gefasst, da diese als Zusammensetzung des Farbwertes (Hue), der Sättigung (Saturation) und eben der Helligkeit (Value) beschrieben oder kodiert werden kann. In verschiedenen Studien zur Informationsvisualisierung sind entsprechend auch Erkenntnisse der allein auf der Sättigungsvariation basierenden Effekte vorhanden. Diese werden ebenso unter dem Parameter Farbe zusammengefasst. Eine Gleichbehandlung ist also konsequent im Rahmen des Modells nach Pfitzner.
Relation. Der Parameter beschreibt die relative Position einer Informationskomponente zu den/zu einer Anderen. (x, y Koordinatendifferenz)
Textur. Der Parameter beschreibt die verwendete Oberflächenstruktur /Textur.
Farbe. Der Parameter beschreibt die mögliche Farbe der Darstellung.
Orientierung/ Ausrichtung. Dieser Parameter beschreibt die winkelabhängige Ausrichtung der Gesamtkomponente in der Darstellung.
Konturform. Dieser Parameter beschreibt den möglichen Umriss oder die Form der Informationskomponente. Sie wird zumeist mit Textur dargestellt, obwohl diese nicht Bestandteil des gemeinten Parameters ist.

Einflussparameter
Daten. Daten sind die Grundlage der Visualisierung. Typischerweise sind dies in der InfoVis große Mengen abstrakter (da durch compter-gestützte Algorithmen erhaltene) Daten, können hier aber ebenso Zusatzinformationen in geringerer Menge zu einem physisch vorhandenen Objekt sein (Integration der KnowVis). Die Unterscheidung erfolgt daher lediglich im Sinne der einzuordnenden Datentypen und Datenrelationen. Objekt- und Attributdaten sind Low-Level Informationen über das Objekt selbst, wie bspw. seine vorhandene Anzahl oder die Beschreibung seiner maximalen Ausdehnung etc. Meta-Informationen bezeichnen hier High-Level-Datentypen, die sich nur aus der Verarbeitung oder Transformation der Low-Level-Daten ergeben (z.B. ergeben die Anzahl und sehr großen maximalen Ausmaße für eine Fischart einen großen Platzbedarf bspw. für ein Auffangbecken). Datenrelationen unterteilen sich wiederum in verschiedene Typen. Die Relationen der Daten untereinander können linear, kreisförmig, baumartig, etc. sein im Sinne der Hierarchie ihrer Nutzbarkeit. Bspw. sind bestimmte Meta-Informationen erst berechenbar, wenn andere Meta-Informationen bereits existieren.
Aufgabentypen. Diese orientieren sich an den etablierten Aufgabentypen, die durch Shneiderman zusammengetragen und erklärt wurden [Shn96, Shn98]. Sie werden auch das *„visual*

information seeking mantra“ genannt [CC05].

Kontext. Die Abhängigkeiten vom Kontext hängen wiederum stark vom Anwendungsfeld der Visualisierung ab und sind unbegrenzt erweiterbar. Interessant sind an dieser Stelle vor allem die Displayabhängigkeiten, die im Zusammenhang mit der Klärung der für AR spezifischen Abhängigkeiten in Kap. 2.4.1 ausgeführt werden.

Nutzerfähigkeiten. Die Nutzerfähigkeiten können angesiedelt werden auf einem Punkt im Spektrum zwischen einem Nutzernovizen und einem Experten für die jeweiligen Anwendung. Diese Abhängigkeit kann auch dem Einflussparameter Kontext zugeordnet werden.

Interaktivitätstyp. Der Interaktivitätstyp richtet sich nach dem vorhandenen oder angestrebten Automatisierungsgrad der Anwendung. Er reicht im Spektrum von einer vollständig manuellen Bedienung bis zur überwachenden Funktion des Nutzers bei einer vollständigen Automatisierung. Dazwischen ergeben sich weitere fixe Typen, deren Zuordnung nach verschiedenen Kriterien erfolgt [PSW00, Wan05]. Diese etablierten Taxonomien wurden für das Modell übernommen. Ob die Möglichkeit der Interaktion enthalten ist, wird durch die zusätzliche Einschränkung der statischen und dynamischen Zuordnung der Interaktion gefasst. Statisch bedeutet keinerlei Interaktion, die entsprechend die Überwacherfunktion des Nutzers in einem voll automatisierten Szenario meint.

Für die genannten Einfluss- und Visualisierungsparameter existieren mannigfaltige Gestaltungsrichtlinien für eine unüberschaubar große Menge an Anwendungsfeldern. Diese sind aus diversen Studien, Experimenten und Befragungen hervor gegangen. Nicht jede der Richtlinien ist jedoch von so großer Bedeutung, dass deren Anwendung immer auch spürbare Effekte der Verständnisverbesserung bewirken. Beispielsweise ist die Richtlinie, eher grafische Visualisierungen anstelle von Textuellen einzusetzen, nicht immer anwendbar für AR. Ein heterogener Hintergrund kann dazu führen, dass eine ebenso heterogene Grafikumsetzung einer Information destruktiv wirkt, wohingegen ein homogenerer Text (wenn kurz) besser wahrnehmbar gewesen wäre. Für die Fragestellung dieser Arbeit sind die transferierbaren Richtlinien daher vorerst auf die Wichtigsten und uneingeschränkt Nutzbaren zu begrenzen.

Die für AR in dieser Arbeit übernommenen Richtlinien der 2D Informationsdarstellung entstammen der allgemein gültigen DIN Norm 9241 - Teil 12 [DIN98] und werden hier kurz exemplarisch zusammengefasst. Sie folgen der Definition der Gebrauchstauglichkeit und müssen dem Benutzer ermöglichen, die gestellte Aufgabe per Visualisierung effizient, effektiv und mit Zufriedenheit auszuführen. Diese Aussage entspricht auch den Zielvorgaben des Forschungsgegenstandes Informationsvisualisierung selbst [SM99]. Alle weiteren Teile der Norm empfehlen zusätzlich technische Bedingungen der Darstellung, Arbeitsplatzvorgaben und Richtlinien der Gestaltung der virtuellen Interaktion mit Programmen

auf dem Arbeitsplatzrechner (Teile 3, 8, 11, 14, 15 und 17). Diese werden für das entwickelte System der vorliegenden Arbeit außer Acht gelassen.

Richtlinien der 2D Informationsdarstellungen.

- Die Informationsdarstellung selbst muss klar, unterscheidbar, kompakt, konsistent, erkennbar, lesbar und verständlich sein (oberste Richtlinie).
- Die Positionierung muss erwartungsgemäß und konsistent erfolgen.
- Die Nutzung von Fenstern ist sinnvoll bei bestimmten Bedingungen wie paralleler Bearbeitung zweier oder mehrerer Prozesse, etc. Die Anordnung folgt weiteren Vorgaben je nach Bestimmung.
- Informationsüberfüllung (hohe Dichte) ist zu vermeiden. Gruppierungen sind jedoch sinnvoll, wenn die Semantik gleichartig ausfällt. Hier empfiehlt sich der Einsatz von geeigneten Abständen zur Trennung unterschiedlicher Gruppierungen.
- Einbeziehung der Gestaltgesetze [Ell38, Kof55] und Beachtung von Konventionen.
- Informationen sind geeignet zu kodieren, um Überdeckungen zu vermeiden und Platz zu sparen oder bei der Verwendung von Grafiken. Kodierungen unterliegen weiteren sehr detaillierten Vorgaben, die generell der obersten Richtlinie folgen.

Mit dieser Sammlung der Richtlinien für die 2D InfoVis Basisparameter und Einflussgrößen muss nun im Folgenden erörtert werden, ob diese genügen, um auch AR Visualisierungen zu optmieren, bzw. ob sie ohne Weiteres generell übertragen werden können.

2.3.3 Übertragbarkeit

Um herauszufinden, wie die Übertragung nutzergerechter Anzeigengestaltung der 2D InfoVis auf AR als Medium geleistet werden kann, gilt die Ausgangsfrage. Welche Gestaltungsrichtlinien gelten für AR Visualisierungen? Oder anders gefragt: Können die bereits etablierten Parameter und Richtlinien der 2D Visualisierung mit zusätzlichen Anpassungen für die Anzeigeform AR übernommen werden? Wenn ja, unterscheiden sich AR Anzeigen überhaupt genug von 2D Anzeigen, um explizit für dieses Medium neue nutzergerechte Visualisierungen und Parameter zu untersuchen?

Es ist davon auszugehen, dass 2D Visualisierungsrichtlinien auch für AR gelten, da es sich per Definition grundsätzlich um die Bildung visueller Datenrepräsentationen handelt. Für die Beantwortung, ob Ergänzungen vorzunehmen sind, werden entsprechend unterscheidende Merkmale der Visualisierungsgrundlagen beider Displaytechnologien benannt.

An dieser Stelle ist die für AR nötige (per Definition verlangte) Darstellung des Bezuges zwischen real und virtuell (genauer die örtlich-räumliche Verhaftung oder 3D Registrierung)

die Hauptaufgabe bzw. das Hauptunterscheidungsmerkmal. Für die genauere Betrachtung dieses Unterschiedes zur 2D InfoVis teilt man für AR die Art der Ausgangsinformation und ihren Bezug in der realen Szene nochmals ein. Bezieht sich die Information auf ein reales Objekt der betrachteten Szene, so gelten andere Kriterien, als für eine Information, die sich auf etwas Abstraktes aber grundsätzlich Vorhandenes der Szene bezieht, wie etwa eine Richtungsinformation. Zunächst werden im Folgenden die realen Objektbezüge betrachtet.

AR Anzeigen sind Computergrafiken, die ergänzend zum realen Bezugsobjekt in 2D, 2,5D oder 3D erfolgen (vgl. Abb.2.10. Damit unterscheiden sich bereits die möglichen Dimensionen von 2D Darstellungen. 2,5 D ist insoweit besonders, als dass sie sich auch auf 2D Anzeigeflächen darstellen lassen aber in AR auch zum 3D Objekt werden können, indem sie aus allen Betrachtungsperspektiven heraus angeschaut werden in Form der Echtzeitinteraktion.

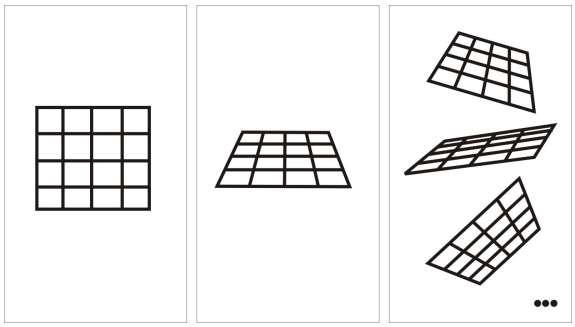


Abbildung 2.10: Links: 2D, Mitte: 2,5 D oder Pseudo 3D, Rechts: angedeutete 3D Ansichten des gleichen Objektes (hier auch 2,5 D da Papierdruck)

Aus den möglichen Dimensionen der verschiedenen Displaymedien ergeben sich Unterschiede zwischen der 2D InfoVis und AR. Um Informationen eines realen Objektes in maximal 2,5 D darstellen zu können, müssen Ortskodierungen erfolgen. Das erzeugt kognitive Übersetzungskosten. Dies entfällt für AR, da die Information direkt auf das tatsächliche Objekt geblendet werden kann und die örtliche Zugehörigkeit mittels der 3D Interaktion geschaffen wird (bei Positionswechsel des Nutzers wird die virtuelle Information neu registriert am gleichen zugehörigen Ort).

Der maßgebliche Unterschied zwischen der 2 bzw. 2,5 D Informationsdarstellung und AR liegt in der Zusammensetzung der Gesamtinformation. Die bisherigen Richtlinien der 2 und 2,5 D InfoVis umfassen nicht die Besonderheit der aufgeteilten Information in reale und virtuelle Anteile. Für AR Darstellungen muss eine Bezugherstellung zwischen beiden statt finden, die sowohl räumlich als auch inhaltlich erfolgt. Darüber hinaus kann diese Bezugherstellung nur durch die virtuelle Einblendung erfolgen, da der reale Informationsteil nahezu nicht verändert werden kann. Es muss demnach separate Visualisierungsparameter (auch auf Metaebenen) geben, die diese Bezugherstellung fassen. Ebenso sind spezifische

Richtlinien nötig, die etablierte 2D InfoVis Parameter für das AR Medium anpassen (bspw. Position, Größe etc.).

Darüber hinaus unterschiedlich sind auch die Darstellungen für Daten abstrakter Objekte der Szene. Nicht sichtbare Zusatzinformationen der realen Szene (bzw. der realen Basisdaten) wie Überblicksdaten oder Richtungen können mittels AR direkt in das Sichtfeld geblendet werden. Sie werden dann typischerweise perspektivisch angepasst (2,5 bzw. 3D). Diese Darstellung ist mit 2D nicht möglich. Den 2D Kartenansichten ähnlich bietet AR auch die Möglichkeit der Kartendarstellung als redundante Zusatzeinblendung, die Gebietsinformationen wiederholt. Für die Direkteinblendung ensteht für AR wiederum die Problematik der nötigen Bezugsbildung und Ortsverhaftung zwischen der Richtungsangabe und dem tatsächlichen Umfeld (inklusive Verdeckungen, etc.). Auch wenn eine redundante Karte verwendet wird, kann diese bei perspektivischer Anpassung fehlinterpretiert werden, da nicht in jedem Fall die vollständige Wegbeschreibung eindeutig eingeblendet werden kann.

Zusammenfassend ergeben sich vor allem aufgrund der realen Informationsanteile Unterschiede. AR Darstellungen müssen neben der geeigneten Informationsdarstellung auch die Bildung eines inhaltlichen und örtlichen Bezugs zum realen Objekt erledigen. Die Richtlinien der 2D InfoVis sind trotz dieser Unterschiede weitestgehend transferierbar, da beide Darstellungsmedien mindestens die 2D und Pseudo 3D Darstellungsmöglichkeit enthalten. Daher greift die Definition der InfoVis für beide Medien. Es gelten somit alle zugehörigen und bereits etablierten Richtlinien der 2D Informationsvisualisierung auch für AR. Die benannten Unterschiede (Bezugsbildung, örtliche Verhaftung) müssen jedoch separat zu Anpassungen und Erweiterungen der 2D Richtlinien führen. Dazu werden im Folgenden die Charakteristika dieser Bezugsbildung genauer betrachtet.

2.4 Informationsvisualisierung für AR

In diesem Kapitel werden nun AR Spezifika der Informationszusammensetzung und Darstellungsbesonderheiten genauer analysiert. Dies dient der Herausstellung neuer Visualisierungsparameter, die die Besonderheiten von AR fassen und eine nutzergerechte Anpassung anhand aller zugehörigen Richtlinien ermöglichen.

AR Abbildungen stützen sich vor allem auf den Bezug zwischen virtueller Einblendung und Realbild. Sie kodieren zwar ebenfalls „unsichtbare“ Daten im virtuellen Teil, aber ob diese ohne den realen Bezug Sinn ergeben, ist von den jeweils abgebildeten Daten abhängig. Es kommt bei AR also nicht allein auf die effiziente Darstellung der virtuellen Ausgangsdaten an, sondern auch auf die Verständlichkeit des Bezuges zum Realbild. Darüber hinaus sind AR Darstellungen zumeist hochdynamisch aufgrund der Sichtbarkeit des realen Hintergrundes. Dieser verändert sich fortlaufend, sei es durch die Nutzerbewegung oder durch

dort herrschende Lichtverhältnisse, Objektbewegungen oder Kontextveränderungen aller Art. Damit ist der reale Informationsteil kaum kontrollierbar. Die Visualisierung muss dies beachten und neben der fehlerfreien Registrierung vor allem eine vereinfachte Zugehörigkeitsinterpretation unterstützen, die auch größere Bewegungen des realen Bezugsobjektes ausgleicht.

Die Darstellung des Bezuges ist eine schwierige Aufgabe. Er ist typischerweise selbst abstrakt und nur selten in eine intuitive visuelle Form zu übertragen. Die Problematik von AR Darstellungen besteht zudem darin, dass diese beiden Bestandteile (Datum und Bezug) nicht immer einfach von einander zu trennen sind. So kann eine optimierte eingeblendete Gebäudeinnenansicht einer AR Anzeige auf einer Straßenansicht besonders gut detektierbar sein (z.B. durch eine auffällige Farbgestaltung). Diese Innenansicht, die *auf* geblendet ist, ist möglicherweise jedoch nicht als innenliegend erkennbar, weil sie zu stark in den Vordergrund rückt durch ihre Farbgebung. Sie wird unter Umständen als eine außerhalb des Gebäudes befindliche Struktur interpretiert.

In der Informationsvisualisierung kann ein solcher Bezug verschiedene Formen haben und z.B. zwischen zwei virtuellen Daten bestehen o.ä. Der Bezug in einer AR Darstellung ist jedoch in allen Fällen ein räumlicher Bezug zu einem (im Hintergrund existierenden) realen Bildbestandteil oder Objekt (abstrakt oder physisch vorhanden). Ist dies nicht der Fall, so handelt es sich dabei um nicht definitionskonforme Überblendungen, die hier nicht betrachtet werden.

2.4.1 AR spezifische Darstellungsparameter

Im Folgenden werden AR spezifische Parameter gesammelt und deren Einflüsse für AR Visualisierungen benannt. Dabei werden nur solche Parameter aufgeführt, die der vorherigen Einschränkung der AR Technologien und Anwendungsklassen entsprechen. Dabei sind auch Parameter aufgeführt, die bereits für 2D Darstellungen existieren, aber für AR nochmals neue Charakteristika aufweisen, bzw. solche, die nicht allein für die eingeschränkten AR Technologien und Anwendungsklassen gelten. Im Anschluss sind relevante Einflussfaktoren nach dem Vorbild der Taxonomie von Pfitzner (vgl. Kapitel 2.3.2) speziell für die AR Darstellung benannt und erläutert. Für alle Parameter gilt dabei die Vermeidung von Clutter (Verwirrung, Reizüberflutung) [CN06]. Die dazu aufgeführten Gestaltungsrichtlinien sind größtenteils exemplarisch und verdeutlichen konsistente oder widersprüchliche Ergebnisse bisheriger Forschungen.

Redundanz. Dieser Parameter bezeichnet die Wiederholung von Informationen aus einer (realen) Komponente innerhalb einer (virtuellen) Komponente wie z.B. eine Karte der aktuell sichtbaren Straßenszene (siehe Abb. 2.11). Redundanz ist die Verknüpfung von konformer und nonkonformer Aufblendung, indem die Szene an anderer Stelle im Bild

schematisch wiederholt (nonkonform, keine überlagerte Einblendung, sondern mit Absand zum emeinten Objekt) und dort mit dem Objektmarker erweitert wird (konform, das Objekt direkt überlagernd). Für die Detektion eines Markers (oder einer Region of Interest, ROI) im Gesamtbild muss auch im gesamten Bild eine visuelle Suche durchgeführt werden. In einer sehr heterogenen Szene kann dies Clutter verursachen, insbesondere, wenn mehrere Objekte virtuell markiert werden. Um dem vorzubeugen, kann nicht nur im Navigationsfall der Parameter Redundanz verwendet werden, um die fokussierte Aufmerksamkeit und damit die Cluttervermeidung zu fördern.

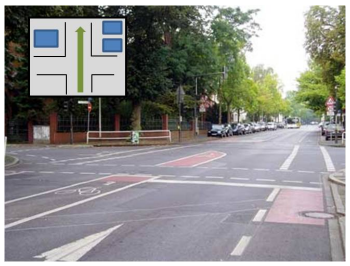


Abbildung 2.11: Beispiel für redundante Einblendung. Die Karte links wiederholt die Straßenführung und bettet dort die Information des Richtungshinweises ein.

Die Redundanz kann verschiedene Darstellungsformen je nach Ausprägung der weiteren enthaltenen Visualisierungsparameter annehmen. Mögliche Freiheitsgrade sind bspw. der Umfang der wiederholten Informationen des Sichtfeldes (ganzes Sichtfeld oder nur Teile), das Spektrum der realistischen Darstellung des Wiederholten (sehr schemenhaft abstrakt bis hinzu naturgetreuer Abbildung). Auch die Perspektive des zusätzlichen Fensters der wiederholten Bildteile ist veränderbar. Sie kann eine Vogelperspektive haben oder eine angepasste Darstellung sein ausgerichtet am dreidimensionalen Standort des Betrachters (bzw. seiner Augen).

Redundante Darstellungen zeigen das Sichtfeld des Nutzers bzw. bei Bewegung des auch zukünftig erreichbaren Sichtumfeldes (Bsp. Kartenansicht eines Ortes). Somit ist sie lediglich ein einfaches Abbild der Realität, in dem Gestaltungsfreiräume herrschen.

Aus dem Bereich der Navigationsunterstützung sind dazu widersprüchliche Erkenntnisse erwachsen:

- Redundanz ist besser als direkte Pfeileinblendung (in Fahrersituation) [TSLB05].
- Direkte Pfeileinblendungen führen zu einer verbesserten Navigationsleistung [SHB10].

Es sind keine weiteren Studien bekannt, die die restlichen Freiheitsgrade der redundanten Darstellungen untersuchen.

Realismus und Ähnlichkeit. Der Parameter Realismus bezeichnet das Spektrum von einer sehr abstrakten, künstlichen Darstellung der virt. Informationskomponente bis hin zur

völlig realitätsnahen Darstellung. Der Parameter Ähnlichkeit fasst ebenfalls die selektive Kombination von anderen Darstellungsparametern so zusammen, dass die Bezugherstellung zwischen realer und virtueller Information (auch über Perspektivwechsel hinweg) vereinfacht wird. Da das Bezugsobjekt zumeist real ist, kann der Parameter Ähnlichkeit an dieser Stelle mit dem Parameter Realismus gleich gesetzt werden.

Exemplarische Gestaltungsrichtlinien für diesen Parameter:

- Darstellungen sollten dreidimensional und möglichst real in der Welt registriert sein [GOR03].
- Je realer etwas dargestellt wird, desto eher wird es als Teil der Realität kognitiv verarbeitet [RB04, FBS05].
- Virtuelles und Reales angleichen hilft, zur besseren Immersion beizutragen [AH05].
- Abstrakte Darstellungen führen zu einer schnelleren und akurateren Detektion von Targets [YW01].
- Je größer die Ähnlichkeit von Display Items untereinander (Ort, Farbe, Kontur, Bewegung), desto eher wird verteilte Aufmerksamkeit gefördert aber die fokussierte Aufmerksamkeit erschwert [Hal04, YW01]
- Die Nutzung eines oder mehrerer Gestalt Gesetze fördert die wahrgenommene Zusammengehörigkeit der Objekte (räumliche Nähe, Ähnlichkeit, Kontinuität, Geschlossenheit, gemeinsame Bewegung, gemeinsame Region, verbundene Elemente) [Ell38, Kof55].

Gruppierung. Dieser Parameter beschreibt die Distanzen der ausschließlich virtuellen Informationsanteile zueinander. Er ist damit an den Parameter *Relation* der 2D InfoVis angelehnt.

- Die Gruppierung virtueller Informationen wirkt sich eher negativ auf die Nutzerperformanz aus [AH05].

Dimensionalität. Dieser Parameter ist bereits zum Teil abgedeckt durch den Realismus der Darstellung, da das reale Bezugsobjekt dreidimensional ist. Dennoch kann in bestimmten Fällen die Beschränkung auf eine 2,5D oder 2D Einblendung ratsam sein, was durch den Dimensionalitätsparameter beschrieben wird. Die Dimensionalität meint sowohl die Dimensionen der Einblendung als auch die Dimension der Position der Einblendung. Sie beinhaltet die Tiefenreize als Positionsbestimmungsunterstützung als Sonderfall.

- Dreidimensionale (abstrakte) Objektdarstellungen unterstützen das räumliche Gedächtnis. Dies verbessert das Wiederfinden der Information, daher werden perspekti-

visch angepasste Darstellungen besser erinnert. Die virtuelle Information sollte entsprechend auch 3D sein, bzw. 2D, 2,5D Darstellungen zumindest in 3D registriert sein [GOR03].

- Nutzer neigen dazu, sich einen virtuellen 3D Blick so „zurechtzurücken“ (durch eigene Perspektivveränderung oder Bewegung), dass sie einen 2D Eindruck der Szenerie erhalten [GLB05].

Depth Cues. (Tiefenreize) Dieser Parameter umfasst alle Unterkategorien, die die Tiefenzuordnung sowohl des virtuellen Objektes selbst als auch des „Standortes“ des Objektes vereinfachen. Sie wurden maßgeblich herausgearbeitet von Drascic und Milgram [DM96].

- Angeglichene Dimensionalitäten: Aufmerksamkeit von 2D auf 3D zu schwenken ist schwieriger als die Verteilung nur auf 2D Ebenen [AKA97].

- Die Tiefenreize beeinflussen stark die Immersion und Raumempfindung. Je mehr virtuelle Information eingblendet wird, desto wichtiger ist die Einhaltung räumlicher Ebenen für die Beibehaltung der Tiefenschätzungsgenauigkeit des Nutzers (Effekt bekannt aus der Virtuellen Realität) [SUS94].

- Die Tiefenzuordnung wird gefördert durch die sogenannte Areale Perspektive (Sättigungsreduktion und Farbverlauf für weiter entfernte Objekte), durch die Bewegungsparallaxe (wenn sie gut designed ist) und durch die Nutzung semitransparenter Darstellungen [UMKT05].

- Menschen tendieren dazu, virtuelle Aufblendungen als im Vordergrund befindlich zu interpretieren. Erst wenn Teilverdeckung und Bewegungsparallaxen hinzu kommen, wird die Interpretation vereinfacht [FAD02].

- Drascic und Milgram [DM96] bilden vier Kategorien der Tiefenreize: Bildliche, Kinetische, Physiologische und Binokulare Reize (Tab.2.3). Die verschiedenen „Perspektiven“ bedeuten kontunierliche Farb-, Textur- und Formanpassungen für die jeweils gemeinte Tiefe der Information. Physiologische und Binokulare Schlüssel beziehen sich auf die Nutzung der Eigenschaften des Gesichtssinns des Menschen (zwei mehrfach bewegliche Augen).

Transparenz. Das Spektrum der Transparenz gibt an, mit welcher Durchsichtigkeit ein Objekt eingeblendet wird.

- Transparente Displays (optical-see-through) sind schlecht bei dynamischem Hintergrund [LW02].

- Bei statischem Hintergrund ist ein transparentes Display vorzuziehen [LW02].

Bildliche Reize	Kinetische Reize	Physiologische Reize	Binokulare Reize
Interposition	Bewegungsparallaxe	Vergenz	Retinale
Lineare Perspektiven	Bewegungsperspektive	„Doppelansicht“ (diplopia)	Verschiedenheit
Aeriale Perspektiven	Kinetischer	Akkomodation	
Texturperspektiven	Tiefeneffekt		
Relative Helligkeit			
Schatten			

Tabelle 2.3: Kategorien der Tiefenreize nach [DM96].

- Es entstehen visuelle Interferenzen durch ähnliche Konturen, wenn Transparenz größer als 50% [HIVB95, HKV95].

Konforme und nonkonforme Aufblendung. Eine konforme Aufblendung bezeichnet die direkt auf dem realen Bezugsobjekt liegende Aufblendung. Die Nonkonforme bezeichnet die nebenstehende Aufblendung, die das Bezugsobjekt als sichtbar erhält.

- Je größer die fokale Distanz zwischen virtuellem und realem Objekt, desto besser sind sie unterscheidbar [LW02].
- Um fokussierte Aufmerksamkeit zu fördern, ist räumliche Nähe relevanter Information entscheidend, Irrelevantes sollte weiter entfernt platziert werden [EE74, Bro82].
- Konforme Symbolaufblendungen sind besser als nonkonforme [WL94].

Homogenität. Dieser Parameter meint die Oberflächengestaltung eines realen oder virtuellen Objektes im Sichtfeld. Homogenität wird hier erreicht durch die Regelmäßigkeit bzw. den unveränderten Einsatz der verwendeten Farben, Formen und Muster über die gesamte Oberfläche.

- Die Textur eines realen Objektes hat auf den real/virtuellen Tiefenabgleich nur Einfluss, wenn im Randbereich der Aufmerksamkeit gearbeitet wird, Inhomogenitäten am Rand machen Tiefenschätzungen einfacher [Hou01].
- Die Lesbarkeit von Annotationen wird erhöht durch hohen Kontrast zwischen Text und unmittelbarer Umgebung und durch die Homogenität des Hintergrundes [GS08].

Animation und Bewegungsparallaxe. Dieser Parameter beschreibt ähnlich des 2D Parameters Animation die involvierte Bewegung des realen oder virtuellen Objektes. Da jedoch eine dreidimensionale Ortszugehörigkeit des bewegten Bezugsobjektes oder der bewegten

Einblendung einzubeziehen ist, muss auf die Effekte der Bewegungsparallaxe geachtet werden. Je größer die Distanz des Objektes zum Betrachter ist, desto geringer ist die Positionsänderung auf fokaler Ebene. Ein sehr schnelles Objekt im Vordergrund erscheint so sehr viel langsamer wenn es sich weit im Hintergrund befindet trotz gleichbleibender eigener Geschwindigkeit.

Darüber hinaus stellt der Parameter Animation oder Bewegung einen Sonderfall der Parameter dar. Die Animation beinhaltet immer auch Informationen über den zukünftigen Zustand eines oder mehrerer Objektes des Sichtfeldes. Sie beinhaltet damit eine Information über die zeitliche Veränderung des Objektes oder über eine beabsichtigte Handlung des Nutzers. Diese Information kann mit allen anderen Parametern weggelassen werden. Darüber hinaus fasst dieser Parameter insbesondere die AR Spezifik der Darstellung, die die Echtzeitinteraktion betrifft. Mittels der Animation kann die projezierte Einblendung kontinuierlich der Perspektive des Nutzers angepasst werden.

Er zeigt durch die Bewegung eines oder mehrerer Objekte deren zukünftige Richtung und Position, event. auch die angenommene Geschwindigkeit an. Alle anderen 2D und AR Parameter beziehen nur den Ist-Zustand eines Objektes ein. Allein über die Animation ist der AR spezifische Echtzeitinteraktionscharakter zu fassen.

- Vorzuziehen sind keine Bewegungsunterschiede zwischen realen und virtuellen Informationsteilen [RB04]. Die beiden Informationsteile befinden sich so auf einer wahrgenommenen Tiefenebene.

- Wenn sich Objekte bewegen (wenn also die Bewegungsparallaxe involviert ist), dann neigen Nutzer dazu, Abstand und Größe der Objekte zu unterschätzen (Effekt bereits aus der Virtuellen Realität bekannt) [JSS+08].

- Das Notification Level Spektrum nach McCrickard [MCCS03] verbindet Aufmerksamkeitstypen mit der angezeigten Variante der Darstellungsänderung oder Bewegung.

  - Keine notwendige Wahrnehmung von Unkritischem bedeutet keine Darstellungsnotwendigkeit
  - Unaufmerksamkeit bedeuted Blindheit für bestimmte Veränderungen der Darstellung, die dennoch erfolgen können, wenn die Aufmerksamkeit auf andere Bereiche gerichtet ist oder größere Zusammenhänge betrifft.
  - Um verteilte oder gestreute Aufmerksamkeit zu erlangen, muss eine sichtbare Veränderung der Darstellung erfolgen, die der Nutzer während seiner aktuellen Handlung bemerken kann.

  - Ist fokussierte Aufmerksamkeit nötig, soll der Nutzer also seine Handlung unterbrechen, muss die Darstellungsänderung direkt im bisherigen Aufmerksamkeitsbereich oder mit Mitteln der Aufmerksamkeitslenkung erfolgen.
  - Auch die Handlungsaufforderung (bspw. durch eine Warnung) durch eine Information über einen kritischen Status verlangt fokussierte Aufmerksamkeit.

- Signifikante Veränderung des Dargestellten erzeugt fokussierte Aufmerksamkeit [TCCE07].
- Kleine Veränderungen erzeugen verteilte Aufmerksamkeit [MS02], wie bspw. der Einbau langsamer Animationen [MDH+03].
- Keine Aufmerksamkeit wird erzeugt durch Animationen, die (schrittweise) abebben oder sich wiederholen [MCCS03].

Cognitive Tunneling. Dieser Parameter (auch Attentional Tunneling) beschreibt im eigentlichen Sinne einen Effekt, der durch die Auffälligkeit der virtuellen Einblendung auftritt, der jedoch vermieden werden soll. Es werden also an dieser Stelle entsprechend Darstellungsformen zur Vermeidung zusammengefasst.

- Menschen neigen dazu, nur das Virtuelle zu sehen und das Reale auszublenden (HUD Faszination). Heterogene und verstreute Einblendungen verstärken den Effekt [CN06].
- Unerwartete Ereignisse fördern die HUD Faszination (eingeschränktes Sehen der virt. Information) und machen den Schwenk zurück in die reale Welt schwer [FW97, IR04, Wic05].
- Es gibt jedoch auch Hinweise darauf, dass die HUD Faszination nicht generell geschieht und die reale Welt vergessen macht. In Anwendungen mit nur peripheren und einfachen Einblendungen (wie bspw. Pfeile als Navigationshinweis im Auto) werden sogar kaum wahrgenommen und in manchen Fällen gar nicht genutzt [Mar08].

Die genannten Parameter bezeichnen Stellgrößen der Visualisierungsanpassung speziell für AR Anzeigetechnologien unter Einbeziehung der Besonderheiten der Informationszusammensetzung. Für die Entwicklung eines Anpassungssystems (im exemplarischen Anwendungsfeld intelligente Küche) sind zwei weitere wichtige Einflussfaktoren zu erläutern (Display- und Distanzabhängigkeit). Diese werden stellvertretend einbezogen im Sinne der Einflusssystematik, die in der Taxonomie von 2D Visualisierungen spezifiziert ist (vgl. Kapitel 2.2.1).

Einflussparameter

Abhängigkeit der Visualisierung vom Displaytyp

- Die Effekte der Nutzung von Head-Up-Displays (HUDs) sind vornehmlich die Missakkomodation[4], die Unterschätzung von Größe und Entfernung von Objektes, die Konzentrierung auf Virtuelles und die erzeugte Verwirrung (Clutter) [CN06]. Dies gilt es zu vermeiden durch die angepasste Visualisierung.

- Die räumliche Orientierung funktioniert in der virtuellen Welt wie in der realen Welt, wenn das Sichtfeld des Displays gleich groß dem Sichtfeld der Augen ist [RB04].

- Ein großes Sichtfeld ist problematisch weil neben Augen- auch Kopfbewegungen nötig werden. Insgesamt werden kleinere Displays bzw. kleine FOVs bevorzugt [DLK+02].

- Es gibt jedoch Hinweise, dass je kleiner und entfernter die Anzeigefläche ist (mobiles Handheld im Vergleich zu , HMD im Vergleich zu Projektionswänden), desto größer sind auch die Effekte der fehlenden Immersion (Grad des „Eintauchens“) der AR Anwendung. Dies verursacht vor allem den Effekt der Tiefen- und Größenunterschätzung für die auf kleineren Displays eingeblendeten Objekte [PH95, PKCR05, DCS10].

Abhängigkeit der Visualisierung von der Darstellungsdistanz

Es gibt Hinweise darauf, dass verschiedene Informationstypen nicht in jeder gezeigten Tiefenebene vom Nutzer auch gleichwertig verarbeitet werden. Dazu existieren Modelle, die den menschlichen Handlungs- und Wahrnehmungsraum in Ebenen unterteilt, die auch eine unterschiedliche kognitive Verarbeitung bedeuten [Pre98]. Im Rahmen der angrenzenden Untersuchung von dreidimensionalen Informationsräumen ist dazu die Arbeit von Lichtenstein heran gezogen worden [Lic09].

- Die Darstellung von aufgabenabhängigen Informationen ist in jedem Fall tiefensensitiv (Unterschiede in der Verarbeitung je nach verwendeter Tiefenebenen):
  - Wenn kognitive Ressourcen knapp sind, dann wird eine Rechenaufgabe schneller in weiterer Entfernung gelöst als nah und die einfache Detektionsaufgabe schneller im Nahbereich.
  - Dies gilt nicht für verbale Aufgaben, obwohl sie auch die reflektive Kognition beanspruchen.
  - Die Aufgabenschwierigkeit ist entscheidend für bestimmte Aufgabentypen, das heißt, eine einfache Detektieraufgabe sollte im Nahbereich gezeigt werden. Etwas Angezeigtes mit einem Zielreiz zu vergleichen ist schwieriger und sollte eher weiter entfernt gezeigt werden.

[4] Die Augen stellen sich nicht auf die ebene des virtuellen Objektes ein, sondern auf die Displayebene. Dies erzeugt u.U. körperliche Beschwerden aber auch Missinterpretationen der Tiefenzuordnung.

Mit den vorigen beiden Kapiteln konnten so die wichtigsten Visualisierungsparameter und entsprechende Richtlinien gesammelt werden, die die Wissensbasis der automatisierten Visualisierung bilden sollen. An dieser Stelle muss nun genau geklärt werden, wie die AR Spezifik der Darstellung mit den zusammengetragenen Parametern optimiert werden kann. Aus dieser Sichtweise ergeben sich Widersprüche bzw. offene Fragestellungen für die zugehörige Richtliniensammlung. Diese werden anschließend formuliert und untersucht.

2.5 Offene Fragen

Die Spezifik der AR Visualisierungen besteht in der Kombination von einem realen und einem virtuellen Objekt, die gemeinsam eine Gesamtinformation bilden. Der Gehalt der Gesamtinformation kann jedoch nur durch die virtuelle Information und deren Darstellung gesteuert werden. Um welches reale Objekt es sich handelt, wird dabei bestimmt durch den formalen und inhaltlichen Bezug des Virtuellen zur realen Komponente. Somit setzten sich die Freiheitsgrade der Darstellung der virtuellen Komponente zusammen aus den Möglichkeiten, die der Bezugherstellung zwischen gemeintem realen Objekt und virtueller Einblendung dienen und den Darstellungsmöglichkeiten für den Informationsinhalt selbst. In Kap. 2.1 wurde dazu bereits herausgestellt, dass insbesondere die Bezugherstellung Schwierigkeiten birgt und für die nutzergerechte Visualisierung von AR Anzeigen optimiert werden muss.

Die Bezugherstellung wird beschrieben durch alle Parameter, die räumliche oder inhaltlich-formale Nähe schaffen zwischen den Komponenten. Räumliche Nähe wird erreicht durch die 2D Parameter Plane (Anzeigenposition) und Relation (Positionsdistanz zu anderen Komponenten) sowie den AR Parametern Grouping (Gruppierung aller ausschließlich virtuellen Komponenten), konforme bzw. nonkonforme Aufblendung und Tiefenreize bzw. durch die Nutzung der Gestalt Gesetze.

Zur Bezugherstellung dienen darüber hinaus auch die Parameter, die eine inhaltlich-formale Zugehörigkeit schaffen. Diese sind auch zur Abgrenzung des Gemeinten vom nicht Gemeinten zu nutzen. Sie sind jedoch im Vergleich zur formalen Bezugherstellung als sehr viel weniger eingeschränkt zu sehen. Die inhaltliche Bezugherstellung erfolgt unter dem Oberbegriff der Ähnlichkeit. Zu den dazu nötigen Basisparametern zählen eine dem realen Objekt (inhaltlich) angemessene Größe und eine (inhaltl.) passende Ausrichtung (Orientierung), gleichartige Farbigkeit, Form, Textur, Proportionen, etc. Darüber hinaus werden hier auch Gestalt Gesetze integriert wie fortführende Strukturen (z.B. das Gegenstück eines Puzzles, das die fortgeführte Struktur des gemeinten realen Objektes besitzt) oder gleichförmige Bewegungen (Animation). Ebenso entscheidend können (In-)Homogenitäten in der Gesamtwirkung der jeweiligen Komponente sein. Ist die Zusammensetzung des realen Objektes sehr inhomogen (in Struktur, Form und Textur) so kann durch eine ähnlich in-

homogene Erscheinung (die sich jedoch in der expliziten Textur, Form usw. unterscheidet) eine Zusammengehörigkeit impliziert werden. Auch der AR Parameter der Dimensionalität ist im Sinne der Ähnlichkeit verwendbar, um eine Bezugherstellung auf formaler Ebene zu ermöglichen.

Der Parameter Transparenz kann nur in seltenen Fällen direkt der Bezugherstellung dienen. Sie wird verwendet, um Sichtbarkeiten und die Interpretation der Zuordnungen innerhalb der virtuellen Darstellung zu vereinfachen. Mittelbar ist ihre Anwendung in manchen Fällen dazu geeignet, die virtuelle Gesamtform einer räumlichen Tiefe zuzuordnen oder dahinter befindliche reale Objekte sichtbar zu gestalten. Die Zugehörigkeit wird jedoch in diesem Fall erreicht durch die konforme Aufblendung eines virtuellen Objektes gleicher Form, Größe und eventuell Farbigkeit. Die Transparenz hebt lediglich diese Relationen hervor.

Auch der Parameter der Redundanz dient der Herstellung des räumlichen Bezuges. Dafür wird zumeist in Kartenform ein räumlicher Überblick möglich, der durch die Direkteinblendung nicht in Gänze erzeugt werden kann. Dieser Parameter stellt damit eine Sonderform dar, da der Bezug zwischen dem Realen und Virtuellen auf den Bezug zwischen der virtuell wiederholten realen Szene und dem virtuell darüber gelegten Hinweis übertragen wird. Der Bezug zwischen der virtuellen Wiederholung und der realen Szene ist damit eher inhaltlich-formaler Natur. Es ist jedoch ungeklärt, ob durch die Redundanz tatsächlich optimierte AR Anzeigen entstehen.

Abb. 2.12 zeigt Beispieldarstellungen der Bezugsbildung zwischen den realen Objekten (Bausteinen bzw. Cafe) und den virtuellen Einblendungen (Zusatzinformationen). Es ist möglich, den Bezug formal durch eine räumliche Nähe oder Verbindung (hier Pfeil) herzustellen (Abb. 2.12 a). Formal kann der Bezug bspw. durch die sehr ähnliche Farb- oder Formgebung erfolgen oder durch eine inhaltlich naheliegende Symbolik (Abb. 2.12 b).

Auf der Grundlage der vorherigen Sammlung der Parameterrichtlinien und durch die obige Aufstellung der Parameternutzung zur Bezugherstellung kann im nächsten Schritt die Integration der Richtlinien in die Wissensbasis erfolgen. In Form von Regelsätzen soll damit die automatisierte Visualisierungssynthese gelingen. Es ergeben sich hierbei jedoch unbeantwortete Fragen der Nutzung bzw. widersprüchliche Regeln, die zu Inkonsistenzen der Wissensbasis führen würden. Die Tabellenübersicht am Ende des Kapitels zeigt die in den vorigen Kapiteln gesammelten Richtlinien bezüglich der AR spezifischen Darstellungscharakteristik und verdeutlicht die offenen Fragen. Für die nach 2D und AR sortierten Parameter werden deren Erkentnisse für die Bezugherstellung (räumlich und formal-inhaltlich) sowie die der eindeutigen Informationsdarstellung aufgeführt und die entsprechenden offenen Fragen kenntlich gemacht (Fettgedrucktes, Spalte Beurteilung).

Die nachfolgenden Experimente konzentrieren sich daher anschließend auf die Untersuchung dieser Parameter mittels der Wahrnehmung variierter Darstellungen von Objektbe-

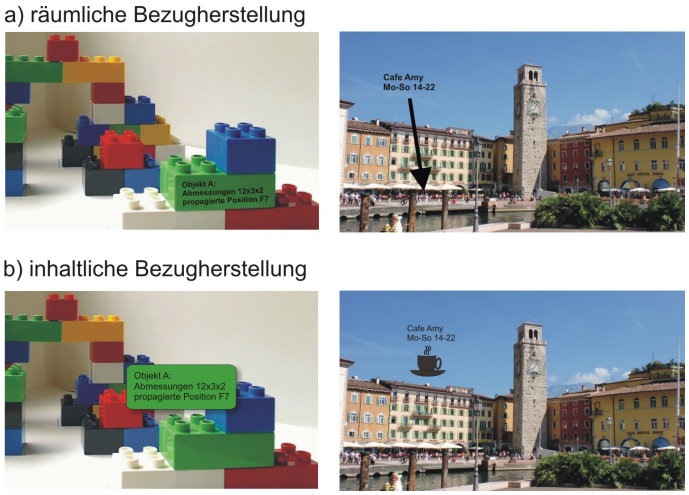


Abbildung 2.12: Möglichkeiten der Bezugherstellung durch Visualsierungsparameter. Zum realen Objekt (Baustein oder Haus) werden zusätzliche Informationen augmentiert. a) Bezug durch Positionierung, räumliche Nähe bzw. Verbindungsvisualisierung, b) Bezug formal oder inhaltlich durch ähnliche Farb- oder Formgebung, bzw. inhaltlichen Bezug (durch Symbol Kaffeetasse wird Bezug zum vorhandenen Cafehaus im Sichtfeld hergestellt).

zügen. Die Fragestellungen werden dabei für die Versuche so allgemein wie möglich gehalten, beziehen sich jedoch vornehmlich auf den beabsichtigten Anwendungsfall Intelligente Küche. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse wird anschließend gesondert diskutiert.

Animation

Die Besonderheit der Animation besteht in der Kontroverse zwischen der priorisierten Wahrnehmung von bewegten Objekten (auch im Bezug zum Cognitive Tunneling Effekt) und der möglichen Darstellungsvereinfachung, wenn bspw. Richtungsinformationen eingeblendet werden. Der zusätzlich verfügbare Inhalt der zukünftigen Handlung oder Veränderung des realen Objektes ermöglicht es eventuell, Mehrdeutigkeiten auszuräumen. Insbesondere die Vielzahl der Navigationshinweise in AR Anwendungen bedürfen einer Klärung der optimalen Darstellung einer Richtungsangabe als abstraktes reales Objekt. Diese Art der Zusatzinformation entfällt für die Visualisierungsoptimierung von Ist-Zuständen eines realen Objektes.

Realismus/Ähnlichkeit

Bisherige Forschungsergebnisse führen zu keinem verwertbaren Regelsatz, der die bestmögliche Visualisierungserstellung automatisierbar macht. Sie sind widersprüchlich. Zum einen soll abstrahiert werden zur schnelleren Detektion des Targets (hier der virt. Aufblendung). Andererseits soll realistisch dargestellt werden, um die Immersion (für das Verstehen der Information) zu fördern und damit Cognitive Tunneling Effekte zu vermeiden (vgl. Kap. 2.4.1).

Es ist also nötig, die Nutzung der Ähnlichkeit erneut zu untersuchen, bezüglich eines

abtrakten realen Bezugsobjektes wie einer Richtungsangabe und bezüglich eines real vorhandenen Objektes (hier Baustein als neutrales Manipulationsobjekt). Die Ähnlichkeitsausprägung soll dabei sowohl die effektive Detektion als auch die eindeutige Zugehörigkeitsinterpretation unterstützen.

Im Experiment der Inneraumnavigation werden dazu Varianten der Richtungsangaben getestet. Da eine Richtung keine festgelegte visuelle Repräsentation besitzt, wird die Ähnlichkeit (als Visualisierungsparameter) im Sinne des Realismus der Kartenvarianten getestet (Farb- und Texturanpassung), die eine reale Entsprechung besitzen. Für das Experiment mit Bausteinen sind keine solchen Einschränkungen von Nöten, da diese eine reale Form besitzen.

Redundanz

Es existieren widersprüchliche Erkenntnisse bezüglich der Nutzung redundanter Darstellungen. Die Annahme stützt sich jedoch auf einen bereits bekannten Versuch der Outdoor-Navigation im Auto [TSLB05], dass sich Karten (als Szeneriewiederholung) dennoch sehr gut für die Vereinfachung der Objektmarkierung (nicht nur einer abtstrakten Richtung) eignen. Redundanz könnte also als weiterer zu beachtender AR-spezifischer Parameter in die Bildsynthese einbezogen werden.

Auf dieser Basis lauten die Fragestellungen für die Experimente:

1. Navigationsexperiment:
   (a) Ist die Karte auch dann förderlich, wenn die Navigationsszene selbst nicht komplex ist und leicht gemerkt/überblickt werden kann? oder anders: Ist die Redundanz gegenüber einem einfachen Pfeil eine Darstellungsvariante, die die Wahrnehmung der Szene verbessert?
   (b) Ist die Animation eine Hilfe zur Bezugherstellung zwischen der Information „Richtung“ und „Raum“?
   (c) Ist die realistischere (dem Realen ähnlichere) Darstellung der Karte eine Hilfe zur Bezugherstellung der „Richtung“ zum „Raum“?
2. Bausteinexperiment:
   (a) Ist eine Karte auch zur Markierung eines real vorhandenen Objektes besser geeignet als eine konforme Aufblendung?
   (b) Ist die nonkonforme Aufblendung als Informationserhalt eine Hilfe zur Bezugherstellung?
   (c) Ist die realistischere (dem Realen ähnlichere) Darstellung eine Hilfe zur Bezugherstellung?

		Für AR nutzbare Richtlinien der Visualisierungsoptimierung		Beurteilung
		Bezugherstellung zwischen realem und virtuellem Informationsanteil	Inhaltliche Eindeutigkeit der InfoVis	
InfoVis Parameter	Weiterführende AR Parameter			
Spektrum Grafik <-> Text	Homogenität		Eine grafische Darstellung vereinfacht die Wahrnehmung für 2D.	-
Spektrum Animation <-> stat. Bild	Animation/ Bewegungsparallaxe	**Die Bewegung betrifft immer auch den zukünftigen Zustand eines realen Objektes, bzw. impliziert dessen Veränderung(en) oder eine Nutzerhandlung.** Die Bewegungsart- und geschwindigkeit sollte dem realen Pendant entsprechen.	**Animiertes wird priorisiert wahrgenommen. (Cognitive Tunneling)**	Ist eine Animation förderlich, als Bezugshilfe zwischen einem abstrakten veränderbaren Objekt und der virtuellen Erweiterung dessen oder überwiegt der Cognitive Tunneling-Effekt?
Position	Dimensionalität/ Depth Cues, Gestalt Gesetze, Konforme und nonkonforme Überblendung	Die Dimensionalität und Tiefenposition sollte der des realen Pendants entsprechen. Man schafft Zugehörigkeit durch die Nutzung der Gestalt Gesetze. **Es ist unklar, welche der Augmentierungen (nonkonform/konform) die Wahrnehmung vereinfacht.**	Registrierte Informationen (einer Tiefenebene des Bildes zugeordnet) vereinfachen deren Wahrnehmung. Die gemeinte reale Information sollte sichtbar bleiben.	Widerspruch der AR bezogenen Erkenntnisse.
Größe	Realismus/Ähnlichkeit, Gestalt Gesetze	?	Je wichtiger die Information, desto größer ist sie zu gestalten im Verhältnis zu Restinformationen.	Erzeugen ähnliche Größen eine bessere Bezugherstellung?
Wertigkeit	Gestalt Gesetze	Die Wertigkeiten sollten einander entsprechen.		-
Relation	Gruppierung	Die Gruppierung virtueller Informationen ist zu vermeiden.	Je wichtiger die Information , desto exponierter ist sie zu positionieren (Bildschirmmitte).	-
Textur Farbe	Homogenität, Realismus/ Ähnlichkeit, Gestalt Gesetze	?	Die Homogenität bzw. Heterogenität kann genutzt werden, um Lesbarkeiten von Annotationen zu verbessern. Mittels Signalfarben, -texturen kann ein hoher Kontrast erzielt werden.	Erzeugen ähnliche/ realistische Farben und Texturen eine bessere Bezugherstellung (basierend auf den Theorien der Gestalt Gesetze)?

Abbildung 2.13: Tabellenübersicht der gesammelten Richtlinien und offenen Fragestellungen.

InfoVis Parameter	Weiterführende AR Parameter	Für AR nutzbare Richtlinien der Visualisierungsoptimierung		Beurteilung
		Bezugherstellung zwischen realem und virtuellem Informationsanteil	Inhaltliche Eindeutigkeit der InfoVis	
Konturform	Realismus/ Ähnlichkeit	?	Symbolhafte Konturformen verdeutlichen sonst grafisch aufwendige Informationen.	Erzeugen ähnliche bzw. symbolhafte Konturformen eine bessere Bezug-herstellung (basierend auf den Theorien der Gestalt Gesetze)?
Orientierung	Dimensionalität	Dimensionen sollten einander entsprechen (3D).	...	-
	Transparenz	Transparenz ermöglicht konforme Darstellungen mit sichtbarem Realteil, bedeutet bei falschen Tiefenreizen aber auch Mehrdeutigkeiten.	Die gemeinte reale Information sollte sichtbar bleiben.	-
	Redundanz	?	Die gemeinte reale Information sollte sichtbar bleiben.	Es existieren widersprüchl. Erkenntnisse, ob redundante Darstellungen besser geeignet sind als Direkt-einblendungen.

Kapitel 3

Experimente

Im vorangegangenen Kapitel konnte durch die Einschränkungen der AR Technologien und Anwendungsklassen sowie durch die Einbeziehung relevanter 2D InfoVis Visualisierungsparameter eine Sammlung von Richtlinien für die Optimierung der AR Anzeigen erstellt werden. Diese wies an einigen Stellen jedoch Wissenslücken auf, die im Folgenden experimentell geklärt werden sollen. Dazu werden zwei Szenarien verwendet, die versuchen die jeweiligen Fragestellungen mit möglichst allgemeinen Objekten bzw. Versuchsaufbauten und Aufgabenstellungen zu beantworten. Im Experiment der Innenraumnavigation werden dazu unterschiedlichste Alltagsgegenstände in einem normal großen möblierten Raum gesucht. Das zweite Experiment nutzt Bausteine, um verschiedene Alltagsobjekte zu ersetzen, die jedoch in Form, Farbe und Größe stark eingeschränkt sind und möglichst keine Assoziationen o.ä. durch die Versuchsperson unterstützen.

Das erste Experiment zur Innenraumnavigation untersucht dazu die Nutzbarkeit von redundanten gegenüber direkten Einblendungsvarianten von Richtungshinweisen. Richtungen wurden dabei exemplarisch ausgewählt als reale Bezugsobjekte mit keiner physischen Präsenz im Sichtfeld. Für die Untersuchung genutzt wird ein den Einschränkungen entsprechendes sAR Szenario (Projektion im Innenraum, vgl. Kap.2.2.2, 2.2.3). Innerhalb der alternativen Richtungshinweise werden außerdem die Effekte von Animationen und realistischen Textur- und Farbgebungen getestet, deren Nutzbarkeit als ungeklärt gilt (vgl. Kapitel 2.5).

Die Animation wird dabei nur im Navigationsexperiment untersucht. Der abstrakte Objektbezug, hier die gewünschte Laufrichtung, stellt dabei eine Handlung des Nutzers dar, die in gewissem Sinne auch das gemeinte reale Objekt (die Richtung bzw. den Weg zum Ziel) manipuliert[1]. Die Wahrnehmung der Animation eines physisch vorhandenen Objektes muss durch eine real ausgeführte Manipulation also durch eine Handlung geprüft werden, da die richtige Interpretation einer gewünschten Bewegung geprüft werden muss.

[1] Mit der Handlung wird die jeweils aktuelle Richtung verändert, wenn Hindernisse den direkten Weg versperren.

Im Baustein-Experiment ist keine Manipulation der realen Bausteine vorgesehen, die eine Animation integrierbar macht.

Die realistischen (also dem Realen ähnlichen) Varianten sind ebenso Untersuchungsgegenstand des zweiten Experimentes. Hier werden Markierungen in einer Bausteinszene variiert in ihrer Darstellung. Bausteine dienen hier als Ersatz für physisch im Sichtfeld vorhandene Objekte. Sie bieten hierfür experimentell beherrschbare Form- und Farbvarianten. Das Versuchssetting entspricht wiederum den Einschränkungen einer stationären AR Technologie. Zu den verschieden ähnlichen Varianten werden hier auch Positionen (also konforme und nonkonforme Aufblendungen) getestet ebenso wie redundante Varianten.

Die untersuchte Positionierung der Bausteine soll ein eindeutiges Ergebnis für die Fragestellung der unklaren bisherigen Quellenlage bezüglich der besser geeigneten konformen oder nonkonformen Aufblendung schaffen. Diese Untersuchung entfällt für die Innenraumnavigation, da das nicht physisch vorhandene, reale Bezugsobjekt keine (festgelegte) Position im Sichtfeld des Nutzers hat.

Gemeinsam mit den Richtlinien der vorigen Kapitel bilden die Ergebnisse anschließend die konsistente Wissensbasis des Expertensystems.

3.1 Experiment zur Darstellung von Navigationshinweisen in Innenräumen

Mit dem Experiment zur Innenraumnavigation soll die Fragestellung geklärt werden, ob Redundanzen (eingeblendete Karten) auch dann sinnvoll sind, wenn der Orientierungsraum wenig komplex ist. Zudem werden die Effekte von animierten und nicht animierten sowie unterschiedlich realistischen Karten untersucht.

Navigation oder Richtungshinweise für Außengelände (Städte, Regionen, etc.) und für größere Gebäude basieren auf der Annahme der Erinnerung von sogenannten Landmarken, Wissen über die Gesamtroute und auf Überblickswissen. Landmarken sind individuell gewählte, ausgewählte Punkte eines Gebietes, die durch ihre Bedeutung oder Erscheinung für den Einzelnen einprägsam sind [Rau08]. Diese werden für die lokale Richtungsentscheidung genutzt, falls das Ziel sich nicht in Sichtweite befindet. Routenwissen beschränkt sich auf die Kenntnis der Wege zwischen den Landmarken. Überblickswissen meint die strategische Gesamtroutenplanung. Für die (erste) Routenplanung zur Zielfindung werden im Gehirn kognitive Karten erzeugt, die zumeist abstrakt und verzerrt abgespeichert werden [Kit94]. Sie sind vor allem von Bedeutung für großflächige Routenplanungen, in denen das Ziel nicht direkt sichtbar ist. Navigationshinweise entlasten die kognitive Kartenbildung, da weniger Landmarken gespeichert werden müssen. Das Wissen befindet sich dann „in der Welt“ (an eben diesen Punkten) [Nor02].

Den Weg zu finden in einer sehr viel weniger komplexen Umgebung (wie in einem

einzelnen Raum), benötigt entsprechend weniger Überblickswissen. Kognitive Karten sind (bei vorheriger Raumbegehung) in der Regel schnell gebildet und leicht merkbar. Es sind daher keine Landmarken an ausgewählten Punkten nötig. Dennoch muss eine (wenn auch nur einmalige) Routenplanung statt finden, die mit einer einmaligen Zielangabe startet. Zu diesem Zweck sind die Ziele im hier durchgeführten Experiment nicht einsehbar und Navigationshinweise werden einmalig dargeboten zu Beginn.

Die Hinweise zur kognitiven Routenbildung beinhalten nahezu die gleiche Informationsmenge, indem jeweils nur eine Richtung dargeboten wurde und das konkrete Ziel, nicht jedoch der (optimale) Weg dahin. Die Planung der Route wird durch den Nutzer vorgenommen, der durch die Visualisierung unterstützt werden soll. Ziel der Untersuchung ist daher der Test, welche Repräsentation der Richtungsangabe für die vorgestellte Anwendung am besten geeignet ist, gemessen an den verwendeten Darstellungsparametern Redundanz und Realismus.

Einschränkung des Stimulusmaterials.

Die möglichen Visualisierungen einer Richtung sind breit gefächert. Auch wenn die Vorauswahl bereits beschränkt ist auf die zu testenden Parameter und Kontrollbedingungen (Karte, nicht-Karte, Realismus, Animation), so können allein wegen des verwendeten Mediums (AR) verschiedene Relationen der Richtungsangaben eingebracht werden. Verwendet man bspw. einen Pfeil, so kann dieser ohne Relation dargestellt sein, also ohne Hintergrund, oder mit Hintergrund, der wiederum verschiedene Informationsmengen enthält. Bezogen auf das AR Medium wären optical see-through Displays möglich mit realem Hintergrund, in die der Pfeil perspektivisch eingebettet wird. Aber auch ein Monitor (nicht in Sichtweite des Zieles befindlich) ist nutzbar. Er kann ein Videobild der echten Szene liefern, sie abtrahiert darstellen als Hintergrund, eine zusätzlich eingeblendete Karte enthalten oder die Information kann mittels Projektion direkt auf den Boden geblendet werden.

Um die Anzahl der zu testenden Einblendungen zu reduzieren, wurde eine Vorbefragung durchgeführt (Fragebogen siehe Anhang B). Dort enthalten ist eine unvollständige hierarchische Kombination der getesteten Faktoren zum Zwecke der Aufwandsreduktion. Kombiniert sind die Darstellungsvarianten redundant (Kartenmaterial, bzw. Raumansichten), Pfeil und Weglinien mit verschiedenen Medien (zusätzlicher Bildschirm, nicht redundante Direktprojektion) und verschiedenen Hintergrundvarianten (abstrahiert und perspektivisch richtig, Draufsichten, Realansichten, vom Standpunkt oder nicht vom Standpunkt des Benutzers gezeigt). Nicht enthalten sind Bodenprojektionsvarianten. Diese sind nicht relevant für den Versuch. Bodenprojektionen von Pfeilen oder Linien sind immer perspektivisch richtig angeordnet aufgrund der Darstellungsnatur der direkten Aufblendung. Es entfallen entsprechend die nicht am Standpunkt ausgerichteten direkten Bodenprojektionen. Darüber hinaus bedingt die Darstellung der Karte in Vogelperspektive (Draufsicht) die Nichtausrichtung am Standpunkt. Anhand der am besten bewerteten Darstellungen und

den jeweiligen Gemeinsamkeiten soll anschließend das Stimulusmaterial für den folgenden Versuch beschränkt werden.

Methode der Vorbefragung.
21 Versuchspersonen haben an der Vorbefragung teilgenommen (12 m, 9 w, ⌀ Alter 36,33). Die zur Wahl gestellten, kombinierten Darstellungsvarianten möglicher Richtungs- und Zielhinweise sollten auf einem Ausdruck mit Beispielbildern der Variante mit den Schulnoten von 1 bis 6 bewertet werden. Dies ist die einzige abhängige Variable für alle Bildvarianten. Neben einem kleinen Beispielbild der möglichen Hinweisart befand sich auf dem Bogen ein kurzer zusätzlich beschreibender Text, der auf das Medium und den Ausgangspunkt des Hinweises aufmerksam gemacht hat. Abb. 3.1 zeigt zwei Beispielvarianten möglicher Hinweise. Die Varianten durften in beliebiger Reihenfolge bewertet werden. Diese Möglichkeit wurde von nahezu allen Versuchspersonen wahrgenommen, da sie zumeist in einem ersten Schritt alle Varianten durchgingen, um dann im Anschluss absteigende Notenwerte zu vergeben.

Abbildung 3.1: Beispielhinweis 2 und 3 aus der vorgelegten Befragung. Ganzer Fragebogen siehe Anhang B.

Design der Vorbefragung.
Tabelle 3.1 zeigt die Faktorstufen, die für die Auswertung gebildet wurden und die Zugehörigkeiten der gezeiten Bilder. Es handelt sich um ein nicht vollständig gekreuztes Design, dass zur Untersuchung der jeweiligen Faktoren angepasst wird. Die Auswertung erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalysen für die jeweiligen Darstellungsvarianten eines Faktors. Im Folgenden werden die Faktoren aufgelistet. Für die Auswertung entsteht so jeweils ein einfaktorielles Design mit je 2 bis 3 Abstufungen.

Ein erster Vergleich erfolgt entsprechend auf der Basis aller Darstellungen und untersucht, ob zusätzliche Zielangaben (Markierungen für Zielpunkt) hilfreich sind. Dafür wurden alle Noten der Versionen mit Zielangabe den Noten der Versionen ohne Zielangabe gegenübergestellt. Ziel war es hier für den Versuch herauszufinden, welche Zusatzinformation die Suchzeit verkürzt und damit die Dauer des Experimentes pro Versuchsperson zu

verringern.

Ein nächstes Design beinhaltet den Vergleich möglicher Darstellungsorte. Er untersucht, ob direkt eingeblendete Richtungsangaben (Pfeil oder Weglinie) besser geeignet sind als nebenstehende Einblendungen (Varianten mit nebenstehendem Display).

Im Falle der enthaltenen Kartennutzung wurde verglichen, ob eine perspektivisch angepasste Darstellung oder Draufsicht sich besser als Unterstützung eignet als eine perspektivische Anpassung. Diese meint die Rotation der Karte oder des Hinweises, so dass reale (Blick-)Richtungen des Nutzers den gezeigten Richtungen in der Karte oder der des Hinweises entspricht (vom Standpunkt des Nutzers aus gesehen).

Für die Varianten Weglinie, Karte oder kombinierte Karte mit Linie wurde ausgewertet, ob eine Standpunktausrichtung von Nöten ist. Zuletzt wurden die Bewertungen hinsichtlich der Frage geprüft, ob für die Zielführung eine Linieneinblendung für den Weg bevorzugt wird.

Ergebnisse.

Die Ergebnisse beziehen sich wie im Design beschrieben jeweils nur auf die 2x1 bzw. 3x1 Designs der Einzelfaktoren. Für die Auswertung wurden einfaktorielle Varianzanalysen genutzt. Die Ergebnisse einer Varianzanalyse können hier mit denen eines t-Tests gleich gesetzt werden.

Aus Gründen der Aufwandsreduktion und aufgrund der bloßen Schaffung einer Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des Stimulusmaterials wird die Schulnotenskala als intervallskaliert angenommen und die in vielen Fällen auch für Schulnoten gängige Varianzanalyse verwendet. Abb.3.2 zeigt die erhaltenen Noten der Befragung für die einzelnen Varianten im Überblick.

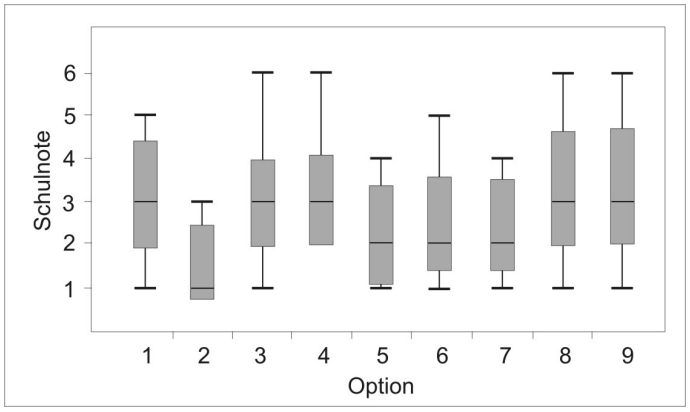


Abbildung 3.2: Ergebnisübersicht deskriptive Statistik, Mediane, Minima, Maxima und Standardabweichungen der gegebenen Noten.

Nach der Auswertung ergaben sich signifikante Mittelwertsunterschiede. Laut den Ergebnissen der statistischen Auswertung (ANOVA) ist wenn möglich immer eine Form der Zielangabe bevorzugt ($F(1, 20) = 2,923, p <, 05$). Der Test, ob redundante Versionen Di-

Faktor(-stufen)	Bild-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zielangabe										
mit			■	■	■	■	■	■	■	■
ohne		■								
Einblendungsart										
Direkteinblendung		■	■			■				
nebenstehendes Display (redundant)				■	■		■	■	■	■
Perspektive der Kartennutzung										
3D perspektivisch angepasst							■	■		
Draufsicht (Vogelperp.)				■	■					
Standpunktausrichtung										
mit		■	■			■	■	■		
ohne				■	■				■	■
Zielführung										
mit Linie					■	■		■		■
ohne Linie		■	■	■			■			

Tabelle 3.1: Faktoren und jeweilige Stufen für die Auswertung der Vorbefragung. Graue Kästchen markieren die jeweils herangezogenen Werte für eine Faktorstufe. „Ohne Standpunktausrichtung“ bedeutet eine beliebige Position des Startpunktes des Pfeiles, der Linie oder der Karte. Der aktuelle Standpunkt des Nutzers wurde in diesem Fall gesondert markiert oder war wegen der Vogelperspektive nicht auf diesen anzupassen.

rektaufblendungen vorzuziehen sind, soll Bestandteil des Versuches werden und diente in der Vorbefragung lediglich der Auswahl der enthaltenen Informationen und perspektivischer Ausrichtung. Die Ergebnisse können eventuell dennoch in die subjektive Ergebnisauswertung einfließen. Sie zeigen eine signifikante Bevorzugung der Direkteinblendung ($F(1, 187) = 10, 168, p <, 02$).

Signifikante Unterschiede bestehen auch für die Perspektive ($F(1, 82) = 5, 170, p <, 05$) und für die Standpunktausrichtung des Richtungshinweises ($F(1, 187) = 19, 913, p <, 01$). Die Darstellung sollte entsprechend am aktuellen Nutzerstandort ausgerichtet und dreidimensional perspektivisch angepasst werden. Dies meint, dass vom Nutzerstandpunkt aus die Karte der Himmelsrichtung des Nutzerblicks entspricht und eine Ansicht aus Augenhöhe darstellt. Pfeil oder Linieneinblendungen beginnen am Standpunkt des Betrachters.

Es muss sich jedoch bei dem Routenhinweis nicht unbedingt um einen passenden, direkt auf den Boden projezierten genauen Weg (Linie) zum Ziel handeln (die jeweiligen Varianten mit und ohne Linie unterscheiden sich nicht signifikant $F(1,166) = 1,319$). Linienführungen für Wege werden im Experiment auch deshalb nicht verwendet, da eine solche Einblendung mehr Informationen (optimale Wegstrecke) enthält als eine bloße (Himmels-)Richtung, die ein Pfeil bietet oder bloße Zieleinblendungen.

Diskussion der Vorbefragung.

Die Auswertung wird ausnahmsweise auf Basis der Annahme der Intervallskalierung der Schulnotenbewertung durchgeführt. Es handelt sich jedoch im strengen Sinne um eine Ordinalskala. Wären die Ergebnisse relevant für die Beurteilung der Wirkungsweisen und Grundlage für die zu erarbeitenden Richtlinien, würden Häufigkeiten bzw. Rangkorrelationskoeffizienten berechnet werden müssen.

Es gilt ebenso anzumerken, dass durch das unvollständige hierarschische Design nur Haupteffekte untersucht werden und deren Ergebnisse nur eingeschränkt als generell gültig angesehen werden können. Sie sind nur für die Teilpopulationen gültig, für die die Daten der Faktorstufen erhoben wurden. Eventuelle Interaktionen, die sich durch andere Bedingungen eingemischt haben, können hier nicht betrachtet und damit als Einfluss auch nicht ausgeschlossen werden. Es soll jedoch anhand dieser Vorbefragung lediglich eine Reduktion des möglichen Ausgangsstimulusmaterials vorgenommen werden. Die eigentlich zu untersuchenden Faktor(stufen) des Hauptversuches werden von dieser Vorauswahl nicht beeinflusst.

Ergebnisübertragung. Nach den Ergebnissen der Vorbefragung werden die Redundanz und der Realismus der Darstellungen getestet durch die Nutzung einer Karte, die in ihrer Textur- und Farbgebung und Animationsanteil variiert wird (gemäß der Fragestellungen aus Kapitel 2). Sie werden zudem perspektivisch am Standpunkt des Betrachters ausgerichtet sowie perspektivisch angepasst (Himmelsrichtungen stimmen überein). Die Darstellung von Pfeilen ist die nicht redundante Version mit direktem Hinweis. Weglinien werden in keiner Version verwendet, da sie nicht unbedingt nötig sind und wegen der Mehrinformation in allen Varianten verwendet werden müssten. Sie bedeuten jedoch generell einen unangemessenen Mehraufwand bei der Direkteinblendung wegen der zusätzlich zu verwendenen Bodenprojektoren und durch die nötigen Maßnahmen, die eine Verdeckung der Linie durch den Benutzer verhindern oder ausgleichen.

3.1.1 Hauptexperiment – Fragestellung

Wie bereits im vorigen Kapitel herausgestellt, existieren keine zuverlässigen und für eine konsistente Wissensbasis nutzbaren Erkenntnisse bezüglich der Nutzung der AR spezifischen Visualisierungsparameter Redundanz, Realismus (Ähnlichkeit) und der Animation. Diese Faktoren sollen im folgenden Experiment untersucht werden.

Dazu gilt es herauszufinden, ob eine Kartenvariante als Überblicksvisualisierung den Nutzer bei der Interpretation eines Richtungshinweises besser unterstützt als die direkt Einblendung eines Pfeiles. Zudem wird geprüft, ob eine der Realität ähnlichere, also realistischere Kartenvariante, eine Verbesserung gegenüber einer nicht texturierten, schematischen Karte bedeutet. Alle diese Varianten werden in einer animierten und nicht animierten Form präsentiert. Dies untersucht schlussendlich den Faktor der Animation als entweder bessere Verdeutlichung der gemeinten Richtung oder als Suchhindernis durch dessen Effekt des Cognitive Tunneling. Die unabhängigen Variablen sind die genutzte Redundanz, der Realismus der Visualisierung und die Animation.

3.1.2 Methode

Stichprobe.

Am Experiment waren 40 Versuchspersonen beteiligt (52% männliche und 48% weibliche Personen[2]). Sie gaben an, geübte Computernutzer zu sein (95% täglich) aber im Allgemeinen (90%) digitale Navigatonssysteme eher nicht zu benutzen (Fragebogen im Anhang B). Sie bewerteten ihre Navigationsfähigkeiten dennoch zumeist als durchschnittlich bis gut. Diese Fähigkeiten würden vor allem zur Hand genommen, um sich in ungewohnten Umgebungen zurecht zu finden.

Material.

In dem Experiment mussten Zielobjekte ausfindig gemacht werden, die in 3 Regalquadranten (vgl. Abb.3.3) positioniert wurden. Dabei handelte es sich um keine festgelegte Anzahl oder Art von Objekten pro Quadrant. Enthalten waren Bücher, Zeitschriften, Kameras, Besteck, Behältnisse, Spielzeug, etc.

Der Testraum war ausgestattet mit vier Projektionssystemen. Die vorhandenen Regale für die Zielobjekte (und andere) wurden so positioniert, dass sie vom Ausgangspunkt des Nutzers nicht einsehbar waren. Sie unterteilten den Raum zudem in vier Quadranten (wie in Abb.3.3 ersichtlich). Ein Quadrant bezeichnet hierbei den Startpunkt und die Pinnwand zur Hinweisprojektion. Die anderen drei Quadranten dienten der Zielführung, indem sie als Richtung vorgegeben wurden, nicht jedoch die genauen Regalpositionen mit dem Zielobjekt. Beispielsweise konnte sich das Zielobjekt auf dem untersten Boden des zweiten Regales des dritten Quadranten liegen, der Navigationshinweis am Startpunkt deutete jedoch lediglich auf den Quadranten. Die Einblendung der Richtung mittels Pfeil kann eine solche Genauigkeit der Information nicht bieten, daher mussten auch alle anderen Hinweisarten auf diesen Informationsgehalt angepasst werden. Eine Karte hätte durchaus genauere Angaben über das Regal zugelassen. Die Versuchsergebnisse wären in diesem Fall jedoch verzerrt zugunsten der Karte.

[2] 3%: jünger als 20 Jahre, 54% zwischen 21 und 30, 23% zwischen 31 und 40, 15% zwischen 41 und 50, 5% zwischen 51 und 60,

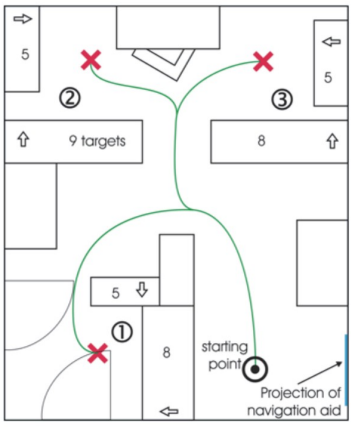


Abbildung 3.3: Schema des Testraumes aus Vogelperspektive. Die Ecken 1 bis 3 zeigen die Zielquadranten (involviert waren jeweils mind. zwei Regale, Pfeile deuten die jeweils offene Regalseite an).

Um die abhängigen Variablen nicht durch den zu absolvierenden Laufweg innerhalb des Raumes und für eine Versuchsperson zu beeinflussen, wurden die Distanzen vom Startpunkt zum einsehbaren Punkt des jeweiligen Regalquadranten gleich lang gehalten ($\approx 4,20$ m). Die möglichen Laufwege sind in Abb. 3.3 grün gekennzeichnet. Darüber hinaus wurden die Objekte in den Regalquadranten, den genauen Regalen und Regalpositionen (horizontal und vertikal) gleich verteilt. Mit diesem Schritt sollten mögliche Schwierigkeiten, die durch hinten und unten (oder oben) liegende Objekte, die eine längere Suchzeit bedeuten, ausgeglichen werden.

Ablauf.

Vor Beginn des Experimentes hatte jede Versuchsperson die Möglichkeit, den Testraum zu begehen, solange bis sie zur Einschätzung gelangte, den Raum nun gut zu kennen. Anschließend instruierte der Versuchleiter die Versuchsperson, dass nun Suchaufgaben folgen, die mit Einblendungen zur gewünschten Richtung und mit Markierungen auf dem Zielobjekt gestützt werden würden. Die Versuchsperson begab sich dann allein in den Testraum und gab mit einem verbalen OK an, dass das Experiment starten könne.

Zu Beginn jeder Suche zeigte eine Einblendung (eine Fotografie) das gesuchte Objekt. Die Versuchsperson war instruiert, ein verbales Signal zu geben (kurzes „JA“), wenn Sie zu wissen glaubte, um welche Art Objekt es sich handelt, um die Zeitmessung zu starten. Dazu betätigte der Versuchsleiter eine Taste, die auch gleichzeitig die Einblendung des Navigationshinweises auslöste. Die Versuchsperson war nun instruiert, mit dem gegebenen Hinweis nach dem Objekt zu suchen, das wiederum mit einem projezierten Punkt zusätzlich kenntlich gemacht war (verschieden farbig für konstanten Kontrast zum Zielobjekt) in einem der Regale. Die Zeitmessung lief, bis die Versuchsperson das verbale Signal „fertig“ gab (Tastendruck zur Beendigung durch Versuchsleiter). Dabei sollte die Versuchsperson

mit dem Finger auf das gefundene Ziel deuten, um es dem Versuchsleiter zu ermöglichen, Fehler der Objektbestimmung zu erfassen. Weitere Fehlerklassen, die durch den Versuchsleiter ausgezeichenet wurden waren Richtungsfehler, Zweifeln der Versuchsperson oder die Rückversicherung, Nichtfinden des Zielmarkers oder das Finden des falschen Objektes. Abb. 3.4 zeigt Beispielmomentaufnahmen eines Suchdurchlaufes.

Abbildung 3.4: Eine Versuchperson steht am Ausgangspunkt und betrachtet den projezierten Suchhinweis. Rechts lokalisiert die Versuchsperson das Zielobjekt.

Das Experiment beinhaltete fünf Wiederholungen für jede Bedingung. Jede Versuchsperson musste entsprechend 30 Objekte suchen. Die jeweils erste Suche einer hinweisvariante wurde als Trainingslauf genutzt, um der Versuchsperson die Gewöhnung an die Darstellung der Hinweisart zu ermöglichen. Die vier weiteren Wiederholungen der Suchläufe mit einem Hinweis wurden gewählt, da für jeden der Quadranten mind. einmal eine der Hinweisarten gezeigt werden sollte. Eine weitere Wiederholung sollte die Möglichkeit der fehlerhaften Messung kompensierbar machen. Die dafür gezeigte Hinweisart wurde randomisiert. Die Suchzeiten wurden anschließend gemittelt für die Versuchsperson, die mit dieser Hinweisart gesucht hat, unabhängig vom gezeigten Zielquadranten.

Die Zielobjekte waren jeweils für die Teilnehmer die selben, wurden jedoch randomisiert in ihrer Reihenfolge. Während des Versuches befand sich die Versuchsperson allein im Testraum. Der Versuchsleiter konnte über mehrere Kamerabilder das Geschehen dort beobachten, um insbesondere auch das (Fehl-)Verhalten zu dokumentieren. Die Videoaufnahmen wurden jedoch auch gespeichert, um eine spätere Verifikation des beobachteten Verhaltens durch einen weiteren Versuchsleiter zu ermöglichen. Die Kameras wurden dabei so angebracht, dass jeder Punkt des Raumes einsehbar war, insbesondere die gemeinten Zielregionen.

3.1.3 Design

Das Experiment folgt einem Innersubjekt-Design. Die Zielmarkierung wurde für alle Hinweise verwendet. Letztendlich wurden drei graphische Varianten in animierter und nicht-

animierter Form verglichen in einem 3x2 Design, das sich wie folgt ergibt. Die Visualisierungsart ist die unvollständige hierarchische Faktorstufenkombination der Faktoren Realismus und Redundanz. Diese beeinflussen sich jedoch gegenseitig nicht (ein Pfeil kann nicht im Realismus variiert werden, da er selbst ein abstraktes Symbol ist). An dieser Stelle werden in der Auswertung lediglich die Haupteffekte und keine Interaktionen untersucht.

Die resultierenden Faktorstufen für die Visualisierungsart sind der Pfeil (nicht redundant, $v_{1,1}$), die schematische Karte (unrealistische, redundante Variante, $v_{2,1}$) und die texturierte bzw. farbige Karte (realistische, redundante Variante, $v_{2,2}$). Diese werden als Visualisierungsart in ein 3x2-Design überführt, um ebenso die Faktorstufen der Animation einzubringen. Tabelle 3.2 fasst das Design zusammen.

Visualisierung Animation	Pfeil $v_{1,1}$	Schematische Karte $v_{2,1}$	Texturierte Karte $v_{2,2}$
statisch	statischer Pfeil	statischer Ausgangspunkt in Karte	statischer Ausgangspunkt in Karte
animiert	animierter Pfeil	animierter Ausgangspunkt in Karte	animierter Ausgangspunkt in Karte

Tabelle 3.2: Übersicht der im Experiment getesteten Faktorstufen.

Der animierte (perspektivische) Pfeil bewegt sich in (Himmels-)Richtung des gesuchten Objektes. Der animierte Teil der Karte beinhaltet einen sich bewegenden Startpunkt, der ebenfalls in Luftlinie auf die Zielmarkierung zufliegt. Beide zeigen nicht den optimal zu benutzenden Weg, der um ein Hindernismöbel herumführen müsste. Auf diese Weise wurde versucht, den Informationsgehalt der dargebotenen Hinweise gleich zu halten. Abbildung 3.5 zeigt Beispiele der projezierten Richtungshinweise.

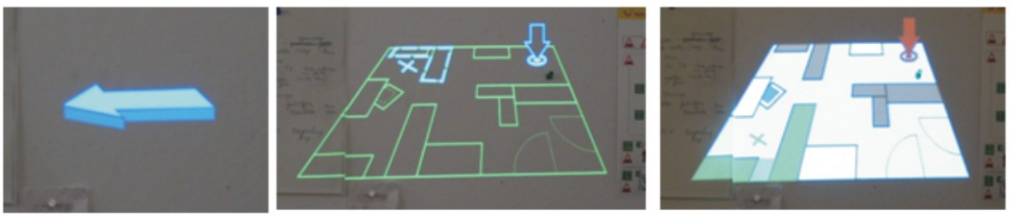


Abbildung 3.5: Beispiele für Navigationshinweise (Pfeil, schematische und texturierte Karte).

Der Effekt der Faktoren der Visualisierungsart (Realismus, Redundanz) und der Ani-

mation auf die Wahrnehmung des Navigationshinweises wurde bestimmt durch die Aufzeichnung der benötigten Suchzeit, Anzahl der Fehler, Art der Fehler und der subjektiven Benotung der Anzeigen (per Fragebogen) als abhängige Variablen. Die Suchzeiten geben dabei Auskunft über die Effizienz des Hinweises. Die Fehlerarten und -häufigkeiten sprechen für oder gegen die jeweilige Effektivität der Visualisierung. Die Ratings charakterisieren schlussendlich die Nutzerzufriedenheit.

Nach dem Experiment wurden Benotungen für die Richtungshinweise erfragt. Dazu zählten Beurteilungen, als wie hilfreich, exakt, verständlich und als wie angemessen eine Visualisierung empfunden wurde, jeweils auf einer Schulnotenskala von 1 bis 5 (1 entspricht sehr gut, 5 sehr schlecht). Zusätzlich wurden das Alter, Geschlecht, Bildungsstand, Beruf und Navigationsfähigkeiten (mit und ohne Navigationsgerät) der Versuchspersonen erfasst siehe Anhang B.

3.1.4 Hypothesen

Die erwarteten Ergebnisse des Experimentes werden im Folgenden in drei Hypothesen gefasst. Es handelt sich hier um alternative Hypothesen zur Nullhypothese (keinerlei Mittelwertsunterschiede).

- H1: Die Nutzung der redundanten Karten führt zu längeren Suchzeiten bzw. mehr Fehlern und niedrigeren Ratings.
- H2: Realistischere Darstellungen der Karten (Farbigkeit) führen zu kürzeren Suchzeiten, weniger Fehlern und besseren Ratings.
- H3: Die Nutzung von Animation hat einen Einfluss auf die Wahrnehmung des Hinweises (Suchzeiten, Fehler und Ratings).

Die Zielmarkierung als förderliche Information wurde bereits in der Vorbefragung als solche identifiziert. Zudem veringert sie die Suchzeiten um die Zeit, die allein für das Ausfindigmachen eines Suchobjektes nötig ist. Die ohnehin zu erwartenden geringe Varianz der Suchzeiteneffekte der Hinweisvarianten würde hier immer mehr an Gewicht verlieren durch die unterschiedlich gut gelungenen Kontraste der Markierung auf dem zu suchenden Objekt. Sie entfällt daher für die Hypothesen.

Die Annahme der eher nicht förderlichen redundanten Varianten entstammt der tendenziellen Beobachtung der Vorbefragung und der Tatsache, dass redundante, also wiederholende, Einblendungen zusätzliche kognitive Kosten des mentalen Mappings verursachen. Die Karte muss zuerst mit dem Sichtfeld überein gebracht werden, bevor der Richtungshinweis ihn ihr interpretiert werden kann.

Der angenommene positive Einfluss der realistischeren Darstellung (H2) entstammt den Theorien der Gestaltpsychologie, die jedoch für dieses Anzeigemedium nicht evaluiert sind.

Allein die Hypothese für die Animation (H3) ist nicht gerichtet formuliert (siehe Fragestellung Kap 2.5). Daher haben diese Untersuchungsteile explorativen Charakter.

3.1.5 Ergebnisse

Zur Aufzeichnung der Messdaten standen nach dem Versuch die Suchzeiten, Fehlerprotokolle und Fragebögen, sowie die Videoaufzeichnungen zur Verfügung. Die Rohdaten wurden vor der Auswertung aufbereitet. Im ersten Auswertungsschritt erfolgte der Vergleich der Suchzeiten und Fehlerprotokolle anhand der Videoaufzeichnungen, um mögliche Fehlmessungen und -protokollierungen auszuschließen. Wurden sehr lange oder sehr kurze Suchzeiten aufgezeichnet, aber keine Fehler dokumentiert, so war es auf diese Weise möglich, verpasste Fehler nachzutragen oder irreguläres Verhalten der Versuchsperson nachträglich zu notieren bzw. notierte Fehler nochmals abzugleichen. Die Suchzeiten, bei denen seitens des Versuchsleiters eine Fehlmessung erfolgte, wurden durch den Mittelwert der Suchzeiten aller Versuchspersonen für den jeweils gezeigten Hinweis ersetzt (vgl. Kapitel Diskussion). Die Suchdurchläufe, in denen ein Fehler durch die Versuchsperson gemacht wurde (falsche Richtung), flossen nicht in die Auswertung ein.

Die gemessenen Suchzeiten enthielten Ausreißer (Werte mit einem Betrag größer als die dreifache Standardabweichung), die bei fehlerfreien Durchläufen entstanden sind. Diese wurden ebenso durch die mittlere Suchzeit aller anderen Suchdurchläufe einer Versuchsperson ersetzt. Diese Art der Ausreißer kamen jedoch lediglich in 1% aller Zeitmessungen vor.

Auch die Benotungen der Versuchspersonen mussten nachbearbeitet werden aufgrund fehlender Eintragungen. Die Lücken wurden ebenfalls durch den jeweiligen Mittelwert aller Noten von allen Versuchspersonen für diesen Hinweis ersetzt. Zudem wurde der Wert für eine übergreifende Benotung gewonnen aus der Mittelung aller Einzelnoten eines Hinweises (wie hilfreich, exakt, verständlich und angemessen er eingeschätzt wurde). Im Folgenden wird mit der übergreifenden Note weiter verfahren, um die grundlegende Nutzerzufriedenheit zu bestimmen für einen Hinweis.

Die verschiedenen Faktoren der Nutzbarkeit werden im ersten Schritt durch eine Varianzanalyse ausgewertet für alle Suchzeiten und subjektiven Bewertungen. Für die Fehlerauswertung wurde ein χ^2-Homogenitätstest vorgenommen.

Suchzeiten. In die Auswertung sind nur die jeweiligen 4 Folgesuchzeiten einer Hinweisvariante eingeflossen. Die erste Suchzeit ist als Trainingssuche deklariert und entfällt.

Der Faktor Visualisierungsart hat keinen signifikanten Effekt auf die Suchzeit. Es konnte kein Mittelwertsunterschied festgestellt werden im Vergleich zwischen Pfeil, schematischer (nicht farbiger) Karte und farbiger Karte (zweifaktorielle ANOVA, $F(2, 76) = 0,937$, $p = 0,39$). Daher wird die Nullhypothese angenommen und die Alternativen (H1 und H2) bezüglich der Suchzeiten zurückgewiesen. Weder die Redundanz noch die realistischere

Darstellung hat das Verständnis des Hinweises beeinflusst.

Auch die Animation ergab keine Mittelwertsunterschiede in den Suchzeiten (einfaktorielle ANOVA, $F(1,38) = 1,167, p = 0,844$). Hier wird entsprechend ebenso die Alternativhypothese (H3) bezüglich dieser abhängigen Variable zurückgewiesen. Es sind darüber hinaus auch keine Interaktionseffekte für die Faktoren Visualisierungsart und Animation enthalten.

Fehler. Für die Fehleranalyse werden ebenso die vier Werte ohne Trainingslauf herangezogen. Vier Fehlertypen wurden klassifiziert. Dabei handelt es sich um die Unterscheidung nach (1) Richtungsfehlern, (2) Unsicherheit, (3) ein falsches oder gar kein Objekt gefunden aufgrund des Richtungshinweises und (4) ein falsches oder gar kein Objekt gefunden aufgrund des Markierungsmissverstehens. Anhand der Videoaufzeichnung und nachträglichen Videoauswertung (durch verschiedene Versuchsleiter) wurden die Häufigkeiten des Auftretens zusammengezählt für alle Versuchspersonen und Messwiederholungen (siehe Abb. 3.6). Die Festlegung einer bei der Versuchsperson vorherrschenden Unsicherheit war nicht

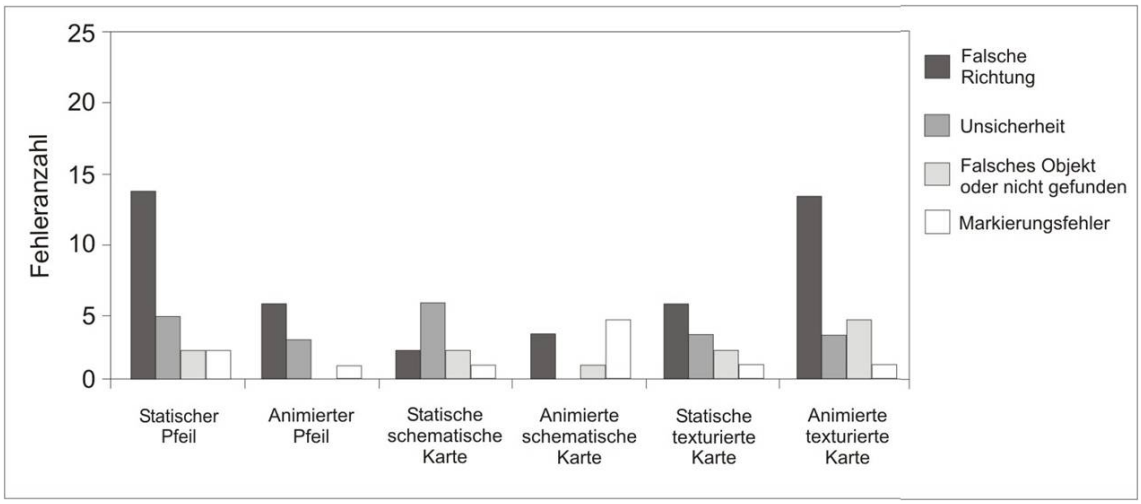


Abbildung 3.6: Häufigkeiten der Fehlertypen für die jeweilige Hinweisart.

in allen Fällen eindeutig möglich (durch die verschiedenen Versuchsleiter), so dass deren Werte in der Analyse entfallen müssen. Auch falsch gefundene Objekte (unabhängig von der Ursache) wurden schlussendlich nicht in die Auswertung einbezogen, da sie zum Teil aufgrund von Darstellungschwierigkeiten der Punktmarkierung (zu wenig Kontrast zum Objekt) auftraten bzw. dieser Fehler schlicht nicht gemacht wurde. Für die Fehlerauswertung ausschlaggebend können damit lediglich die Richtungsfehler sein.

Für die Auswertung der Richtungsfehler wurden χ^2-Homogenitätstests durchgeführt zur Untersuchung des Einflusses der jeweiligen Parmeterausprägung auf die Häufigkeiten der Fehler. Es ergaben sich dabei weder signifikante Unterschiede für die Faktorstufen der Redundanz ($p = 0,8474$) noch für die des Realismus ($p = 0,1655$).

Der Faktor Animation führt ebenso zu keiner signifikanten Verbesserung ($p = 0,5716$).

Es werden in den verglichenen Varianten ähnlich viele Richtungsfehler gemacht. H3 wird damit zurückgewiesen und die Nullhypothese angenommen bezüglich der Fehler.

In der Gegenüberstellung der Fehlerraten der Animation und der der Visualisierungsart ergeben sich jedoch Besonderheiten für die Abhängigkeit zwischen Redundanz und Animation. Für die Betrachtung des Realismus im Zusammenspiel mit der Animation zeigt sich diese nicht. Im Diagramm der Abb. 3.7 wird ein disordinaler Zusammenhang zwischen der Animation und der Animation deutlich. Der Pfeil verursacht in animierter Form deutlich weniger Fehler als in statischer Form. Die texturierte, farbige Karte mit animiertem Richtungshinweis hingegen hat wesentlich mehr Fehler zur Folge als in statischer Form. Die schematische Karte ist die Variante, die gleichbleibend am wenigsten Richtungsfehler verursacht.

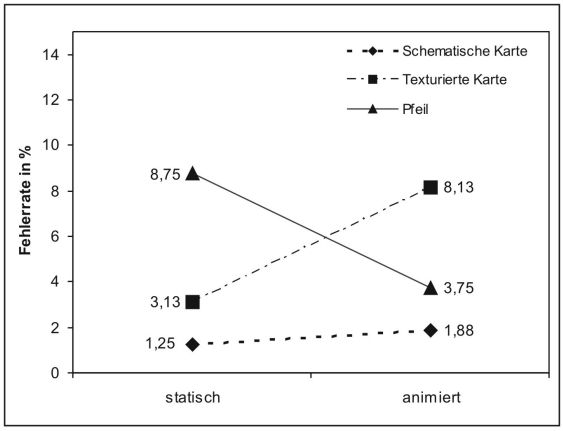


Abbildung 3.7: Interaktion der Faktoren Animation mit Visualisierungsart.

Bewertungen. Die Ergebnisse der Varianzanalysen für die Visualisierungsart zeigen keinen signifikanten Unterschied innerhalb der übergreifenden Bewertungen durch die Versuchpersonen ($F(2,76) = 2,167$). Es ergibt sich jedoch ein signifikanter Effekt für den Faktor „Animation“ ($F(1,38) = 5,941, p <,05$) und einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt bezüglich Animation und Visualisierungsart ($F(2,38) = 3,309$). Abb. 3.8 verdeutlicht diesen Unterschied, der erkennen lässt, dass die Verbesserung der Bewertungen für den animierten Pfeil deutlich höher ausfällt als die Verbesserungen der Bewertungen für die animierten Karten (redundanten Versionen).

Differenzierte Bewertungen. Die gefundenen Effekte der übergreifenden Bewertungen gelten nicht für alle Teilbewertungen. Bei der Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA für jede Teilbewertung ergaben sich vor allem für die Exaktheitseinschätzungen signifikante Unterschiede bei den verschiedenen Hinweisen ($F(6,38) = 2,964, p <,01$). Wie in Abb. 3.9 dargestellt, wurde die animierte farbige Karte signifikant als exakter bewertet als die statische farbige, Karte und besser als beide schematischen Karten, sowie als die Pfeilvarianten.

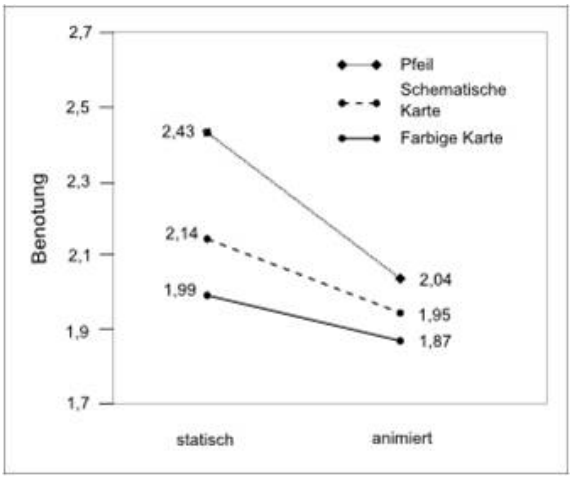


Abbildung 3.8: Benotungswerte der Pfeil- und Kartenvarianten mit dem sichtbaren (und signifikanten) Verbesserungseffekt der Animation. Tendenziell signifikanter Interaktionseffekt des Visualisierungstys und der Animation erkennbar durch unterschiedliche Anstiege.

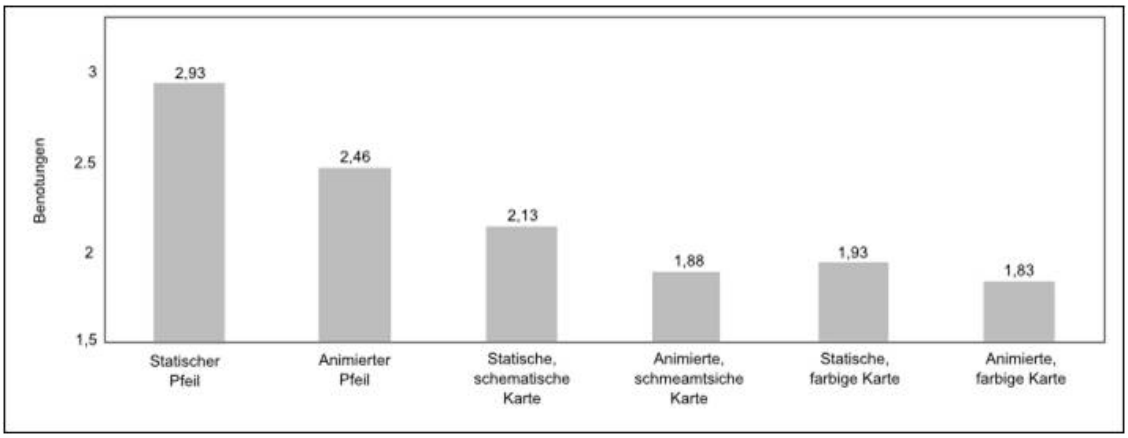


Abbildung 3.9: Bewertungen der Exaktheit der dargestellten Hinweisvarianten.

3.1.6 Diskussion und abgeleitete Gestaltungsrichtlinien

Das Experiment zur Überprüfung der Frage, ob Redundanz und Realismus als hilfreiche AR Visualisierungsparameter dienen können, müssen im Folgenden z.T. kritisch betrachtet werden, um die Wissensbasis der Richtlinien zu vervollständigen.

Die gemessene Suchzeit als abhängige Variable setzt sich aus mehreren Schritten für die Erledigung der Aufgabe Innenraumnavigation zusammen. Deren Einzelmessung ist insoweit kaum möglich, das hier verschiedenartige kognitive Einzelprozesse beteiligt sind, die äußerlich nicht zu erfassen sind. Sieht die Versuchsperson bspw. einen Hinweis, so kann sie bereits losgehen, aber noch auf dem ersten Meter den Blick auf den Hinweis gerichtet belassen, um Suchzeit zu sparen. Wann sie genau den Hinweis verstanden hat und in einem Suchweg umsetzt, ist kaum ersichtlich. Auch mögliche Fehler können noch wäh-

rend der ersten Meter ausgeglichen werden, da sich die Wege erst nach dem ersten Meter nach dem Ausgangspunkt trennen. Bis dahin kann die Versuchsperson den Hinweis entweder weiterhin interpretieren und einen möglichen Wahrnehmungsfehler selbst bemerken und korrigieren, oder sie hat bereits den richtigen Weg erkannt und folgt ihm. Da auch Kombinationen dieser kognitiven Leistungen mögich sind, die sich lediglich in nur leicht verlangsamtem Laufen und nur selten in einem nochmaligen Umdrehen äußern, sind die Varianzen der individuellen Suchzeiten sehr groß. Minimale Unterschiede, die durch eine bessere Verständlichkeit der farbigen Karte hervorgerufen werden, sind eventuell enthalten, aber auf dieser Basis kaum zu messen.

In zukünftigen Experimenten muss messtechnisch genauer auf den Moment des Verstehens und die resultierende (richtige) Handlung eingegangen werden. Möglich wäre dazu ein Versuchsaufbau, der weniger von den tatsächlichen physischen Gegebenheiten des Raumes und der Versuchsperson abhängig ist, indem mögliche Navigationswege nicht selbst erlaufen sondern bspw. nur auf Papier gezeichnet werden müssen. Damit würde eine bessere Trennbarkeit der kognitiven Leistungen Verstehen des Hinweises und Wegfindung im Raum erfolgen und es könnte untersucht werden, ob diese Leistungen überhaupt getrennt werden müssen für die Fehlerbeseitigung und Suchzeitenverbesserung.

Die erhaltenen Lücken der Messwerte für die abhängigen Variablen wurden jeweils durch Mittelwerte einer Versuchsperson für die Hinweisart ersetzt, um eine Berechnungsbasis für die Auswertung zu erhalten. Dieses Vorgehen ist nicht unumstritten, da die Varianz der Messwerte für diese abhängige Variable herabgesetzt wird. Für das hier durchgeführte Experiment hat dies jedoch kaum Auswirkungen, da sich innerhalb der (aufgefüllten) Suchzeiten keine Signifikanzen ergaben. Eine eigentlich größere Varianz der Messwerte erbringt eher weniger Unterschiede zwischen den Gruppen und kann somit zu keiner hier „verpassten“ Signifikanz führen. In den Messwerten für die Fehlerauswertungen waren keine Lücken enthalten, die aufgefüllt wurden. Allein die Ersetzung der fehlenden Messwerte der Bewertungen könnte die erhaltenen Signifikanzen der Animation und der Interaktion in Frage stellen. Die Ersetzung betraf jedoch lediglich $< 1\%$ der Messwerte. In einem Folgeversuch muss dieses Vorgehen dennoch überdacht und eine eventuelle „Missing Values Analysis“ angeschlossen werden.

Für den beobachteten Zusammenhang der Animation mit der Redundanz ergibt sich folgendes Bild. Es findet sich die Kontroverse der bereits in der Richtliniensammlung in Kapitel 2 vermuteten schwierigen Balance wieder zwischen der Animation als hervorwirkendes und fesselndes Visualisierungsmittel (Cognitive Tunneling Effekt), das die Bezugbildung erschwert, und dem Informationszugewinn der Animation, der wiederum die Bezugsbildung vereinfacht. Der Pfeil bekommt durch die Animation noch eine grafische Verdeutlichung der gemeinten Richtung hinzuaddiert. Dies erleichtert dessen Interpretation von einer eher ungenauen Angabe hin zu einer sehr viel genaueren. Die texturierte Karte hingegen zeigt

durch den animierten Teil des „fliegenden“ Standpunktes eine Zusatzinformation, die möglicherweise alle weiteren Informationen der Karte ausblendet, die jeweils eigene Objekte umfasst (verschiedenfarbige Möbelstücke).

Die schematische Karte, die in jeder Form nur wenige Fehler nach sich zieht, ist hier eventuell als Mischform zwischen Pfeil und redundanter Karte anzusehen. Die Schemata der Möbelstücke lenken nicht ab bzw. ist der „fliegende„ Standpunkt durchgängig gleich gut wahrnehmbar, da keine Kontrastwirkung mit Hintergrundfarben oder -texturen eintritt. Diese Karte wirkt homogener. Auf dieser Basis ist es möglich, dass die förderliche Richtungsanimation tatsächlich die Bezugbildung unterstützt und damit die fehlerfreie Wahrnehmung des Richtungshinweises ermöglicht.

Ausgehend von den hier erhaltenen Ergebnissen können für die Einbeziehung der vereinfachenden Parameter Gestaltungsrichtlinien ausgegeben werden, die gleichzeitig die offene Fragestellung aus Kap. 2.5 beantworten. Die Richtlinien bilden im Anschluss einen Teil der Wissensbasis für die Entwicklung des Informationssystems für die automatisierte Visualisierungssynthese zusammen mit den bereits im vorigen Kapitel gesammelten Parameterrichtlinien. Für diese Richtlinien fasst die Tabelle 3.3 die erhaltenen Signifikanzen noch einmal zusammen.

Faktoren	Suchzeiten	Fehler	Bewertungen
Redundanz	–	–	–
Realismus	–	–	–
Animation	–	–	sign. Unterschied
Interaktion: VisTyp/Animation	–	Zusammenhang der Redundanz-/Animationskombi.	tendenziell sign. Unterschiede

Tabelle 3.3: Übersicht der Ergebnisse.

Die entsprechenden Richtlinien zur Vervollständigung der Übersicht in Kapitel 2.5 lauten:

- Der AR spezifische Parameter Redundanz ist nicht notwendigerweise nützlich für die Darstellung von Informationen, die kein physisches Pendant in der Realität besitzen und eine eher abstrakte Bedeutung haben (wie eine Richtungsangabe). Durch die Kombination anderer Parameter kann die Vereinfachung der Visualisierung[3] ebenso erreicht werden.

- Es ist ebenso nicht zu empfehlen, Darstellung möglichst realistisch zu gestalten. Für die Kartendarstellung ist es nicht zu belegen, dass eine solche Parameteranpassung

[3]Nutzung der Vorteile konformer und nonkonformer Überblendung

des Realismus (Ähnlichkeit) einen Effekt hat. Sie ist im Gegenteil eher als zusätzlich verwirrend zu betrachten.

- Es ergeben sich jedoch für den Parameter der Animation Haupteffekte und Interaktionseffekte, die in die Visualisierungsgestaltung einbezogen werden sollten. Die Animation ist in Abhängigkeit von der darzustellenden Information zu betrachten. Sie erbringt zwar generell subjektive Verbesserungen für den Nutzer kann jedoch bei sehr umfangreichen, inhaltlich aufwendigen Visualisierungen (eher heterogen) zu Missverständnissen und kognitiver Mehrbelastung führen. Ist die Information jedoch sehr einfach gehalten und symbolhaft (homogen), so kann die inhaltlich motivierte Animation (wie bei einer Richtungsverstärkung) eine deutliche Verbesserung der vorher uneindeutigen und groben Symbolik erbringen.

3.2 Experiment zur Darstellung von Objektmarkierungen

Das Experiment zur Darstellung von AR Markierungen beantwortet die offenen Fragen bezüglich des Parametereinsatzes von Redundanz, Ähnlichkeit (bzw. Realismus) und Positionierung für die optimale Bezugherstellung virtueller Informationen zu physisch vorhandenen Objekten (sichtbar im FOV des Nutzers). Um möglichst generische Ansätze überprüfen zu können wurden als Bezugsobjekte Bausteine genutzt. Diese haben nur begrenzt unterschiedliche Größen, Farben und Formen und beschränken somit den Aufwand der zu untersuchenden Augmentierungen. Zudem haben sie im vorliegenden Experiment keine konkrete Anwendungsbedeutung und können u.U. als Repräsentant für weitere einfache Objektformen dienen, die in einer bestimmten Anwendung jenseits des Experimentes markiert werden sollen.

3.2.1 Hauptexperiment – Fragestellung

Im Experiment wird nun geprüft, ob die genannten Parameter einer Überblendung als Suchunterstützung die Bezugbildung zwischen Augmentierung und realem Objekt verbessern. Die variierten Faktoren Redundanz, Ähnlichkeit und Position wurden in verschiedene Bausteinmarkierungen überführt, die jeweils einen ganzen Stein markieren.

Damit soll die Frage geklärt werden, ob redundante Darstellungen, also ganze oder teilweise Wiederholungen der Bausteinszene am Rand des Sichtfeldes, oder variierte Ähnlichkeiten sowie bestimmte Positionierungen helfen, den markierten Stein in einem Bild schneller zu finden oder nicht. Zusätzlich wurden subjektive Bewertungen gesammelt, die auf Basis der Schulnotenskala gegeben wurden.

Operationalisierung.

Ähnlichkeit. Die Faktorstufen der Ähnlichkeit sind eingeteilt in „(sehr) ähnlich“, „mittel ähnlich“ und „unähnlich“. Die präsentierten Markierungen sind also selbst Bausteinabstraktionen, die jeweils drei Freiheitsgrade der Ähnlichkeit ausweisen (bzw. sich aus drei Visualisierungsparametern zusammensetzen). Diese sind Farbe, Form und Größe. Das bedeutet, dass die sehr ähnlichen Markierungen jeweils sehr ähnliche Farben, Formen und Größen aufweisen. Die mittel ähnlichen Einblendungen erhielten mittel ähnliche Farben, Formen und Größen und die unähnlichen Varianten wurden entsprechend der drei Parameter jeweils unähnlich gewählt.

Die Ähnlichkeitsbestimmung der Farbe erfolgte hier auf Basis der etablierten Farbdistanz ΔE^* (auch Farbabstand bzw. Euklidische Distanz) zweier Farbwerte im CIE-L*a*b*-Farbraum [Com76]. Der Farbabstand wird für zwei Farbwerte p und v entsprechend der folgenden Formel berechnet

$$\Delta E^*_{p,v} = \sqrt{(L^*_p - L^*_v)^2 + (a^*_p - a^*_v)^2 + (b^*_p - b^*_v)^2} \tag{3.1}$$

ΔE^*-Werte zwischen 0 und 0,4 stehen für sehr ähnliche und kaum zu unterscheidende Farbtöne. Werte zwischen 0,5 und 1,0 stehen für die marginale Erkennbarkeit eines Unterschiedes. Werte ab 1,0 repräsentieren deutliche, für jeden wahrnehmbare Farbverschiedenheiten [ISO04, ISO09].

Die Formähnlichkeit wurde festgelegt mittels einer Vorbefragung. In dieser haben 10 Teilnehmer (4 männlich, 6 weiblich, ø 28 Jahre alt) eine Sammlung sechs verschiedener Bilder bewertet.

Das präsentierte Einzelbild enthielt das Foto eines echten Bausteins und nebengestellt einen abstrahierten Baustein mit einer gewissen Form(un)ähnlichkeit (siehe Anhang C.1). Der abstrahierte Baustein unterschied sich nicht in der Farbe von seinem realem Pendant. Er unterschied sich lediglich in Form und Größe. Die Ähnlichkeit der Größe der Bausteinmarkierungen wurde mittelbar durch die Form mitbestimmt. Eine mittel ähnliche Form beinhaltet die leicht veringerte Größe, die nur gerade so von der Originalgröße zu unterscheiden ist. Die unähnliche Form hingegen ist deutlich erkennbar kleiner als das Original. Abb. 3.10 zeigt das Originale Foto des Bausteins und die sechs verschiedenen abstrahierten Optionen von sehr ähnlich bis hin zu einer sehr unähnlichen Form.

Die Einzelvergleichsbilder wurden präsentiert auf dem Bildschirm eines normalen Desktop-Arbeitsplatzes mittels einer automatischen Präsentation mit wechselnden Folien für die Einzelbilder. Die Sequenz der gezeigten Bilder wurde für jede Versuchsperson randomisiert.

Die Darbietung einer Formoption musste sofort bewertet werden, ohne die anderen Varianten zu kennen oder bereits Bewertete wieder aufrufen zu können. Die Bewertung erfolgte nach der Vorgabe, die jeweils aktuelle Form mit einer Note zu bewerten von 1 (für sehr ähnlich) bis hin zu 5 (für sehr unähnlich). Die Werte durften beliebig oft vergeben werden. Tabelle 3.4 zeigt die Ergebnisse der Bewertungen.

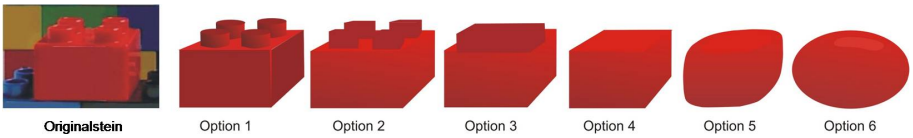


Abbildung 3.10: Die sechs verschiedenen Formoptionen.

Option	1	2	3	4	5	6
Mittelwert	1,1	1,9	2,7	3,3	4,4	5,0
St.Abw.	0,316	0,568	0,823	0,483	0,522	0,0

Tabelle 3.4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Optionen gezeigt in Abb. 3.10.

Auf Basis der Ergebnisse wurde für die sehr ähnliche Variante Option 1 gewählt , da

ihr Mittelwert am nächsten zu Wert 1 („sehr ähnlich“) liegt, für „mittel ähnlich“ Option 4 (am nächsten zur mittleren Bewertung 3 mit geringerer St.-Abw. als Option 3) und für „unähnlich“ Option 6.

Position. Die Positionierung in konformer Form ist durch eine Aufblendung der virtuelen Markierung so vorgenommen, dass die Mittelpunkte der Markierungen auf den Mittelpunkten der frontalen Ansicht der Steine liegen. Dabei ist je nach Formvisualisierung und Größenähnlichkeit der reale Stein teilweise noch sichtbar, teilweise nicht (vgl. Abb.3.11).

Die nebenstehende Positionierung ist so vorgenommen, dass der Hauptanteil der Fläche, die durch die virtuelle Einblendung eingenommen wird, sich nicht auf dem realen Stein befindet. Es ist jedoch gewährleistet, dass die nebenstehende Position immer eine gerinfügige Überlappung mit dem realen Stein aufweist, um einen Restbezug auch ohne Verbindungslinie zum gemeinten Objekt deutlich zu machen. Die Überlapung bzw. die Markierung befindet sich dabei immer in der rechten oberen Ecke des gemeinten Steines.

3.2.2 Methode

Stichprobe.

Am Experiment haben 60 Versuchspersonen teilgenommen (je 50% weiblich bzw. männlich, ø 30,42 Jahre alt). Zudem wurden weder farbenblinde noch generell sehgeschwächte Versuchspersonen ohne ihre Sehhilfe zugelassen. Alle Versuchspersonen gaben an, keine Erfahrungen mit Augmented Reality Technologien und Anzeigen zu haben.

Material.

Der Versuchsaufbau bestand aus einem festgelegten Setting mit herkömmlichen Bausteinen, die verschiedene Farben und Größen aufwiesen und in verschiedenen räumlichen Tiefen (inklusive Verdeckungen) und Höhen angeordnet waren. Die variierten Überblendungensvarianten wurden auf einem Foto des Aufbaus nachträglich vorgenommen. Die Darstellung der überblendeten Fotos erfolgte auf einem gängigen 22"Monitor eines Desktop-Arbeitsplatzes. Abb. 3.11 zeigt die Beispieldarstellungen einiger von den Versuchspersonen zu bearbeitenden Einblendungsvarianten. Die Reihenfolge der gezeigten Augmentierungen wurde für jede Versuchsperson randomisiert.

Ablauf.

Vor Versuchsbeginn wurde den Versuchspersonen eine Präsentation als Instruktion gezeigt (siehe Anhang C.2).

Das gesamte Experiment wurde anschließend durch eine automatisierte Präsentation dargeboten, die durch Klicks und Benotungen zu bedienen war. Für den Test eines einzelnen Parameters wurde zuerst ein Bild mit einer Objektmarkierung gezeigt. Zusätzlich war am unteren Bildschirmrand ein Button angeordnet. Dieser sollte geklickt werden, wenn die Versuchsperson glaubte, verstanden zu haben um welchen Stein es sich handelt. Die Zeit zwischen dem Erscheinen des ersten Bildes und dem Klick wurde gemessen für die benötigte

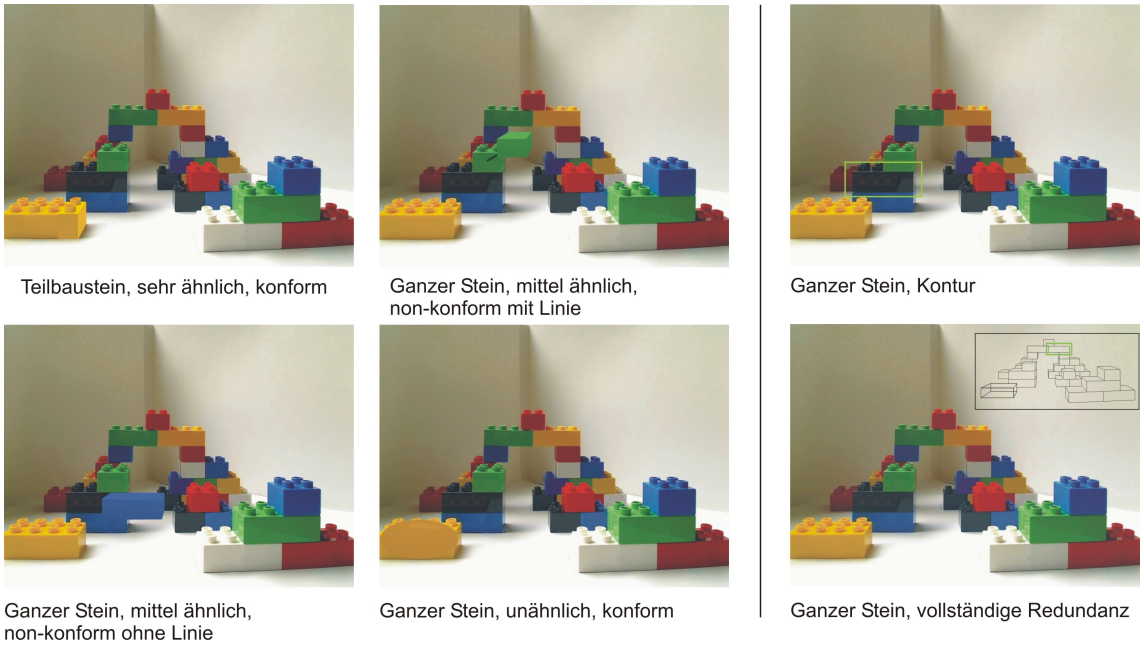


Abbildung 3.11: Beipielbilder der getesteten Einblendungen. Sie zeigen jeweils die Überblendung von Teil- oder ganzen Steinen, konforme und nonkonforme Augmentierungen (mit einer Verbindungslinie zum gemeinten Stein oder keiner Linie), sowie die variierten Ähnlichkeitsstufen. Die redundanten Versionen (rechts, mit zusätzlichem Bildausschnitt in der oberen Ecke) werden nur mithilfe von Konturen markiert, da die Hypothesen bezüglich der Ähnlichkeit (sowie Position) und die der Redundanz unabhängig voneinander getestet wurden, um den Aufwand des Versuches zu reduzieren.

Zeit des Verstehens.

Nach dem Klick erschien ein weiteres Bild des originalen Bausteinsettings jedoch ohne eine Augmentierung. In diesem Bild sollte die Versuchsperson auf den eben markierten Stein klicken. Dabei sollte darauf geachtet werden, möglichst in die Mitte des gemeinten Steines zu klicken, um mögliche Missverständisse mit räumlich dahinter liegenden Steinen vorzubeugen. Die Zeitmessung erfolgte zwischen Erscheinen des Bildes und Klick auf den gemeinten Stein. Ziel war es zum einen, die sichere bzw. unsichere Wahl zu dokumentieren, wobei Unsicherheit zu längeren Entscheidungszeiten führen würde.

Direkt im Anschluss an das gezeigte Originalbild ohne Aufblendung wurde die Versuchsperson nach ihrer Einschätzung der Schwierigkeit des Hinweises befragt. Dazu sollte eine Schulnote (von 1 für sehr einfach bis 5 für sehr schwierig) gegeben werden (Radiobutton anwählen).

Die Versuchspersonen wurden darauf hingewiesen, dass die möglichen Markierungen „auf“ dem gemeinten Stein, „neben“ dem Stein mit einer Verbindungslinie, „neben“ dem Stein ohne eine solche Linie, aber auch in einer rechts oben im Bild befindlichen Übersichtsansicht gezeigt werden können. Die Bildabfolge für einen einzelnen Parameter ist

Position Ähnlichkeit	konform	nonkonform mit Linie	nonkonform ohne Linie
unähnlich	■		
mittel ähnlich		■	■
sehr ähnlich	■		

Tabelle 3.5: 3x3 Design für die Faktorstufen von Ähnlichkeit und Position, graue Quadrate kennzeichnen das vorhandene Beispielbild in Abb. 3.11

Redundanz	keine Kontur	teilweise Redundanz	vollständig Redundanz
	■		■

Tabelle 3.6: Design für die Variation der Redundanz verglichen mit der bloßen Kontur, graue Quadrate kennzeichnen das vorhandene Beispielbild in Abb. 3.11

beispielhaft im Anhang dieser Arbeit abgedruckt in Form der gezeigten Instruktion der Versuchspersonen (siehe C.2).

3.2.3 Design

Es wurde ein Innersubjekt-Design umgesetzt. Für jeden Markierungstyp wurden drei Messungen vorgenommen und entsprechend randomisiert Bausteine im Vorder- und Hintergrund gewählt sowie verschiedene Farbigkeiten. Die getesteten Markierungstypen werden in Tabelle 3.5 und 3.6 zusammengefasst. Sie bezeichnen gleichzeitig die Faktorstufen des 3x3 Designs für die getesteten Positions und Ähnlichkeitsvariationen.

Tabelle 3.6 zeigt das einfaktorielle Design des Parametertests der Redundanz und der Faktorstufen.

Die unabhängigen Variablen werden gebildet durch die genannten Faktoren. Die abhängigen Variablen sind die jeweils gemessenen Zeiten des Verstehens (Bilderscheinen bis Klick „OK“), die Zeit, die für das Finden des Bausteins benötigt wurde (Bilderscheinen bis Positionsklick) und die subjektive Bewertung der Markierungstypen im Anschluss an den Versuch.

3.2.4 Hypothesen

Die nun aufgeführten Hypothesen fassen die erwarteten Ergebnisse des Bausteinexperimentes zusammen. Die Nullhypothese vermutet jeweils keine Mittelwertsunterschiede für die getesteten abhängigen Variablen. Es handelt sich entsprechend im Folgenden um gerichtete

Alternativhypothesen.

- *Redundanz.* Alle Hypothesen zur Redundanz vermuten die Kontur als bestgeeignete Variante, da sie Eigenschaften aufweist (Signalfarbe, keine Verdeckung, usw.) die durch die übrigen Parameterrichtlinien gestützt werden können (vgl. Kap.2.5). Die detaillierte Interpretation wird im Ergebnisteil beschrieben.

  - **H1.1**: Die Objektmarkierung wird schneller verstanden und gefunden, wenn eine Kontur benutzt wird verglichen mit der vollständigen oder der Teilredundanz.
  - **H1.2**: Die Objektmarkierung wird schneller verstanden und gefunden, wenn die vollständige Redundanz benutzt wird verglichen mit der Teilredundanz.
  - **H1.3**: Die Kontur als Objektmarkierung wird besser bewertet als alle Formen der Redundanz.
  - **H1.4**: Die vollständige Redundanz wird besser bewertet als die Teilredundanz.

- *Position.* Die Hypothesen zur Positionierung sind angelehnt an die Theorien der Gestaltpsychologie, die besagen, dass gleiche oder zusammengehörige Positionen (explizite Verbindungen) die Bezugbildung fördern.

  - **H2.1**: Die Objektmarkierung wird schneller verstanden und gefunden, wenn sie konform aufgeblendet wird verglichen mit der nebenstehenden (nonkonformen) Aufblendung (unabhängig davon, ob eine Verbindungslinie benutzt wird oder nicht).
  - **H2.2**: Die Objektmarkierung wird schneller verstanden und gefunden, wenn bei der nebenstehenden (nonkonformen) Aufblendung zusätzlich eine Verbindungslinie benutzt wird verglichen mit der alleinigen nonkonformen Aufblendung.
  - **H2.3**: Konforme Objektmarkierungen werden besser bewertet als nonkonforme.
  - **H2.4**: Nonkonforme Aufblendungen mit Verbindungslinie werden besser bewertet als nonkonforme ohne Linie.

- *Ähnlichkeit.* Die Hypothesen der Ähnlichkeit enstanden auf Basis der Feature Integration Theory von Anne Treisman [TG80, Tre85, TG88], dass kontrastreiche Farbigkeiten oder Texturen, d.h. Farben oder Texturen, die im Hintergrund nicht vorhanden sind, die Aufmerksamkeit auf sich lenken und daher ähnlich dem für AR geltenden Cognitive Tunneling Effekt, die virtuelle Information schnell als solche identifizierbar machen.

  - **H3.1**: Die Objektmarkierung wird schneller verstanden und gefunden, wenn sie ein unähnliches Aussehen besitzt verglichen mit den beiden ähnlicheren Varianten.

- **H3.2**: Die Objektmarkierung wird schneller verstanden und gefunden, wenn sie ein mittel ähnliches Aussehen besitzt verglichen mit der sehr ähnlichen Variante.
- **H3.3**: Unähnliche Aufblendungen werden besser bewertet als die beiden anderen Ähnlichkeitsstufen.
- **H3.4**: Mittel ähnliche Aufblendungen werden besser bewertet als sehr Ähnliche.

3.2.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in der Reihenfolge der Hypothesen beschrieben. Die Auswertung erfolgte mittels ein- oder zweifaktorieller Vaianzanalysen (Signifikanzniveau 5%) bzw. für anschließende paarweise Mittelwertsvergleiche mittels des Bonferroni-Tests. Es gab aufgrund des Versuchsaufbaus keine fehlenden Messwerte oder Benotungen. Im Versuchsablauf konnte der jeweils nächste Schritt nur erreicht werden, wenn der aktuelle Messwert oder die Benotung gespeichert war (also ein Klick gemacht wurde). Für die Datenanalyse erfolgten entsprechend keine Messwertersetzungen.

Redundanz. Bezüglich der Redundanz kann die Alternativhypothese H 1.1 gestützt werden. Die Nullhypothese wird entsprechend zurückgewiesen für den Vergleich der Verstehenszeiten. Die Varianzanalyse stützt die Erwartung eines Haupteffektes für den Vergleich zwischen Kontur und Redundanzformen ($F(2,118) = 58,896, p <,000^*$). In den Einzelmittelwertsvergleichen ergaben sich folgende Unterschiede. Die Kontur wurde signifikant schneller verstanden als die redundanten Formen ($p <,000^*$). In den Verstehenszeiten ergaben sich jedoch keine Unterschiede zwischen den Redundanzversionen.

Im Versuchsschritt des Wiederfindes des nicht markierten Steines ergaben sich hingegen nur tendenziell sign. Unterschiede für die Visualisierungsvarianten ($F(2,118) = 2,568$, $p =,068$).

Darüber hinaus kann auch die Hypothese H 1.3 gestützt werden ($F(2,118) = 14,563$, $p <,000^*$). Die Kontur wurde signifikant besser bewertet als die beiden Redundanzformen ($p <,000^*$). Der Mittelwertsvergleich der Bewertungen der beiden Redundanzvarianten ergab keinen signifikanten Unterschied. Die Hypothese H 1.4 muss zurückgewiesen und die Nullhypothese angenommen werden.

Position. Die Erwartungen die Positionierung betreffend haben sich nicht bestätigen können bei der Auswertung. Nahezu alle Hypothesen, die die konforme Aufblendung bevorzugen, müssen zurückgewiesen werden. In den meisten Fällen ergab sich die nonkonforme Aufblendung mit einer Verbindungslinie als beste Form. Dazu konnte ein signifikanter Haupteffekt für die Detektion (die Verstehenszeit) (H 2.1, $F(2,118) = 41,726$, $p <,000$) gefunden werden. Auch das Wiederfinden ergab einen tendeziell signifikanten Unterschied der jeweils benötigten Zeiten ($F(2,118) = 3,235$, $p =,053$). Wird die Markierung direkt aufgeblendet (konform) so ergeben sich für die Detektion die schlechtesten Zeitwerte. Die Versuchspersonen hatten grundsätzlich weniger Schwierigkeiten mit einer distanzierten

Augmentierung ($p <, 000^*$), am wenigsten jedoch, wenn zusätzlich eine Verbindungslinie benutzt wurde($p <, 000^*$). Nebenstehend positionierte Markierungen unterstützten die Detektion zwar besser als die konforme Aufblendung. Die nebenstehende Variante ohne Linie war aber dennoch signifikant schlechter als die gleiche Positionierung mit einer verwendeten Linie ($p <, 000*$). Damit kann H2.2 bestätigt und die entsprechende Nullhypothese diesbezüglich zurückgewiesen werden. Ähnliche Effekte ergaben sich auch für die Aufgabe des Wiederfindens des Steins im nicht augmentierten Bild.

Die nonkonforme Aufblendung mit Verbindnungslinie erhält auch die besten Nutzerbewertungen (H 2.3, F(2,118)= 14,355, p$<, 000^*$). Der Unterschied in den Ratings ist dabei sowohl zur Variante ohne Linie als auch zur konformen Variante signifikant ($p <, 001$ und $p <, 001$). Damit wird die Hypothese 2.3 abgelehnt und die Hypthese 2.4 gestützt.

Ähnlichkeit. Bei der Ähnlichkeitsanalyse sind erwartete Effekte aufgetreten bezüglich des Verstehens und Wiederfindens der Markierung. Die Ähnlichkeitsstufen unterscheiden sich signifikant voneinander (H 3.1, Verstehen: $F(2, 118) = 4, 940, p = 0, 013$ und Wiederfinden: $F(2, 118) = 10, 963, p <, 000^*$). Wie angenommen, unterstützt die unähnliche Markierung die Detektion am besten (unähnlich vs. mittel ähnlich $p <, 001$). Die Zeit, die benötigt wurde, um das Ziel auch im originalen Bild zu finden, ergab ebenso die signifikant beste Zeit für die unähnliche Form (unähnlich zu mittel ähnlich ($p <, 001$). Entsprechend können die Hypothesen H 3.1 und H 3.2 gestützt werden.

Signifikant wurden auch die Bewertungsunterschiede für die Ähnlichkeit ($F(2, 118) = 5, 9$, $p =, 004$). Die Bewertungsanalyse konnte jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen mittel ähnlichen und sehr ähnlichen Überblendungen nachweisen. Sie wurden beide etwa gleich schlecht bewertet. Damit wird Hypothese H 3.4 zurückgewiesen. Wiederum signifikant besser bewertet wurden jedoch die unähnlichen Varianten ($p <, 001$). Damit kann Hypothese 3.3 gestützt werden.

Die Ergebnisse sind in Abb. 3.12 grafisch zusammengefasst.

In diesem Zusammenhang soll nochmals detaillierter auf die Varianten Umriss und unähnliche Form eingegangen werden. Basierend auf dem vorherigen Wissen, lautet die Annahme, dass bereits wahrnehmbare Unterschiede in der Farbe oder Form genügen, um schnelle Detektionszeiten zu fördern. Ein Umriss ist in diesem Sinne nichts anderes als eine sehr unähnliche Form (2D Kontur für eine dreidimensionale Form ohne Textur). Der Unterschied muss entsprechend für mindestens einen Parameter wahrnehmbar oder auch für mehrere Parameter deutlicher sein, so dass dennoch eine eindeutige Zuweisung zum realen Objekt möglich ist, z.B. durch die Nutzung einer eindeutigen Position (wie beim Umriss). Im Mittelwertsvergleich der Varianten Umriss und unähnliche, nonkonforme Steinmarkierung (mit Verbindungslinie) ergaben sich vor diesem Hintergrund keine signifikanten Unterschiede. Der Umriss als unähnlichste der verwendeten Formen ist entsprechend schnell detektierbar und sehr gut bewertet. Nicht viel schlechter jedoch sind auch weniger entfernte

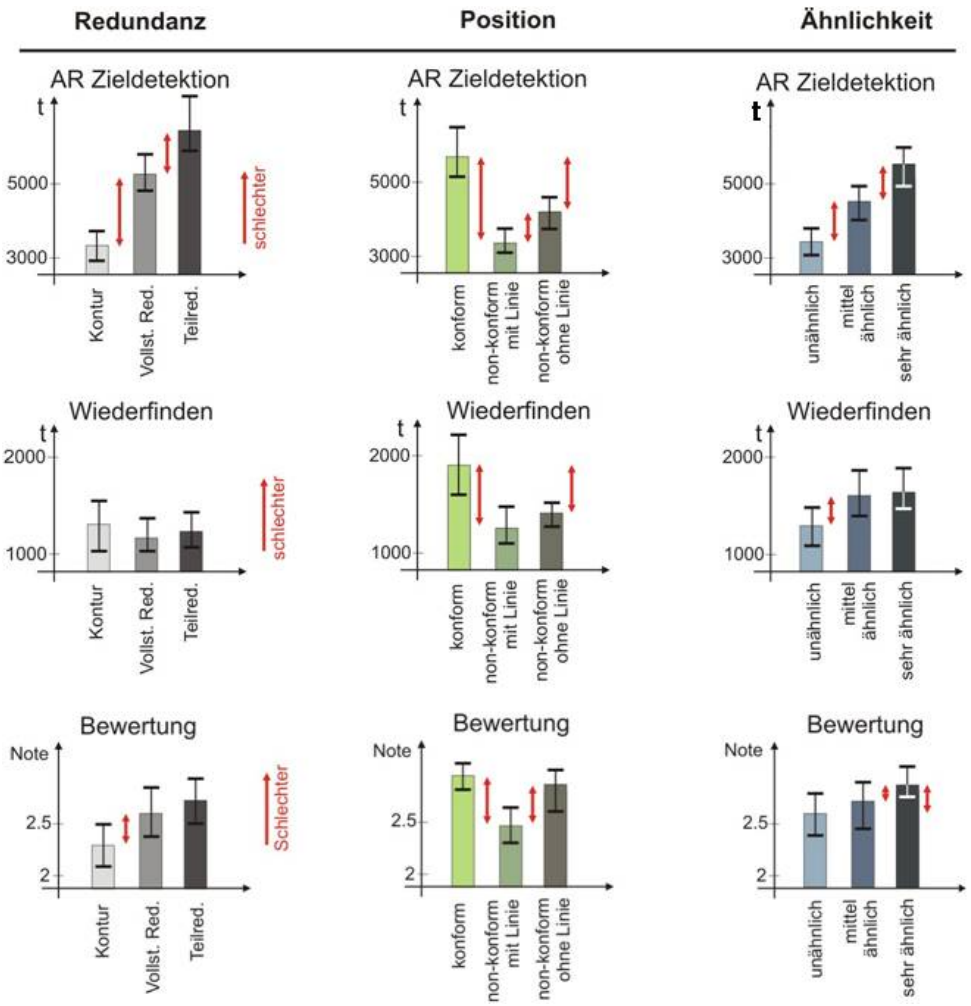


Abbildung 3.12: Diagramme für die Redundanzergebnisse und Hypothesen H 1.1 bis H 1.4 links, Diagramme für die Positionsergebnisse und Hypothesen H2.1 bis H 2.4 Mitte, Diagramme für die Ähnlichkeitsergebnisse und Hypothesen 3.1 bis 3.4 rechts; (t in ms, alle Werte sind Mittelwerte)

Steinmarkierungen, die, wenn sie nonkonform aufgeblendet werden (wie im View Management verlangt), dennoch mehr Hiwneise ihrer Zugehörigkeit enthalten. Damit können beide Varianten als nutzergerechte Markierungsalternativen angesehen werden.

Interaktionen. Die Effekte der Ähnlichkeit und Position sind nicht unabhängig voneinander. Es ergeben sich sowohl für das Verstehen, das Wiederfinden als auch in den Bewertungen signifikante Einflüsse durch die Interaktion von Ähnlichkeit und Position (Verstehen $F(4, 236) = 27,218, p <,000^*$; Wiederfinden $F(4, 236) = 2,489, p <,05$; Bewertungen $F(4, 236) = 4,612, p = 0,001$). In Abb. 3.13 ist eine detailliertere Ansicht der Zusammenhänge zu sehen, bei der eine Positionsstufe schlechter oder besser verstanden wird je nach genutzter Ähnlichkeit der Darstellung und umgekehrt. Wird eine konforme Aufblendung genutzt, so muss die Ähnlichkeit mindestens mittel ähnlich, besser unähnlich sein, um die

visuelle Suche zu unterstützen. Mit jeder weiteren Abstraktion wird dieser Effekt noch verstärkt. Wird hingegen eine nebenstehende Einblendung ohne Verbindungslinie genutzt, so kann die Ähnlichkeitsverstärkung helfen, dennoch eine schnelle Zuordnung der Objekte zu ermöglichen. Die Suchzeiten würden sich veringern. Dieses Resultat unterstreicht (einmal mehr) die Theorien der visuellen Suche, bei der die sogenannten visuellen Schlüssel eines Bildes (engl. visual cues) die Aufmerksamkeit lenken und einander ausbalancieren. Bspw. kann eine besondere Farbe ein Objekt hervorheben, wenn es durch seine Form kaum von den anderen sichtbaren Objekten zu unterscheiden ist [Wol94].

Hieraus erklärt sich auch der Erfolg des Umrisses in den Vergleichen mit den redundanten Formen. Der übergreifende Blick hinsichtlich des Vergleiches mit der Position und Ähnlichkeit ergibt, dass in nahezu allen abhängigen Variablen die Kontur ähnlich gut abschneidet wie die unähnliche Direktaufblendung. Das ist wenig verwunderlch angesichts der Tatsache, dass die Kontur selbst eine unähnliche Direktaufblendung ist, deren Farbigkeit sich noch sehr viel deutlicher von der des gemeinten Objektes abhebt, aber dennoch die Zuordnung zweifelsfrei möglich ist durch die Abgrenzung „von außen“ in Rahmenform. Lediglich die Klickgenauigkeit leidet, da die Kontur größer ist als die Originalform und demzufolge die Versuchspersonen möglicherweise toleranter mit dem gemeinten Zentrum des Objektes umgehen.

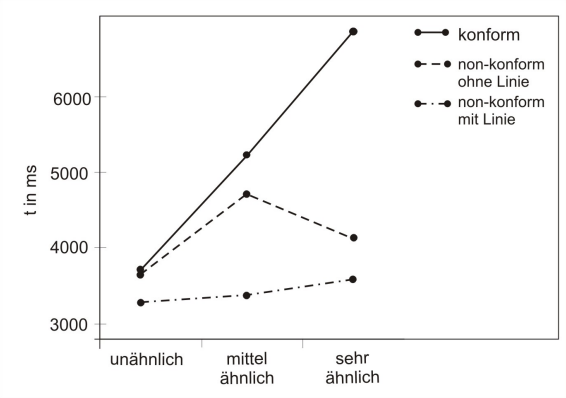


Abbildung 3.13: Interaktion der Position und Ähnlichkeit bezüglich der Detektionszeiten.

3.2.6 Diskussion und abgeleitete Gestaltungsrichtlinien

Die Ergebnisse des Experimentes zur Objektmarkierung können als Bestätigung offensichtlicher Effekte angesehen werden, die auch bereits in verschiedenen AR Anwendungen intuitiv eingesetzt werden. Dennoch ist es wichtig, die Effekte der gesammelten AR spezifischen Parameter zu untersuchen, zum einen um Zusammenhänge und Strukturen zu erarbeiten für ein Bottom-Up Verfahren und die Alternativenbildung zu ermöglichen. Sie sind zudem aber auch nötig, um für die geplanten Fuzzy Regelsätze eine brauchbare Datenbasis zu

erstellen. Durch präzisere Werte für alle aufgelisteten Visualisierungsparameter wäre die Verarbeitung der Regelsätze auch ohne Fuzzy Logic denkbar, diese existieren jedoch nicht flächendeckend. Mit den hier durchgeführten Experimenten konnte nun ein erster Schritt gemacht werden. Innerhalb der Experimente sind darüber hinaus alternative Visualisierungen sichtbar geworden, die für die Wahrnehmungsverbesserung ebenso einsetzbar sind, wenn die bestmögliche Visualisierung aufgrund von bestimmten Abhängigkeiten nicht verwendet werden kann.

Für dieses Experiment wurden keine Echtzeiteinblendungen benutzt, da sie zum einen AR Marker benötigen. Diese sind schwarz-weiße eindeutige Muster in einer für die Kamera auflösbaren Größe, die auf dem realen Objekt befindlich und voneinander unterscheidbar sein müssen. Dies könnte im Experiment zu Verzerrungen führen, da sie von den Versuchspersonen als Orientierung benutzt werden können, bspw. wenn einer dieser Marker plötzlich fehlt, ist er wahrscheinlich überblendet worden. Es wird also nicht die getestete Objektmarkierung gefunden, sondern der nicht mehr vorhandene AR Marker und aus diesem Grund dann auch die Steinmarkierung. Besonders schwierig wäre dies in den redundanten Versionen.

Zum anderen sind Echtzeitüberblendungen derzeit noch nicht im Detail technisch ausgereift. Nutzbare AR Software hat oftmals nur eingeschränkte Farbpaletten zur Verfügung. Die hier notwendige Variation der Farbwerte im einstelligen Bereich des Farbraumes ist schlicht nicht möglich, so dass sich die Markierungen zum Teil sehr gut der Farbigkeit des realen Steins annähern, andere wiederum völlig verschieden sind und daher schneller detektiert werden können und somit Ergebnisse verzerren. Abb. 3.14 zeigt eine solche Echtzeitüberblendung.

Abbildung 3.14: Echtzeiteinblendungsbeispiel mit zu großem Farbabstand, Formkontrast- und Positionsfehlern.

Schlussendlich sind Echtzeitüberblendungen leider aktuell noch nicht frei von Berechnungslatenzen, so dass teilweise Augmentierungen nicht flüssig sondern „ruckelig“ erscheinen. Sie verursachen im Ergebnisbild kleinste Bewegungen, diese vor allem bei echten (also wechselnden) Lichtverhältnissen und Nutzerpositionsveränderungen. Deren (wenn auch nur winzige) Bewegungen oder wechselnde Schattenbildungen müssen durch die Registrierung

ausgeglichen werden und führen ebenso zu ruckelnden Aufblendungen. Die Nutzerposition selbst, auch wenn sie für eine Person unter schwierigen Umständen konstant gehalten werden kann, bringt zusätzlich Verzerrungen in den Gesamtdaten, aufgrund der verschiedenen Perspektiven aller Versuchspersonen (Körpergröße, Kopfhaltung, etc.).

Insgesamt bedeutet dies, dass eine Aufblendung mit der aktuellen Technik nicht bewegungsfrei erfolgen kann. Eine Aufblendung ist daher allein aufgrund dieser „Animation“ sofort zu detektieren, wie bereits aus sehr vielen Studien auch zu 2D Desktopvisualisierungen und der Kognitionspsychologie bekannt. In diesem Experiment soll es jedoch um die Technik-unabhängige Visualisierungsanpassung gehen, die es verlangt von bestmöglichen Verhältnissen auszugehen, die zweifelsohne in ein paar Jahren für AR erreicht sein wird.

Weiterhin ist kritisch anzumerken, dass die Unterschiede der Stufen des Ähnlichkeitsfaktors in manchen Fällen nicht alle Teile des realen Steines verdecken, wenn konform positioniert wird. Unähnliche Formen sind oval und lassen die Ecken eines Steines erkennen. So ist eventuell die signifikant bessere unähnliche konforme Einblendungsart ursächlich auf die bereits etablierte Erkenntnis aus dem View Mangement zurückzuführen, wonach relevante Objekte des Sichtfeldes möglichst sichtbar gehalten werden sollen. Die Ursache des Effektes ist für die Sammlung der Richtlinien jedoch irrelevant.

Gestaltungsrichtlinien.

Tabelle 3.7 zeigt noch einmal die Übersicht der erhaltenen Ergebnisse für die Parameter(interakionen).

Faktoren	Zeit Verstehen	Zeit Wiederfinden	Bewertungen
Redundanz	sign.	–	sign.
Ähnlichkeit	sign.	sign.	sign.
Position	sign.	sign.	sign.
Interaktion: Ähnlichkeit/Position	sign.	sign.	sign.

Tabelle 3.7: Übersicht der Ergebnisse.

Die Gestaltungsrichtlinien basierend auf den hier erhaltenen Ergebnissen sind entsprechend:

- Die Redundanz (in beiden Formen) vereinfacht die Bezugbildung nicht. Die Nutzung eines Umrisses zur Hervorhebung des gemeinten Objektes ist die bessere Visualisierungsform. Jedoch sollte die Farbe der Umrisslinien keiner der Farben aus dem Hintergrund entsprechen, um sich abzuheben. Wird dennoch eine redundante Darstellung gewählt, so sollte sie einen großen Überblick bieten oder ein Setting vollständig darstellen. Teilredundanzen werden schlechter verstanden, da die wieder-

holten Informationen erst in das reale Setting eingeordnet werden müssen, um den gezeigten Teil zu finden.

- Die bestmögliche Positionierung einer Einblendung ist die nonkonforme Einblendung unter Nutzung einer Verbindungslinie. Dieses Ergebnis entspricht den kontroversen Erkenntnissen des AR View Management, das möglichst wenig Verdeckungen relevanter realer Objekte zulässt. Sie kann eventuell folgendermaßen interpretiert werden: Wird durch die nur halb verdeckende konforme Positionierung eine Sichtbarkeit des gemeinten Objektes erreicht, so kann eventuell verschmerzt werden, dass andere nebenstehende reale Objekte ebenso halb verdeckt werden. Die Positionierung muss entsprechend in Abhängigkeit der Informationsgefüge im gesamten Sichtfeld des Nutzers angepasst werden und u.U. auf andere Parameter der Bezugbildung ausgewichen werden.

- Die Ähnlichkeit ist abhängig von anderen Parametern einzusetzen. Es gilt, je unähnlicher die Augmentierung ist, desto objektiv leichter und subjektiv besser ist sie auch detektierbar. Die Bezugherstellung verhält sich hingegen umgekehrt proportional. Je unähnlicher die Einblendung, desto schwerer fällt die Bezugherstellung allein auf Basis der Ähnlichkeit (vgl. nachfolgende Richtlinie). An dieser Stelle ist anzunehmen, dass jede Form von Unähnlichkeit, also jede einzelne unähnliche Parameterauprägung dazu führt, dass die Markierung schneller und leichter zu finden ist. Diese Annahme wird gestützt durch die Tatsache, dass auch die mittel ähnliche Variante nicht unbedingt förderlich ist, auch wenn sie sichtbare Unterschiede zum realen Objekt aufweist. Daraus ist zu schlussfolgern, dass es einen Schwellwert (Minimum) geben muss, der für mindestens einen Visualisierungsparameter überschritten werden muss, um genügend Kontrast zum realen Objekt zu schaffen. Dies entspricht den Theorien der Visuellen Suche, die über Ebenenmodelle die kognitive Verarbeitung der Parameter erklären. Sie können so, getrennt voneinander, für die Aufmerksamkeitslenkung auch einzeln ausreichen [Wol94]. Ein weiterer Schwellwert (Maximum) muss entsprechend auch für die Feststellung der Relationen zwischen dem virtuellen und realen Objekt existieren, der festlegt, wieviele und welche Parameterwertekombinationen einen Zusammenhang noch erkennbar machen.

- Die Positionierung und Nutzung der Ähnlichkeit kann bzw. muss alternativ verwendet werden. Ist eine der optimalen Parameterausprägungen laut Richtlinie aufgrund anderer Abhängigkeiten nicht nutzbar, so kann diese durch die geeignete Anpassung des anderen Parameters ausgeglichen werden. So sind nonkonforme, ähnliche Einblendungen ohne Verbindungslinie etwa gleich effektiv wie unähnliche Varianten, die konform aber in unähnlicher Form aufgeblendet werden.

3.3 Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse

Am Ende von Kapitel 2.5 wurde eine Tabelle erarbeitet, die die offenen Fragen der Richtlinien für 2D InfoVis und AR Parameter aufzeigt (vgl. Tabelle 2.5). Die Experimente wurden zur Klärung dieser Lücken durchgeführt und ergeben zusammenfassend die Richtlinien für eine konsistente Wissensbasis, die im Anschluss für das Expertensystem zur Regelsatzerstellung genutzt werden kann.

Die Ergebnisse sollen im Folgenden zusammengefasst und eingeordnet werden. In der Tabelle wurden die Aufgaben einer AR Visualisierung getrennt nach Parameterrichtlinien, die eine Bezugherstellung zwischen Realem und Virtuellem vereinfachen und den Richtlinien, die die eigentliche Informationsdarstellung eindeutig gestalten sollen. Mit den hier durchgeführten Experimenten wurden vornehmlich die offenen Fragestellungen bezüglich der geeigneten Parameterrichtlinien für die Bezugbildung zwischen virtueller Einblendung und realer Information bzw. realem Objekt untersucht. Die Bezugbildung macht die Spezifik der Darstellung von AR Informationen aus und wurde daher fokussiert.

Die Untersuchungen konzentrieren sich dafür auf die Objektähnlichkeit (bzw. den Realismus) zwischen Virtuellem und Realem sowie auf die mögliche Nutzung der Redundanz als Zusammenfassung der Vorteile konformer und nonkonformer Aufblendungsmethoden. Diese beiden Parameterausprägungen wurden dabei für sowohl den abstrakten als auch für den physisch existierenden Objektbezug getestet. Aber auch die Parameter Positionierung und Ausprägungen der Animation wurden untersucht.

Der abstrakte Objektbezug, hier durch die Darstellung einer Richtung in einem Innenraum umgesetzt, orientiert sich grob am späteren Anwendungsfeld der Intelligenten Küche. Er beinhaltet jedoch generische Ansätze hinsichtlich der Einblendungsmöglichkeiten, deren Ziel die Bezugherstellung zu einem nur in der Kognition des Nutzers vorhandenen Item ist (wie die Richtung). Ähnliche Anwendungen sind bspw. meteorologische Dateneinblendungen. Temperaturen sind ebenso nicht physisch vorhanden wie auch Himmelsrichtungen. Der Nutzer hat jedoch eine Wissensbasis, die (innerhalb bekannter Visualisierungstypen) die Interpretation (der Symbolik) ermöglichen im Zusammenhang mit dem Nutzerkontext. Befindet sich eine Person in einem Innenraum, so sind bei eingeblendeten Zahlen mit der Einheit $°C$ wahrscheinlich Temperaturen für diesen Raum gemeint. Die Visualisierung kann jedoch auch durch die genutzte Symbolik (Wolke, Thermometer), Position, Farbgebung, Farbkodierung usw. einen genaueren Teil des Raumes (Herd) oder aber die Außentemperatur gemeint haben. Dabei sind nicht in jedem Fall Annotationen notwendig, manchmal sogar hinderlich.

Die physisch vorhandenen Objekte der Bausteine zeigen ebenso keinerlei Vorteile der Interpretation durch die genutzte Redundanz. Die Bausteinobjekte sind hier absichtlich einfach gehalten als mögliche Schaffung generischer Ergebnisse durch die Experimente.

Einschränkend muss jedoch auf die sehr geringe Zahl der Tiefenebenen und den verwendeten selben Hintergrund des Settings verwiesen werden. Die Ergebnisse können daher nicht auf heterogenere Objekte und wechselnde Settings für die Objekte übertragen werden. Diese sind aller Vorraussicht nach stärker abhängig von den Beschaffenheiten und Informationsgefügen des Sichtfeldes. Für die intelligente Küche ist jedoch von einer Laborähnlichen Versuchsumgebung auszugehen mit homogenen Augmentierungsflächen (da vorgegeben aufgebaut) und definierten Objektarten und -anzahlen. Für geringfügige Abwandlungen der Objektart werden diese Ergebnisse daher genutzt und auch empfohlen, sollten für heterogenere Zusammensetzungen der Bilder jedoch explizit geprüft werden.

Die Verwendung der AR spezifischen Redundanz ist für Richtungsangaben und für physisch vorhandene Objekte nicht unbedingt nötig bzw. sogar hinderlich. Der Realismus einer Karteninformation hat ebenso keinen Einfluss auf das Verständnis. Die genutzte Ähnlichkeit einer Objektmarkierung für physische Objekte ist hingegen von essentieller Bedeutung. Sie muss jedoch in Abhängigkeit zu möglichen Positionierungen der Einblendung verwendet werden, die durch das Informationsgefüge des Sichtfeldes beschränkt werden.

Das Ergebnis des Bausteinexperimentes zeigt, hoher Realismus (große Ähnlichkeit) fördert die Immersion nicht in besonderem Maße aber erschwert die Detektion hingegen unverhältnismäßig. Um nicht Cognitive Tunneling Effekte zu fördern durch eine stark hervorstechende Abstraktion, ist es jedoch auch zu empfehlen, keine zu starke Abstraktion zu nutzen. Die bestmögliche Markierungsform ist entsprechend die nonkonforme mit Linie genutzte Positionierung einer unähnlichen („restähnlichen“) Markierung. Sie ist schnell detektierbar und wirkt Cognitive Tunneling Effekten entgegen durch eingebettete realistische/ähnliche Objektzüge.

Zusammenfassend gelingt die Bezugherstellung demnach auf Basis der Kombination von verschiedenen Parametern, die nicht alle optimal gestaltet werden müssen. Kann für einen Parameter nicht die am besten geeignete Form angewendet werden, so kann dies mit anderen verfügbaren Parametern ausgeglichen werden, ohne den Nutzer zu beeinträchtigen. Ist bspw. eine nonkonforme Position ungünstig, weil wichtige Nebeninformationen des Sichtfeldes dadurch verdeckt würden, so kann eine etwa gleich gut geeignete konforme Positionierung genutzt werden, die eine unähnliche Markierung nutzt (unähnliches, schematisches Objekt(symbol) oder eventuell ein Umriss).

Die folgende vervollständigte Tabelle aus Kapitel 2.5 fasst die erhaltenen Ergebnisse zusammen. Die damit verbundenen Richtlinien bilden anschließend die Grundlage für die Erstellung der Wissensbasis. Darüber hinaus kann anhand der erhaltenen Ergebnisse der Experimente eine Datenbasis der Visualisierungsentscheidung in der Form eines Fuzzy Expertensystems erstellt werden. Damit sind Grenzen der ausreichenden Parameteranpassung gegeben, die die das beabsichtigte Bottom-Up Verfahren stützen.

	Für AR nutzbare Richtlinien der Visualisierungsoptimierung		
		Bezugherstellung zwischen realem und virtuellem Informationsanteil	Inhaltliche Eindeutigkeit der InfoVis
InfoVis Parameter	Weiterführende AR Parameter		
Spektrum Grafik <-> Text	Homogenität		Eine grafische Darstellung vereinfacht die Wahrnehmung für 2D.
Spektrum Animation <-> stat. Bild	Animation/ Bewegungsparallaxe	Für die Darstellung einer propagierten Richtung als Objektmanipulation ist die Animation förderlich, wenn eine einfache/symbolhafte Visualisierung verwendet wird. Die Bewegungsart- und geschwindigkeit sollte dem realen Pendant entsprechen.	Animiertes wird priorisiert wahrgenommen. (Cognitive Tunneling)
Position	Dimensionalität/ Depth Cues, Gestalt Gesetze, Konforme und nonkonforme Überblendung	Die Dimensionalität und Tiefenposition sollte der des realen Pendants entsprechen. Man schafft Zugehörigkeit durch die Nutzung der Gestalt Gesetze. Nonkonforme Positionierungen sind zu bevorzugen. Sie sollten jedoch mit einer Verbindungslinie zum realen bezugsobjekt versehen werden. Zudem ist die Positionierung abhängig von der verwendeten Ähnlichkeitsausprägung.	Registrierte Informationen (einer Tiefenebene des Bildes zugeordnet) vereinfachen deren Wahrnehmung. Die gemeinte reale Information sollte sichtbar bleiben.
Größe	Realismus/Ähnlichkeit, Gestalt Gesetze	Unähnliche Darstellungen fördern die Detektionsleistung. Es sollte jedoch eine Restähnlichkeit für die Bezugbildung belassen werden in Abh. Von der genutzten Positionierung.	Je wichtiger die Information, desto größer ist sie zu gestalten im Verhältnis zu Restinformationen.
Wertigkeit	Gestalt Gesetze	Die Wertigkeiten sollten einander entsprechen.	
Relation	Gruppierung	Die Gruppierung virtueller Informationen ist zu vermeiden.	Je wichtiger die Information , desto exponierter ist sie zu positionieren (Bildschirmmitte).
Textur Farbe	Homogenität, Realismus/ Ähnlichkeit, Gestalt Gesetze	Unähnliche Darstellungen fördern die Detektionsleistung. Es sollte jedoch eine Restähnlichkeit für die Bezugbildung belassen werden in Abh. von der genutzten Positionierung. Wenn nnkonform -> restähnlich, wenn konform möglichst unähnlich.	Die Homogenität bzw. Heterogenität kann genutzt werden, um Lesbarkeiten von Annotationen zu verbessern. Mittels Signalfarben, -texturen kann ein hoher Kontrast erzielt werden.

Abbildung 3.15: Vollständige Tabelle der Richtlinien mit ersetzen Lücken bzw. Widersprüchen.

		Für AR nutzbare Richtlinien der Visualisierungsoptimierung	
		Bezugherstellung zwischen realem und virtuellem Informationsanteil	Inhaltliche Eindeutigkeit der InfoVis
InfoVis Parameter	Weiterführende AR Parameter		
Konturform	Realismus/ Ähnlichkeit	Unähnliche Darstellungen fördern die Detektionsleistung. Es sollte jedoch eine Restähnlichkeit für die Bezugbildung belassen werden in Abh. von der genutzten Positionierung. Wenn nonkonform -> restähnlich, wenn konform möglichst unähnlich.	Symbolhafte Konturformen verdeutlichen sonst grafisch aufwendige Informationen.
Orientierung	Dimensionalität	Dimensionen sollten einander entsprechen (3D).	...
	Transparenz	Transparenz ermöglicht konforme Darstellungen mit sichtbarem Realteil, bedeutet bei falschen Tiefenreizen aber auch Mehrdeutigkeiten.	Die gemeinte reale Information sollte sichtbar bleiben.
	Redundanz	Es sollte keine Redundanz verwendet werden. Wird sie dennoch verwendet, sollte sie sich bemühen, alle sichtbaren Objektes des FOV zu wiederholen. Teilredundanzen sind immer zu vermeiden.	Die gemeinte reale Information sollte sichtbar bleiben.

Kapitel 4

Verfahren der Visualisierungssynthese

Alle gesammelten Parameter und Richtlinien der vorigen beiden Kapitel, sowie Taxonomien werden nun im Folgenden als fertige Einzelkomponente im Sinne einer in Regelform vorliegenden Wissenbasis betrachtet. An dieser Stelle wird entsprechend auf die zweite Hauptfragestellung der Gesamtarbeit eingegangen (siehe Kapitel 1.2). Wie kann eine automatisierte Visualisierungsanpassung für AR Anzeigen geschaffen werden?

Im Folgenden werden dazu verschiedene bekannte Vorgehen der Visualisierungssynthese vorgestellt, erklärt und hinsichtlich der Anwendbarkeit für die Problemlösung beurteilt. Es gilt dabei, ein Verfahren zu finden, das mit einem Bottom-Up Ansatz automatisierte Einzelparameteranpassungen auf Basis vorliegender Kontextinformationen ermöglicht. Die Kontextinformationen dienen hier der Spezifizierung der Einflussparameterausprägungen nach der Taxonomie von Pfitzner (siehe Kapitel 2.3.2).

Durch die unterschiedliche Einordnung der in Frage kommenden Verfahren ergibt sich ein für diese Arbeit neu erarbeitetes Konzept der Visualisierungssynthese. Dafür wird das aktuelle Bottom-Up Verfahren des Visualsization Exploration Model (VEM) kombiniert mit einem Fuzzy Expertensystem. Das VEM enthält jedoch zum aktuellen Zeitpunkt keine Festlegungen für die Wissensgrundlage der Wertzuweisungen für die Einzelparameter der Darstellung nach denen transformiert werden sollen. Durch die Kombination des VEM mit einem Fuzzy Expertensystem ist es möglich, alle gesammelten Parameterrichtlinien der vorigen Kapitel als eine solche Wissenbasis einzubinden. Diese bildet dann die Berechnungsgrundlage der Einzelparametertransformationen des VEM.

Im anschließenden Kapitel der Softwareentwicklung für den Use Case der Intelligenten Küche wird das hier erarbeitete Konzept dann exemplarisch umgesetzt.

4.1 Visualisierungspipeline und Visualisierungstechniken

4.1.1 Visualisierungspipeline

Die Einzelschritte der allgemeinen Erstellung einer InfoVis (auch KnowVis) werden als Visualisierungspipeline bezeichnet. Darin werden die Rohdaten vorerst gefiltert je nach Fokus des Visualisierungszieles. Anschließend folgt der Kern der gesamten Visualisierung. Für die ausgewählten Daten werden Parameteranpassungen vorgenommen. Für wissenschaftliche Visualisierungen sind dies vor allem Transformationen der Daten hin zu geometrischen Primitiven (Text, Formen, usw.). Diese Übersetzung erfolgt zumeist per Hand durch den Ausführenden. Das Rendering beinhaltet die Bildgenerierung. Hier werden aus den geometrischen Primitiven bildhafte Darstellungen gemacht. Das Ergebnis ist dann ein Bild. Abb.4.1 zeigt die Schritte der Visualisierungspipeline. [SM99].

Abbildung 4.1: Visualisierungspipeline nach [SM99].

4.1.2 2D Visualisierungstechniken

Die Techniken der InfoVis[1] bezeichnen alternative Möglichkeiten der Bilderstellung, die das Mapping und Rendering der Visualisierungspipeline umfassen. Sie können jedoch nicht immer in diese beiden Teilschritte aufgegliedert werden. Viele Techniken bezeichnen dabei typischerweise Top-Down Ansätze der Erstellung visueller Repräsentationen. Die möglichen Varianten werden lediglich durch den Daten- und Aufgabentyp beschränkt. Die Techniken gelten zudem als etabliert für gängige Datensätze wie Bevölkerungsdichten, wirtschaftliche oder geophysische Daten aber auch für abstrakte Konstrukte wie mentale Modelle oder Zielvorstellungen eines Produktes. Für die „gewohnte“ Ansicht einer Datenmenge werden die Techniken der Erstellung daher kaum verändert.

Eine Übersicht bietet dazu das „Periodensystem der Visualisierungsmethoden“, das die gängigen Methoden fasst und interaktiv erlebbar macht (siehe Abb. 4.2) [Lit11].

Ein typischer Ablauf der Lösungsberechnung stellt sich wie folgt dar. Für eine 2D Visualisierung wird in einem ersten Schritt eine der Methoden ausgewählt unter denen, die für den aktuellen Datentyp (z.B. Bevölkerungsdichten) anwendbar sind, bspw. ein Histogramm. Im zweiten Schritt werden die vorhandenen Daten auf die Darstellungsart gemappt. Im Falle des Beispieles werden die quantitativen Daten der Bevölkerungsdichten geordnet und in Balkenhöhen transformiert, die in einem Diagramm aneinandergereiht werden und Beschriftungen für die jeweiligen Nationen erhalten, sowie Skalenwerte der Y-Achse.

[1] 2D InfoVis schließt hier auch Pseudo 3D Darstellungen ein.

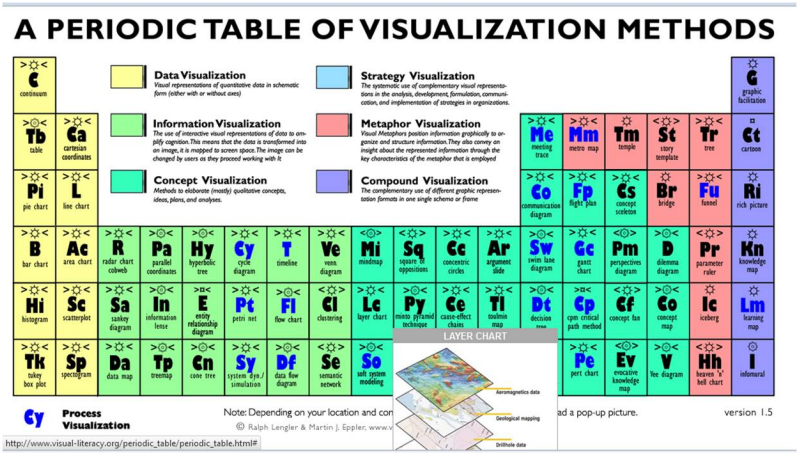


Abbildung 4.2: „Periodensystem“ der Visualisierungsmethoden nach [Lit11]. Wird eines der „Elemente“ mit der Maus überkreuzt, so erhält der Nutzer ein Beispielergebnisbild der Methode und eine kurze Erläuterung. Zusätzlich sind durch die Symboliken der „Elemente“ weitere Zuordnungsdetails zu erfahren, wie der mögliche Aufgaben- oder Datentyp, für den diese Methode geeignet ist. Im obigen Bildschirmschnappschuss sind die Details der Methode Layer Chart (Ebenendiagramm) zu sehen.

Damit legt die Methode der Erstellung die Repräsentation und damit die Ausprägung nahezu aller beteiligten Basis- und Metaparameter der Visualisierung von Beginn an fest. Ist das Resultat missverständlich, muss mithilfe einer anderen Methode gänzlich neu visualisiert werden.

Im Forschungsbereich der InfoVis existieren nur wenige Bottom-Up Ansätze bzw. Vorstufen einer solchen Vorgehensweise. Diese Techniken beschreiben ebenso die Teile Mapping und Rendering der Pipeline genauer. Auch das neu erarbeitete Konzept der automatisierten Bilderstellung schlägt eine Lösung vor für die zusammengefassten Prozesse des Mappings und Renderings. Es folgt daher eine kurze Übersicht über mögliche alternative Verfahren. Sie dienen zumeist als gedanklicher Ausgangspunkt des gewählten Verfahrens dieser Arbeit, da sie im Sinne des Bottom-Up Ansatzes verwendet werden könnten.

Upson et al. [UFK+89] schlagen für die wissenschaftliche Visualisierung einen *Analysekreislauf* vor. Hier werden aus Rohdaten (durch Filterung und Aufbereitung) fertige Visualisierungen, die durch Nutzerfeedback wiederum angepasst bzw. verbessert werden. Sie durchlaufen dafür erneut den Analysekreis. Einen ähnlichen Ansatz bietet Card [CMS99]. Beide Varianten stellen damit einen nutzereinbeziehenden iterativen Prozess dar, der sich mittels einzelner Parameteranpassungen dem bestmöglichen Visualisierungsziel annähert. Beide Ansätze bieten jedoch nur wenig Detail für die praktische Umsetzung einer deterministischen Visualisierungsentscheidung für die einzelnen Parameter, wie für die vorliegende Problemstellung gefordert.

Mögliche Abhilfe kann durch weitere Vorschläge geschaffen werden. Das Ziel der *Visuali-*

zation Space Paths ist es bspw., innerhalb des aufgespannten Raumes der möglichen Visualisierungsparameter den passenden Pfad zu bestimmen [JKM01, Ma99, MAB+97, TPM05]. Jeder Schritt des Pfades legt dabei die Anpassung eines Parameters fest, der sich in „Reichweite" befindet und erreicht somit am Ende eine eindeutige Visualisierung für die bestehende Anforderung. Eine weitere Möglichkeit wird durch sogenannte *Derivation Models* geboten, die eine Vererbungsstrategie zur Basis haben [BPW+93, LG95, Lee98]. Neue Visualisierungen (Kinder) werden aus Alten (Eltern, Großeltern, usw.) durch Transformationen erstellt. Parameteranpassungen werden also entweder einzeln aus einem bereits existierenden Wert erhalten (*interactive parameter control*) oder es werden mehrere neue Werte aus einem einzelnen Parameterwert berechnet (*dynamic manipulation*). Möglich sind in diesem Zusammenhang auch Baumstrukturen oder Graphenbasierte Ansätze, in denen Knoten jeweils Entscheidungsmomente darstellen und Wege die Relationen zwischen Teilvisualisierungen beschreiben oder sogar formalisieren.

In dieser Form sind diese Alternativansätze iterative Prozesse, die eine detailliertere Vorgehensweise für die Parameteranpassungsabfolge anbieten. Zudem können die Historien der Entscheidungsprozesse anders als in den Analysekreisen gespeichert und später wieder verwendet werden. Diese Verfahren bezeichnen Vorstufen des hier verwendeten VEM.

4.1.3 Augmented Reality Techniken

Im Bereich der Technologie AR sind ebenso Techniken der Anpassung entstanden, die eine Herangehensweise darstellen, die sich aus Top-Down und Bottom-Up Strategien zusammensetzt. Es handelt sich dabei um ein noch sehr junges Themenfeld. In bisherigen Arbeiten hat man sich dabei typischerweise ebenso an die 2D Informationsvisualisierung und Scientific Visualization angelehnt, bzw. auf die Bereiche des Mappings und Renderings konzentriert.

Einige erste Schritte hin zu einer spezifischeren Anpassung der Darstellungen wurden mithilfe der Unterteilung bestimmter Interaktionstechniken erreicht. Sie beinhalten die 2D Ideen der Navigationsveranschaulichung in multidimensionalen Datenmengen. Aufgrund des zweigeteilten Charakters einer AR Informationsdarstellung (realer und virtueller Anteil) wurden dazu die Techniken „Pan and Zoom" (verschieben und zoomen), „Overview and Detail" (Überblick- und Detailansicht), sowie „Focus and Context" (Fokus und Kontext) herausgearbeitet. Techniken der Darstellung sind in diesem Zusammenhang vor allem Interaktionstechniken, die sich jeweils durch Darstellungsbesonderheiten unterscheiden.

AR Techniken unterstützen eine kombinierte Interaktion mit den AR Darstellungsinhalten auf einer technologie-inhärenten Ebene. Sie bedienen dabei den AR spezifischen Umstand der zusätzlichen Verfügbarkeit von nicht sichtbaren Informationen zu einer realen Szene mittels verschiedener Umsetzungen für diesen virtuellen Einblick. Dazu zählen z.B. Lupen- oder Fensteransichten für die Detaillierung.

Die drei genannten AR Techniken befinden sich somit auf einer Zwischenebene im Sinne der Visualisierungsanpassung auf Basis von Einzelparamtern der Darstellung und einem gesamten Bildwechsel für die aktuelle Anforderung. Die Detailansichten sind bereits kombinierte Parameteranwendungen ohne Verfeinerungs- und Anpassungsmöglichkeit enzelner Farbigkeiten, Formen, Annotationen, usw. Sie vereinigen darüber hinaus auch Meta-AR-Parameter wie die Transparenz oder die Redundanz einer Darstellung, da sie die Detailansicht dynamisch hybrid gestaltet und die Anpassung mehrerer AR Parameter gleichzeitig zulässt.

Die Anwendungsebene der Techniken ist daher mit der des Visualization Exploration Models vergleichbar, stellt aber in der Herangehensweise eher ein Top-Down-Verfahren dar. Das 2D Explorationsmodell wählt Parameterwerte aus, die angepasst werden und ersetzt diese innerhalb der untersten Formalisierungsebene, auf der aufbauend die Transformationsfunktionen die Bilderstellung anpassen (Bottom-Up). AR Techniken sind vom Anwendungszweck ausgehend vorausgewählt und beinhalten Parameter, die einzeln nicht angepasst werden können, sondern nur im Zusammenhang mit der Gesamtinteraktion. Deren Befehlsstatus bestimmt das letztlich dargestellte Bild.

Im Folgenden wird näher auf die jeweiligen Techniken eingegangen, um die Parallelen zur 2D Informationsvisualisierung herauszuarbeiten und für diese Arbeit nutzbar zu machen oder auszuschließen.

Pan & Zoom

Die AR Technik Pan and Zoom stellt die einfachste der aufgeführten Techniken dar. Das „Panning“ steht hier für die Bewegung des Bildausschnittes durch bspw. die Bewegung des Kopfes (und damit des HMDs) des Nutzers oder die des mobilen Endgerätes, auf dem die Einblendung erfolgt. „Zooming“ entspricht der Bewegung des Bildausschnittes in die Tieferichtungen des Raumes. Damit verbunden können sich Größen und Detailgrad der virtuellen und realen Informationsteile verändern aber auch mehr virtuelle Informationsdichte geboten werden [AL06] auf Anfrage.

Die beiden Bewegungen sind kombiniert und führen daher an manchen Stellen zu Verdeckungen realer Objekte durch die virtuelle Einblendung. Dieser Fehler resultiert aus zu schnellen Veränderungen des dynamisch Eingeblendeten, da dessen Bewegung möglicherweise nicht vollendet ist vor der Sichtfeldveränderung oder Zoomaufforderung. Abb. 4.3 zeigt beispielhaft die resultierenden Ansichten des Pan- bzw. Zoomvorgangs.

Overview & Detail

Für die Ansicht der Technik Overview & Detail werden zwei getrennte Fenster verwendet, die jeweils den Sichtbereich des Nutzers und den erweiternden Überblick oder eine größere Ansicht der nicht im Sichtfeld befindlichen Informationen zeigen. Mischungen oder Mischbereiche existieren nicht. Das größere der beiden Fenster ist typischerweise das des Nutzersichtfeldes. Entsprechend werden Überblicksinformationen mit weniger Dichte bzw.

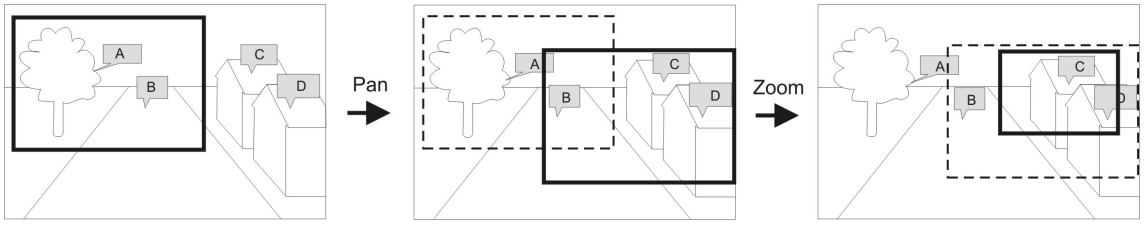


Abbildung 4.3: Bildausschnitte nach Pan und Zoom.

gefiltert nach Relevanz angezeigt, um sie auch in einem kleinen Fenster (eines möglichweise kleinen Displays) noch sichtbar zu halten. Abb. 4.4 zeigt ein spezielles Beispiel für eine solche Fensterlösung, bei der der Inhalt des Fensters eine dynamische Änderung mit der relativen Positionsänderung des Nutzers erfährt. Damit erfüllt es den Zweck der Informationsdarstellung für nicht sichtbare Bereiche aber auch eine Navigationsaufgabe. Die Art und

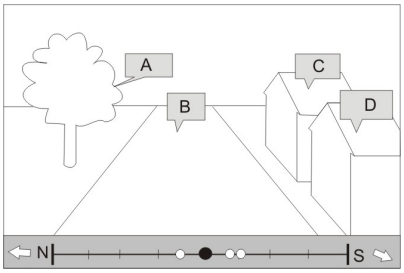


Abbildung 4.4: Beispielhafte Darstellung einer Overview & Detail Anzeige. Es werden jeweils getrennte Fenster benutzt. Die Overviewleiste unten zeigt die (per Nutzerbewegung) veränderlichen Richtungshinweise mit Markern für augmentierte Objekte im Sichtfeld (weiße Kreise)

Menge der im Überblicksfenster enthaltenen Informationen ist dabei nicht festgelegt. Zusätzlich stellt diese Ansicht die geringste technische Herausforderung für die Registrierung dar, da die Bildposition immer die gleiche ist und nicht an die reale Welt angepasst werden muss. In den meisten Fällen verdeckt sie so aber auch Informationen der realen Welt. Typischerweise werden Overview & Detail Techniken für AR-Navigations anwendungen eingesetzt.

Focus & Context

Auch die Technik Focus & Context (F+C) vereint beide Ansichten des Sichtfeldes bzw. Überblicks und der Detaillierung. Dabei werden jedoch keine separaten Fenster o.ä. benutzt. Beide Ansichten werden mittels verschiedener Hilfsmittel kombiniert und interaktiv veränderlich gestaltet. Abb. 4.5 zeigt dazu das Beispiel einer Fischaugenlinse, die beweglich über die Gesamtansicht des FOV jeweils Details in der Größe verändert aber auch Informationsdichte hinzufügen kann. Innerhalb des Overview & Detailansatzes den Überblick abstrakter und mit weniger Informationsdichte zu gestalten, erübrigt sich jedoch hier, da

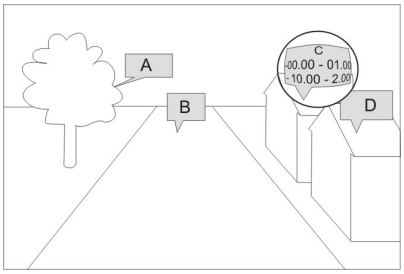


Abbildung 4.5: Beispieldarstellung einer Fischaugenlinse als Focus & Context Technik.

der Überblick durch den Kontext des Sichtfeldes gebildet wird, also der realen Welt, die nicht vereinfacht werden kann. Zusätzliches Detail durch eine Lupe o.ä. bedeutet demnach auch immer zusätzliche Informationsdichte und damit in den meisten Fällen einen Clutter Effekt der Darstellung. Eine (teil-)transparente Maskierung kann hier helfen aber je nach Anwendung nicht immer eingesetzt werden.

Im Zusammenhang mit der AR Definition werden in den meisten AR Anwendungen jedoch F+C Techniken benutzt. Sie stellt einen wenig hohen Anspruch an die perfekte Verbindung zwischen der realen und der virtuellen Information, da durch die verwendete Technik (Linse, Lupe, etc.) eine Form der Umrandung der Einblendung erfolgt, die die Trennung der Detaillierung zum nicht detaillierten Umfeld erkennbar macht und gewollt ist. Übergänge im Sinne der Ähnlichkeitsverbesserung sind daher nicht nötig.

Beurteilung

Für die beschriebenen Techniken sei an dieser Stelle erwähnt, dass auch kombinierte Varianten existieren, die für einzelne Anwendungen die jeweiligen Vor- und Nachteile ausbalancieren.

Die AR Techniken sind angelehnt an die gleichnamigen Techniken der 2D Informationsvisualisierung. Da die Evaluation von AR Darstellungen bislang nur in geringem Maße erfolgt ist, muss die Beurteilung der Nutzbarkeit für diese Arbeit auf Basis der Evaluation aus dem Bereich 2D erfolgen.

In einem detaillierten Vergleich der 2D Techniken von A. Cockburn [CKB09] sind die Evaluationsergebnisse dazu aufbereitet. Darüber hinaus werden Hinweise für deren Anwendbarkeit gegeben. In Vergleichsstudien, die Pan & Zoom (PZ) der Technik Focus & Context (F+C) gegenüberstellen, zeigen sich unterschiedliche Ergebnisse. Für verschiedene Aufgabenbereiche wie Web Browsing, hierarchische Ordnernavigation, Kalendernutzung wurden bspw. F+C Techniken für besser geeignet befunden [SZG+96, BCCR04, BLH04]. Im Gesamtergebnis zeigt sich, dass jede Technik Vor- und Nachteile für bestimmte Anwendungen hat, die jeweils vom Entwickler vorab untersucht werden müssen. Schwierig wirkt sich dabei die Kombination der Techniken aus, die die Menge der Freiheitsgrade der Wahrnehmungsverbesserung noch vergrößert und damit nur schwer evaluierbar macht.

Die Pan & Zoom Technik entspricht in ihrem Ergebnis dem Visualization Exploration

Model (VEM). In Abb. 4.7 wird die Tassenansicht ebenfalls durch eine Sichtfensterveränderung und einen Zoom erreicht. Anders als im VEM kann durch die AR Technik jedoch keiner der Parameter allein erreicht werden, sie sind als gesamtes Paket enthalten in der Technologie hinter der Technik (in diesem Falle der HMD-Bilderzeugung). Sie können daher auch in keinem Fall einzeln angepasst werden, z.B. wenn eine bestimmte Farbe (abhängig vom Hintergrund) sichtbarer gestaltet werden soll. Die Formalisierung der Parameter im VEM ermöglicht dies grundsätzlich. Um eine P+Z-Ansicht nutzergerecht zu gestalten, können lediglich grobe Anpassungen wie die Größe des Sichtfensters oder event. Okklusionsbehandlungen (durch weitere Bewegungen des Nutzers) vorgenommen werden. Es zeigt sich damit wiederum die Stärke eines Bottom-Up Ansatzes, der für eine für den Nutzer schwer zu verstehende Einblendung eine Alternative ermöglicht, ohne eine gesamte Anzeigetechnologie neu implementieren zu müssen.

Overview & Detail Techniken der Darstellungen sind der der hier gemeinten Redundanz als Parameter der Darstellung sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich jedoch grundlegend in ihrem Inhalt. Overview & Detail Ansichten beschreiben in der Hauptsache nicht im Sichtfeld des Nutzers befindliche Objekte oder Informationen. Die Redundanz wiederholt vornehmlich im Sichtfeld Befindliches. Beide Ansichten haben fließende Übergänge und sollten nicht als zu scharf getrennt angesehn werden. Dennoch wird die Redundanz als ein Parameter höherer Ebene eingestuft, der andere Parameter kombiniert, um dem Bottom-Up Ansatz folgen zu können. Die Technik Overview & Detail befolgt dies nicht, kann aber dennoch für die Einschätzung der Nutzbarkeit einer grundsätzlichen Zusatzansicht mit wiederholendem Charakter genutzt werden bezüglich der Evaluationsergebnisse.

Die Technik Focus & Context ist ebenso dem Parameter Redundanz sehr ähnlich jedoch im umgekehrten inhaltlichen Sinne. Das zusätzliche Fenster wird die Detaillierung, nicht für den größeren Überblick verwendet. Die intuitivere Form der Detaildarstellung (bspw. in Form einer Linse oder Lupe) gleicht dennoch der formalen Visualisierung im Sinne der beabsichtigten Rand- bzw. Fensterbildung, die einen vom Kontext getrennten Darstellungsbereich markiert. Diese Technik ist daher durchaus als integrierbarer Parameter einer höheren Ebene interpretierbar, der innerhalb der Anpassungsabfolge benutzt werden kann. Als grundsätzliches Verfahren der Anpassung eignet sich die Technik nicht, da sie keine Lösungen für einzelne Parameteranpassungen anbietet, sondern eher selbst einen solchen darstellt.

Insgesamt ist für diese Arbeit herauszustellen, dass diese Techniken nahe bei den zusätzlichen und AR spezifischen Visualisierungsparametern liegen, aber keine Nutzbarkeit oder Veränderlichkeit der Einzelparameter anbieten. Die grundsätzliche Fragestellung dieser Arbeit, wie also die AR Visualisierungsanpassung in die frühen Entwicklungsphasen eines AR Systems integriert werden können, ist damit nicht beantwortbar, da jede Alternativenbildung nur durch eine Neuimplementierung großer Teile oder des Gesamtsystems

erfolgen kann.

Darüber hinaus sind die genannten Techniken sehr frei kombinierbar und bieten nur vage Anhaltspunkte für eine Klassifizierung, so dass eine Parametriesierung der Techniken kaum möglich ist. Beispielsweise kann die Overview & Detail Technik nicht zu einem der Redundanz ähnlichem Parameter operationalisiert werden, da die Technik in den meisten Fällen keine Beschränkung für die Darstellung von Informationen enthält. Jede nicht sichtbare Information ist als Abstraktum oder detailgenau, transparent oder selbst als Fenster möglich. Zusätzlich kann diese Technik mit jeder anderen kombiniert werden. Die fehlende Formalisierung erschwert die Systemintegration für frühe Phasen, da sie die letztliche Bilddarstellung nicht modularisiert.

4.2 Visualization Exploration Model – VEM

Das Visualization Exploration Model (VEM) beschreibt einen iterativen Prozess der Parameteranpassung wie bereits auch die genannten Vorläufer im Bereich der 2D InfoVis. Das VEM wurde maßgeblich von T. J. Jankun-Kelly entwickelt [JKM01, JKMG02, JK08] und dient als Vorlage für den Visualisierungssyntheseprozess in dieser Arbeit.

Die Einzelschritte beginnen mit der Manipulation der Parameter durch einen Nutzer in einem Parameterraum. Alle vorgenommenen Transfomationen bilden einen Pfad, der mithilfe eines Derivation Models (mathematische Formalisierung des Pfades) beschrieben werden kann [JKMG07]. Die wiederholte Anpassung der jeweils resultierenden Visualisierung entspricht in ihrem zyklischen Vorgehen dem Analysekreis von Upson (siehe Abb. 4.6). Neu hinzu kommen hier die Komponenten des Visualization Session Models, das es ermöglicht, die Abfolge der gemachten Anpassungen (den Pfad) zu speichern und wiederzuverwenden. Zudem erfolgen die Parameteranpassungen nicht einzeln. Es werden jeweils mehrere Parameterwerte (sogenannte Sets) mittels eines Operators angepasst. Dabei werden die Visualisierungsergebnisse während des gesamten Prozesses jeweils für den Nutzer sichtbar. Abb. 4.6 zeigt den Zusammenhang der Komponenten.

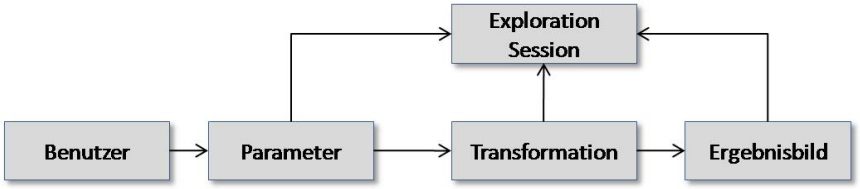


Abbildung 4.6: Visualization Exploration Model Komponenten nach [JKMG02].

Dieser Ansatz dient der vorliegenden Arbeit als Grundlage. Zentral sind dabei die Aussagen, nicht Einzel- sondern gruppierte Parameter anzupassen und Visualisierungspfade in einer bestimmten Form zugänglich zu machen, bzw. zu speichern.

Das Modell der Visualization Exploration nach Jankun-Kelly basiert auf der mathematischen Beschreibung aller nötigen beteiligten Elemente und deren Funktionszusammenhängen. Beschrieben werden darin die Visualisierungstransformation (die Funktion, die die Visualisierungsergebnisse erzeugt, VT), die Parameter(sets) einer Visualisierung (Farbe, Form, Position, etc.), das Ergebnis der Visualisierung und die bis dorthin berechneten Transformationen (Pfade oder Derivations). Dabei werden jedoch nicht die Einzelheiten der Transformationsfunktion beschrieben, sowie keine tatsächlichen Werte von Parametern oder Ergebnissen.

$$\text{Parameter: } (s_1[n_1], \ldots, s_i[n_j]) \rightarrow (p_1, \ldots, p_k) \tag{4.1}$$

$$\text{Parameter-Sets: } \{p_1, \ldots, p_m\} | s_{in} \rightarrow s_{out} \tag{4.2}$$

$$\text{Ergebnis: } t(s_{out}) \rightarrow r \tag{4.3}$$

Dabei sind Parameter $P = \{p | p = (n_p, v_p)\}$, mit $n_p \in N$ als eindeutigem Bezeichner des Parametertyps und $v_p \in V$ als Wert aus einer Menge an möglichen Werten zu verstehen. Parameter-Sets $S = \{s | s \subset \mathscr{P}(P)$ mit einer Funktion $t = (n_t, N, n_r) \in T\}$. Zu beachten sind die fehlende Integration der Parameterwerte v_p und der Definition der Abbildungsvorschrift t. Sie enthält lediglich die Ausgangs- und Ergebnisbezeichner n_t und n_r.

Die Nutzbarkeit des Ansatzes soll an einem Beispiel näher erklärt werden. Abb. 4.7 zeigt dazu die gedrehte und gezoomte Visualisierungsanpassung einer 3D Zeichnung. Eine Visualisierung hat zu Beginn eine bestimmte Form (Ansicht r_0 und Parameterset s_0). Im ersten Schritt werden alle Anpassungsparameter (Daten, Aufgaben, Abhängigkeiten) gesammelt und gemeinsam zur Anpassung der Visualisierungsparameter genutzt. Im Falle der Beispielabbildung werden die Parameter der Position (view) und Größe (zoom) verändert. Zugehörige Einzelparameter sind in den jeweiligen Sets $s_1\,[view_1]$ und $s_2\,[zoom_2]$ zusammengefasst. Diese ersetzen die vorherigen Parameter p im Set s_0 und ergeben in der gruppierten Anwendung das neue Set s_3. Die graphische Umsetzung erfolgt mittels der Transformation aller diesbezüglicher Parameter zum Ergebnisbild.

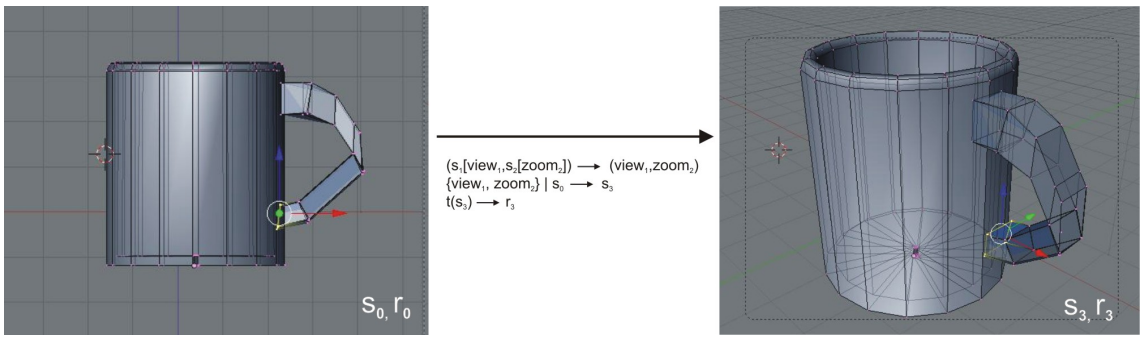


Abbildung 4.7: Beispiel für Anpassung einer Visualisierung mit den formalisierten Schritten des Visualization Exploration Models.

Nicht enthalten sind (wie bereits beschrieben) die tatsächlichen Wertveränderungen der Visualisierungsparameter und die Details der Transformationsfunktionen. Im Beispiel wird demnach nicht deutlich, welche Funktion die Schriftarten und -größenanpassung, die Positionierung usw. definiert, bzw. welche deterministischen Wertzuweisungen für Farb- und Formgebungen, grafische Lösungen usw. vorgenommen werden. In diesem Beispiel und dem Visualization Exploration Model allgemein werden allein die Modellelemente gefasst und formalisiert. Die Formalisierung innerhalb des VEM ermöglicht so den Weg der Parameterveränderung im Einzelnen prinzipiell, führt ihn aber selbst nicht aus.

Bspw. macht eine Hintergrundveränderung eine Farbanpassung des Eingeblendeten nötig. Hier muss vorerst geprüft werden, ob die verlangte Abbildung bereits vorher schon einmal berechnet wurde und verwendet werden kann zusammen mit den gespeicherten Relationen (Formabhängigkeiten, Größenverhältnisse, etc.). Ist dies nicht der Fall, muss lediglich der Parameter Farbe für den vorliegenden Kontext verändert und gemeinsam mit den anderen Parametern für die Bildgenerierung genutzt werden. Die kontextabhängige Bildgenerierung ist innerhalb einer solchen Verfahrensweise jedoch grundsätzlich ein Prozess, der kontinuierlich für jeden Frame neu ausgeführt wird. Er ist daher als einer der Kernprozesse der untersten Systemebene anzusehen, der nicht erst das fertige Bild als Ausgangspunkt annimmt. Nicht enthalten ist die Entscheidungsgrundlage, welche Farbe nun verwendet werden soll.

Dennoch bilden die formalen Grundelemente der beschriebenen Visualisierungsanpassung den Ausgangspunkt der Detaillierung dieser Arbeit. Sie ermöglichen ein Rahmenwerk für die Implementierung eines Bottom-Up Verfahrens und sind Stand der Technik der 2D Visualisierungssynthese. Ausgehend von einer bestimmten Visualisierung soll dabei die mathematische Beschreibung und Speicherung der Transformationsfunktionen, veränderten Parametern und dem Ergebnis erfolgen. Die Ableitungen bleiben an dieser Stelle vorerst unbetrachtet, da sie die Beziehungen der Ergebnisse, deren Parameteranpassungen und mögliche weitere Visualisierungen beschreiben. Dabei handelt es sich um eine Meta-Systematisierung, die hier vorerst nicht relevant ist. In einem späteren Entwicklungsschritt ist sie jedoch einzubeziehen, um die Automation der Visualisierungssynthese schneller und einfacher zu gestalten. Für diese Arbeit muss jedoch vorerst genauer bestimmt werden, wie die Visualisierungsparameter genau berechnet werden und welche Werte konkret angenommen werden, um die deterministische Nutzeranpassung von Farbgebungen, Transparenzen usw. zu gewährleisten. Dazu wird das VEM mit einem Fuzzy Expertensystem ergänzt.

4.3 Fuzzy Expertensystem – FXPS

Expertensysteme (XPS) dienen vor allem im Bereich der Künstlichen Intelligenz als Basis für die Automatisierung von Bewegungen und ganzen Handlungen. Sie können aber auch

in der Medizin zur Diagnoseerstellung oder als Regelungssystem für Anlagen angewendet werden. Sie sind dabei die analytisch-logische und heuristische Erweiterung der ursprünglich verwendeten Problemlösetechniken. Aktueller Stand der Forschung in diesem Bereich sind neuronale Netze und autonome Agentensysteme.

Grundsätzlich speichern Expertensysteme große Mengen formalisierten Wissens und nutzen dieses in Form von unabhängigen Schlussfolgerungen für die Generierung einer Entscheidung, bzw. einer Problemlösung. Abb. 4.8 zeigt die Komponenten und die Struktur eines XPS. Die Wissensbasis mit den Regelsätzen und die Inferenzmaschine sind die zentralen Komponenten. Der innere Aufbau der Inferenzmaschine ist dabei stark problemabhängig. Sie entscheidet über die Anwendung, Reihenfolge (Hierarchie, wenn vorhanden) und Gewichtung der „feuernden“ (angewendeten) Regeln. Die Erklärungskomponente beschreibt das Zustandekommen des Ergebnisses. Der Wissenserwerb steht für die Lernfähigkeit des Gesamtsystems und verändert, löscht oder ergänzt Regeln. Alle drei Komponenten haben eine Anbindung zu einer zentralen Benutzungsschnittstelle, die dem Nutzer die Funktionen zentral zur Verfügung stellt [GFH90, Win93].

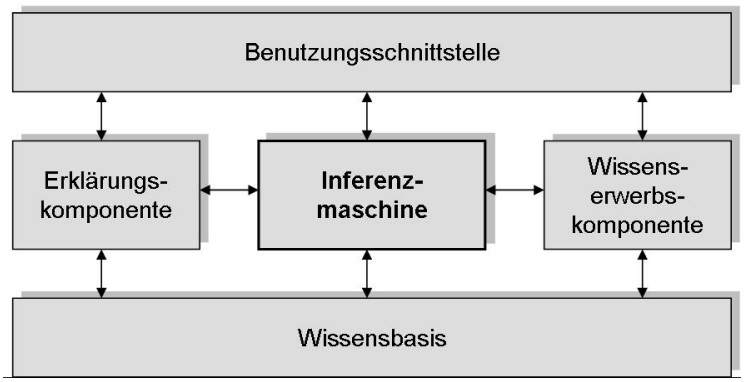


Abbildung 4.8: Struktur eines Expertensystems.

Die Inferenzmaschine kann dabei zum Einen auf Basis der Vorwärtsverkettung (forward chaining) arbeiten. Diese bedeutet, dass Regeln ausgeführt werden, wenn deren Vorbedingungen zutreffen und die dadurch wiederum geschaffenen Bedingungen zur neuen Ausführung anderer Regeln führen bis das endgültige Ergebnis erreicht ist, bzw. keine Regel mehr feuern kann. Zum Anderen besteht die Möglichkeit der Rückwärtsverkettung (backward chaining), um bspw. noch unbekannte Fakten zu einer Sachlage zu erkennen. Sie geht entsprechend vom Ziel aus und sucht nach Fakten, die vom Ziel aus abfragbar sind. Es sucht also nach Regeln, in denen Fakten zum bekannten Ziel vorkommen. So wird bis zum letzten unbekannten Faktum verfahren, um alle Bedingungen eines Zieles zu eruieren. Werden keine Fakten dazu gefunden, müssen diese vom menschlichen Experten nachträglich erfragt werden.

In beiden Fällen enstehen so Regel- bzw. Entscheidungsbäume auf Basis der Ausführ-

barkeit von (sehr präzisen) Bedingungen oder Fakten. Welche Art des Verfahrens dabei gewählt wird, entscheidet die Anwendung. Für die vorliegende Arbeit empfielt sich die Vorwärtsverkettung, da sie den Schluss auf Basis bekannter Fakten zulässt und die Rückwärtsverkettung eher für den Beweis von offenen Hypothesen angewandt wird.

Fuzzy XPS (FXPS) haben gegenüber klassischen XPS den Vorteil, dass sie nicht unbedingt Entscheidungsbäume zur Grundlage haben, sondern Regeln teilweise ausführen und deren Ergebnisse verschmelzen können. So müssen die Regeln nicht konsistent sein und auch widersprüchliche Regeln können verarbeitet werden. Darüber hinaus ist die Entwicklungszeit eines Fuzzy XPS deutlich verkürzt, weil weniger Regeln nötig sind. Die vorhandenen Daten werden analysiert und die zutreffendsten Ergebnisse zurückgeliefert [KH94].

Der Unterschied und Vorteil eines unscharfen Expertensystems liegt in der Uneindeutigkeit der Regel(anwendung). Es werden also nicht unbedingt festgelegte absolute Wertangaben benötigt als Fakten oder Bedingungen. In einem herkömmlichen Expertensystem sind Regeln entweder wahr oder falsch, in einem Fuzzy System können Werte auch zwischen wahr(=1) und falsch(=0) liegen. Zum Beispiel kann eine Information sehr wichtig, mittel wichtig oder beiläufig sein. Es ist also eine realistischere Einschätzung eines Sachverhaltes möglich. Merkmalsausprägungen müssen deshalb nicht in konkreten Werten sondern können auch nominal angegeben werden. Der Zugehörigkeitsgrad einer Variablen ergibt sich durch die vorherige Festlegung von Fuzzy Sets. Diese sind Funktionen, die in einem Wertebereich verschiedene Zugehörigkeitsgrade für eine Variable bestimmen. Diese Sets (für bspw. drei nominale Variablenzugehörigkeiten) überlappen einander meist, so dass eine Variable auch zu zwei festgelegten Ausprägungen zählen kann. Sie tut dies dann zu unterschiedlich hohen Anteilen.

Die Arbeitsweise eines FXPS stellt sich wie folgt dar. Durch die unscharfe Bestimmung von Regeln und entsprechend angepasster Inferenz Engine wird das Schließen in diesem System auch als „approximate reasoning“ oder „plausible reasoning“ bezeichnet. Bei Ersterem können unscharfe Fuzzy Relationen enthalten sein, bei Letzterem dürfen auch die Komponenten der Regeln unscharf werden. Am Bsp. der Information hieße das, eine Information A ist zu 80% mittel wichtig und zu 20% sehr wichtig (also mittel wichtig bis sehr wichtig im Sprachgebrauch) damit wird sie auch entsprechend zu einem unscharfen Schluss geführt, was bedeutet, sie muss mittel bis sehr auffällig präsentiert werden (zu den jeweiligen Prozentanteilen). Dies ist approximatives Schließen. Plausibles Schließen ermöglicht sogar anstelle der Information A auch eine Information A' wie A zu behandeln, wenn sie A in einer bestimmten Weise ähnlich ist. So würde auch der Schluss B zu einem in bestimmter Weise ähnlichen Schluss B' führen.

Die Fuzzy Inferenzmaschine untergliedert sich in vier Teilschritte, die Fuzzifizierung, die Inferenz, die Komposition und die Defuzzifizierung. Dies bedeutet für den hiesigen Anwendungsfall, dass für die zu integrierenden Regeln oder Regelsätze zuerst eine Form

der Fuzzy Wertzuweisungen gefunden werden muss auf Basis der bestehenden Erkenntnisse aus empirischen Daten. Dies ist aber dennoch einfacher möglich, als konkrete Werte für Parameterabhängigkeiten zu finden. Bspw. sind Farbabstände zwar mit absoluten Werten belegt für die jeweiligen Erkennbarkeiten, aber auch diese umfassen Toleranzbereiche, in denen ein Farbunterschied bspw. noch gerade so erkennbar ist aber nicht sehr deutlich. Ein „gutes“ Größenverhältnis hingegen beruht auf relativen Größenzuweisungen und nicht auf Absolutwerten.

4.3.1 Regelsatzerstellung für das FXPS

Für diese Arbeit wurden alle relevanten und durch Studien belegten Regeln der Anwendung von Visualisierungsparametern gesammelt und in das FXPS integriert. Aufgrund der Vielzahl der Regelsätze wird an dieser Stelle ein exemplarischer Regelsatz gezeigt, der zwei Einzelparameter verändert. Alle anderen verwendeten Regelsätze wurden nach dem gleichen Vorgehen in das Expertensystem integriert, sofern die nötige Datenbasis vorhanden ist.

Die Fuzzy Rule Sets (Fuzzy Regelsätze) für die exemplarische Implementierungslösung entsprechen ausgewählten Sets, die belegbar als Rule Sets implementiert werden können. Eine Regel hat grundsätzlich die Form

$$\text{Antezedens} \Rightarrow \text{Sukzedens (auch Konsequent, Lösung)} \ldots \text{ oder}$$
$$\text{Antezedens} \wedge \text{Antezedens} \ldots \Rightarrow \text{Sukzedens} \wedge, \vee \text{Sukzedens, etc.}$$

Die Fuzzifizierung von sogenannten crisp Variablen (eindeutig festgelegte, nummerische Werte) beinhaltet Termfestlegungen mittels fixer Funktionen, bzw. Zugehörigkeitsgewichtungen für Werteausprägungen der Variablen. Eine Temperatur wird bspw. als „warm“ bezeichnet, wenn ihre Ausprägung eine Dreiecksfunktion über die Temperaturwerte 15°C - 25°C bildet. So können Zugehörigkeiten „weicher“ deklariert werden, als es für einen Crisp Regelsatz nötig wäre und sie umfassen Wertebereiche, die mit Crisp Regeln unangemessenen Aufwand der Werteabdeckung bedeuten würden.

Die Problematik besteht nun, neben der Menge der zu erfassenden verschiedenen Regelsätze, in der begründeten Fuzzifizierung also in der belegbaren Bildung der Zugehörigkeitsfunktionswerte und -verteilungen. Es muss also belegbar sein, warum 15°C die untere und 25°C die obere Grenze für den Term „warm“ ist und sich alle weiteren Werte als Dreieckswichtungsfunktion dazwischen verteilen. Für jede Termbildung müssten dafür Befragungen (o.a.) und statistische Auswertungen erfolgen, die untere und obere Grenzen festlegen und (zumindest für die wichtigsten Werte) Verteilungsfunktionen wie wahrscheinliche Normalverteilungen bestätigen.

Die Ableitung der Regelsätze aus allen herangezogenen InfoVis Richtlinien wird daher vornehmlich anhand der zugrundeliegenden Studien bzw. des anhand des hiesigen For-

schungshintergrundes vorgenommen. Sind Angaben nicht ausreichend für die Bildung eines Fuzzy Regelsatzes, müssen Zuordnungen offen bleiben und durch spätere Experimentergebnisse vervollständigt werden. Eventuell entstehende Wertebereichslücken können zum einen durch die Nachbarterme (bzw. -funktionen) aufgefangen werden aber auch durch Platzhalterterme, die die Ungeklärtheit der Fuzzifizierung an einer bestimmten Stelle verdeutlichen. In diesem ersten Evolutionsschritt der prototypischen Entwicklung sind entsprechend vorerst relevante und effektive Regelsätze implementiert.

Die Vorgehensweise der Regelsatzerstellung und zugehörigen Fuzzifizierung soll nun anhand eines Beispiels erläutert werden. Dafür wird der Regelsatz zugehörig zum in dieser Arbeit per Experiment evaluierten AR Visualisierungsparameter Ähnlichkeit (similarity) erstellt.

Dieses Fuzzy Set folgt der Festlegung des Begriffes Ähnlichkeit für die Darstellung des aufgeblendeten Bausteins im Bausteinexperiment. Dieser markiert den gemeinten Stein, indem er ihn digital abbildet. Die Ähnlichkeit zur realen Szene (in diesem Falle also der Parameter „Realismus“) aus dem Navigationsexperiment ist mit dieser Regelsatzerstellung ebenfalls abgedeckt.

Die Crisp-Variablenwerte, um die Ähnlichkeit (zusammengesetzt aus Form und Farbe) darzustellen, sind nur zum Teil genau ermittelbar. Es werden daher die genormten Werte des Farbabstandes ΔE herangezogen. Dieser gibt die Distanz zweier Farben (im Farbraum $CIEL^*a^*b^*$) in Zahlenwerten an. Anhand von Studien konnte festgestellt werden, welche Farbabstände „nicht sichtbar“, „kaum sichtbar“ und „deutlich sichtbar“ sind. Die Werte basieren auf statistisch gestreuten Daten, die eine fuzzy Deklaration der Zuordnungsfunktionen zu den angegebenen Termen nahe legen.

Für die Zuordnungfunktionen der Formähnlichkeit der Bausteine wurde in dieser Arbeit eine Vorbefragung mit 10 Personen durchgeführt, die auf einer 5-stufigen Skala (1= „sehr ähnlich“, 5= „sehr unähnlich“) die dargebotenen Steinüberblendungen bewerten sollte (siehe Kap. 3.2). Dabei ergaben sich die Zuordnungsfunktionen, die in Abb.4.9 zusammengefasst und dargestellt sind.

Innerhalb der Visualisierungssynthese (erstellt durch das Expertensystem) kann ein Teil eines exemplarischen Entscheidungsweges nun wie folgt ablaufen:

...

WENN AR Kategorie „Evaluation, Reales Objekt“, **DANN** Hintergrundprüfung.

WENN Hintergrund „homogen“, **DANN** Darstellung „grafisch“.

WENN „grafisch“ , **DANN** similarity „unähnlich“und position „konform“ und Dringlichkeitsprüfung.

WENN similarity „unähnlich“,

DANN Farbe „unterscheidbar“ **UND** Form „unähnlich“.

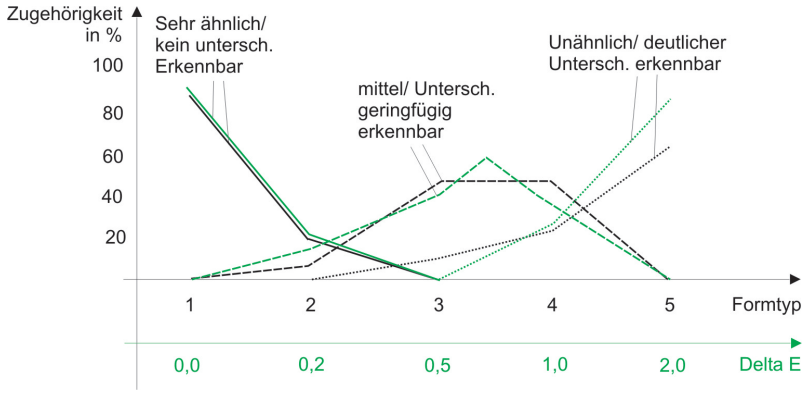


Abbildung 4.9: Fuzzy Set der Variable Ähnlichkeit (similarity) zusammengesetzt aus Form (und Größe) und Farbe. Formähnlichkeitsfunktionen aus Vorbefragung (schwarz), Farbähnlichkeiten aus Farbabstand ΔE (grün; skalierte Darstellung).

WENN Dringlichkeit „wichtig“, **DANN** Animation „mittlere Geschwindigkeit“
UND Displayabstand „dicht“ (eventuell UND Warnhinweis „symbolisch“).
WENN Dringlichkeit „wichtig“ **UND** Displaytyp „video-see-through“ **UND** Kontrast „gering“ **UND** Auflösung „gering“, **DANN** Transparenz „keine“ **UND** Blaufarbwert „angepasst“

Eine der Entscheidungen (gerahmt) betrifft die Auswahl von Farbe und Form abgeleitet von der vorgesehenen Ähnlichkeit. An dieser Stelle wird die ausformulierte und implementierte Regelsatzerstellung und -ausführung gezeigt. Die ausformulierten Regeln lauten:
WENN similarity „sehr ähnlich“,
DANN Farbe „nicht unterscheidbar“ $\wedge$ Form „sehr ähnlich“.
WENN similarity „mittel ähnlich“,
DANN Farbe „kaum unterscheidbar“ $\wedge$ Form „mittel ähnlich“.
WENN similarity „unähnlich“,
DANN Farbe „deutlich unterscheidbar“ $\wedge$ Form „unähnlich“.

Die defuzzifizierten Werte für die Farb- und Formwahl stammen aus den Fuzzy Sets (siehe Abb. 4.9) und werden bei der Regelanwendung benötigt. Ein Auszug der Implementierung mithilfe des FuzzyJ Toolkits befindet sich im Anhang (D).

4.4 Kombination VEM und FXPS

Für das beabsichtigte Bottom-Up Verfahren der Visualisierungssynthese werden die Ansätze des VEM und der FXPS kombiniert. Sie bieten so die Möglichkeit, ohne hierarchisierende Reihenfolgen Parameteranpasungen nach deterministischem Vorgehen vorzunehmen. Ziel

ist es, über Einzel- oder gruppierte Basisparameter und Parameter der Meta-Ebenen eine möglichst minimale Bildveränderung zu erzeugen, die das Verständnis des Nutzers fördert. Dabei soll zudem ein möglichst geringer Rechen- und Speicheraufwand benötigt werden.

Abb. 4.10 verdeutlicht die Abwandlung bzw. Erweiterung des VEM Schemas, die durch die Kombination der Komponenten erreicht wird. Dabei wird das FXPS dazu verwendet die Tranformationsfunktion des VEM mit Wertzuweisungen für die Parameter zu spezifizieren und zu definieren.

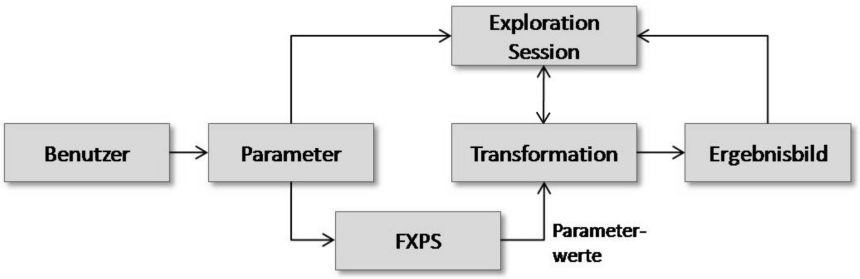


Abbildung 4.10: Schema des VEM mit integriertem FXPS.

Das FXPS dient als (im Vorhinein erstellte) Wissensbasis und einfache Entscheidungsplattform für gegebene kontextuelle Anforderungen. Die enthaltenen Regeln stammen aus den in den vorigen Kapiteln erarbeiteten Parameterrichtlinien. Ein bestimmtes ausgewähltes Display (und seine Eigenschaften), der zwischen diesem und dem Nutzer herrschende Abstand, die zu erledigende Aufgabe und der Typ der darzustellenden Daten lösen eine bestimmte Anwendungsreihenfolge von Regelsätzen aus. Diese sind weder selbst immer mit empirisch fundierten, absoluten Werten beschrieben noch führen sie zu einer strikten Wertfestlegung (bspw. für die Farbe), sondern zu Wertebereichen mit einer gewissen (empirisch erhaltenen) Toleranz (fuzzy).

Die Formalisierung der Wertzuweisungen für die erhaltenen Parametersets können dann innerhalb der Transformationsfunktion des VEM genutzt werden, um gespeichert und wiederverwendet zu werden. So entstehen keine großen Bilddatenbanken für kleinste Kontextveränderungen und die Kosten der Umorientierung des Nutzers sind nur so groß wie maximal nötig, durch das Wissen über ausreichende Anpassungsausmaße im FXPS.

Im vorher beschriebenen Beispiel der Anpassung einer Hintergrundfarbe wird so anhand der Kontextdaten, die die Einflussparameter definieren, die Anwendung von Regelsätzen ausgelöst. Bspw. wird so durch die Farbfilterung ein hoher Kontrast möglich, wenn die Information sehr dringlich ist oder sich von einem homogen wenig gesättigten Farbbereich im Bild abheben muss. Diese Regeln (bzw. Richtlinien) bestimmen die wählbare Farbe (u.a. Parameterausprägungen). Als formalisiertes Parameterset des VEM kann dieses nun transformiert und anschließend gespeichert werden. So ist seine Wiederverwendung des Sets bei gleicher Kontextkonstellation möglich, ohne das Experstensystem einzubeziehen.

Das hier erarbeitete Softwarekonzept und die Parameterrichtlinien als Wissensbasis bezeichnen den vollständigen Lösungsweg, der im folgenden Kapitel anhand eines Use Cases beipislehaft umgesetzt werden soll. Dazu dient der Kontext einer Inteligenten Küchenumgebung mit integrierter Sensorik und sAR Displays. Der Use Case dient dabei in erster Linie der praktischen Integration der hier erabeiteten Lösung. Er ist jedoch nicht dazu gedacht, aktuelle Applikationen von Smarten Umgebungen zu prüfen.

Kapitel 5

Systementwicklung UARKit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Software, die bereits in der Entstehungsphase auf die Bedürfnisse des Nutzers von sAR Systemen ausgerichtet ist und die AR Informationsvisualisierung an den Kontext der Nutzung anpasst. Die Lösung beinhaltet die Anlehnung an die 2D Informationsvisualisierung und deren Bottom-Up Synthesemethoden (siehe Kapitel 2 und 4), sowie die Ar spezifischen Darstellungscharakteristika.

Dazu wurden bisher nutzbare 2D Visualisierungsparameter gesammelt. Zugehörige AR spezifische Parameter wurden auf Konsistenz überprüft und diesbezügliche offene Fragen mittels zweier Experimente geklärt. Die zusammengenommenen Ergebnisse können im Anschluss für die Entwicklung einer Fuzzy XPS Komponente als Wissensbasis genutzt werden. Die weiterführende Einbindung in das Visualsization Exploration Model (VEM) erlaubt die Umsetzung eines Bottom-Up Vorgehens der Visualisierungssynthese. Für die Systementwicklung muss nun entsprechend eine Softwarearchitektur gefunden werden, die dieses Vorgehen abbildet und die Parameterrichtlinien der nutzer-zentrierten sAR Informationsvisualisierung bereits in die ersten Entwicklungsschritte integriert.

Die hier entwickelte Systemlösung wird beispielhaft für ein Küchenszenario erprobt innerhalb des Projektes Ubiquitous Augmented Reality Kitchen (UARKit).

5.1 Softwareentwicklung

Die Softwareentwicklung des Systems, das die sAR Informationsvisualisierung in Echtzeit anpassen soll, folgt dem Softwaretechnik-Prozessmodell des *evolutionären Prototypings*. Hier besteht das vorangige Ziel in der Erstellung eines Prototypen des Zielsystems, der alle Grundfunktionalitäten besitzt. Dieser kann auch in der Sammlung von Teilsystemen bestehen, die die Funktionalitäten erfüllen. So sind spätere Zusammenführungen, Änderungen, Fehlerkorrekturen und Anpassungen durch weitere Entwicklungsschritte (Evolutionen) möglich, aber ebenso ein Komponententest auch in einer sehr frühen Entwicklungsphase. Entsprechend ist die Herstellung der einzelnen Funktionalitäten oberste Prämisse, die die

Qualität der Berechnungsergebnisse vorerst unbeachtet lässt [Wal01, Mot09].

Der Vorteil dieses Prozessmodelles liegt in der frühen Funktionsfähigkeit und Erkennbarkeit von Fehlern, von nötigen Funktionserweiterungen und in der sehr kurzen Entwicklungszeit. Zudem wird der Prototyp naturgemäß wiederverwendbar. Der mehrmalige Durchlauf bestimmter Phasen wie bei sequentiellen Phasen- oder Spiralmodellen (Wasserfall, V-Modell, etc.) ist aufgrund der beschränkten Entwicklungszeiträume an dieser Stelle nicht möglich, sollte aber für eine Produktentwicklung durchgeführt werden. Methoden der agilen Softwareentwicklung verfolgen ebenfalls hochflexible Prozessmodelle, setzen jedoch parallele Teamarbeit voraus [GBBK09]. Auch diese Methoden wären für die Entwicklung eines marktreifen Endproduktes in Betracht zu ziehen.

Der Vorteil der Methode des evolutionären Prototypings ist jedoch ebenso ein Nachteil. Die nicht so genaue Systemspezifikation der ersten Schritte[1] der Entwicklung bedeuten u.U. unbrauchbare Komponenten, die erst mit den Evolutionsstufen detailliert werden und damit die Nutzeranpassung oder spezifische Funktionen entwickelbar macht [Wal01].

Evolutionäres Prototyping wird auch als Charakteristik objektorientierter Anwendungsentwicklung angesehen und beinhaltet entsprechend gleichartige Konzepte. Der objektorientierte Entwurf hat zum Ziel, den geschriebenen Programmcode wiederzuverwenden, vor allem im Sinne der Vererbung. Dazu dient das Klassenkonzept und die Schnittstellendeklaration. So können Objekte wieder verwendet, erweitert oder deren Eigenschaften vererbt werden, sehr ähnlich dem funktionsfähigen aber evolutionär weiterzuentwickelnden Prototypen [DWHH96].

Neben den Systemspezifikationen sprechen so auch konzeptionelle Gründe für die Nutzung objektorientierter Technologien innerhalb des Zielsystems. Evolutionäres Prototyping umfasst die Entwicklung des prototypischen Zielsystems auf der Basis kombinierter Top-Down und Bottom-Up Ansätze. Ähnlich den klassischen Phasenmodellen werden Anforderungen Top-Down analysiert und wiederverwendbare Programmbausteine zu deren Erfüllung gesucht. Daneben können aber auch fehlende Funktionalitäten vollständig neu entwickelt werden. Prototyping Prozesse können entsprechend wiederum selbst nach Phasenmodellen oder anderen Vorgehensweisen entworfen werden.

Innerhalb dieser Arbeit wird der erste Evolutionsschritt klassisch in die Phasen Systemzieldefinition, Anforderungsanalyse, Systemspezifikation, Implementierung und Test eingeteilt und nach diesen vorgegangen.

5.1.1 Definition des Systemzieles

Das Zielsystem soll mittels verschiedenartiger stationärer Augmented Reality Displays innerhalb eines Küchenkontextes Informationsanzeigen erstellen und präsentieren. Die Anzeigen sind dabei so zu erstellen und zu verteilen, dass zu jedem Zeitpunkt eine optimale

[1] Die Spezifikation wird per Definition erst parallel zur Prototypenentwicklung genauer dokumentiert.

Informationsdarstellung für den Nutzer erfolgt. Die Darstellung ist also optimal an die Fähigkeiten, Bedürfnisse und den Kontext anzupassen. Es dürfen dem Nutzer entsprechend keine Informationen oder Informationsteile vorenthalten werden. Aber auch die Überforderung oder Behinderung bei auszuführenden Aufgaben ist zu vermeiden. Dazu zählt sowohl die physische als auch kognitive Hinderung.

Das Zielsystem soll optical- und video-see-through sowie projective Displays umfassen und verschiedene mögliche Raumpositionen des Nutzers abdecken. Die Form der möglichen Informationen soll den gewöhnlichen Küchenkontext abbilden. Es werden entsprechend Rezeptschrittunterstützung, Informationen über Objekte der Küche (exemplarisch hier eine Füllstandsüberwachung) und Warnungen bei Fehlern oder Handlungsbedarf integriert. Abb. 5.1 zeigt ein Foto und eine Skizze des Raumes mit den dort befindlichen Anzeigeflächen.

Abbildung 5.1: Foto der Küche des UARKit Projektes, Rechts: Draufsicht mit Möbelpositionen und möglichen Nutzerausrichtungen nach Arbeits- und Anzeigeflächen (Pfeile), Anzeigeflächen (grün) und Abmessungen (in cm).

Beispielsweise soll der an der Arbeitsfläche befindliche Nutzer über die Menge und Art der nächsten zuzufügenden Zutat informiert werden während der Handlung des Kochens. Dazu soll die Art der Information analysiert werden, die Qualität und Quantität ihrer Bestandteile (Mengenangabe, Hinweis auf den Standort und die Art der Zutat) sowie die Position des Nutzers (auch Kopfausrichtung). Schaut der Nutzer in Richtung Arbeitsfläche, stehen ihm entsprechend nur die Arbeitsflächenprojektion und ein video-see-through Display zur Verfügung (siehe Abb.5.2).

Die Information des Beispieles besteht nun aus heterogenen Teilen (Mengenangabe, sowie Markierung für Standort und Art der Zutat). Es wird entsprechend den Richlinien der Visualisierungsparameter ein homogener Hintergrund notwendig, der eher bei der Arbeitsflächenprojektion ereicht wird. Die Information selbst wird der Farbigkeit und Textur der Arbeitsfläche angepasst (Kontrastmaximierung) und entsprechend dem nötigen Abstand (nonkonform mit Verbindungslinie) eingeblendet [2].

[2]nonkonform an dieser Stelle, da die Umrissmarkierung in sich geschlossen ist und die Zugehörigkeit (Gruppierung) zum ebenso dazugehörigen Text nicht mehr optimal herstellt. Die gleich gut geeignete nonkonforme Nebenstellung bspw. eines Textes markiert einerseits die Art und Position der Zutat und

Abbildung 5.2: Tasse auf Arbeitsfläche der Küche mit annotierter Projektion und Touchdsiplay mit Menüführung.

Verändert nun der Nutzer seine Position, so wird erneut das am besten für diese Informationsart geeignete Display ausgewählt und die Visualisierung u.U. neu berechnet. Eventuell würde hier auf ein video-see-through Display ausgewichen, dessen heterogener Hintergrund durch die homogenisierte Aufblendung ausgeglichen werden muss.

Wird in einem anderen Fall eine Warnung (bspw. vor Überkochendem) nötig, so wird diese ebenso den aktuell sichtbaren Displays (und dem speziell Ausgewählten) angepasst und Dringlichkeitsparameter verändert, bspw. durch die Nutzung animierter und sehr großer Symboliken mit dem Standorthinweis für die Gefahr.

5.1.2 Anforderungsanalyse

Das beabsichtigte Zielsystem muss entsprechend dem Systemziel eine Visualisierungsanpassung in Echtzeit berechnen und verteilen auf den zur Verfügung stehenden Displays. Dazu sind verschiedene Grundfunktionen nötig, deren Hardwarekomponenten möglichst unsichtbar in die Umgebung integriert sein sollen, um für den Nutzer ein ubiquitär verfügbares Informationssystem zu schaffen.

In einem ersten Schritt muss die Position und Kopfausrichtung des Nutzers getrackt werden. Dies sollte mittels Kameras (optischem Tracking) erfolgen, um keine Markierungen oder andere Referenzsysteme am Nutzer befestigen zu müssen.

Zusätzlich müssen aktuelle Informationen über die Menge, Art und den Standort einzelner Objekte (hier Zutatenbehälter) per Sensorik erkannt und in einer Datenbank aktualisierbar gespeichert werden. Dort sind auch Daten und Ablaufsequenzen bestimmter Handlungen (Kochvorgang, Details der Garzeiten, und -temperaturen, Tätigkeitsbeschreibungen, etc.) zu speichern. Dies dient der Rezeptschrittgenerierung und später zu integrierenden Fehlererkennung, sowie Warnungsgenerierung. Bekannt sein müssen ebenso Eigenschaften und Standorte der verfügbaren Displays.

ermöglicht die textuelle Annotation am Ende der Linie zur optimalen Bezugherstellung.

Weitere Sensorik wird benötigt für die AR Registrierung der Aufblendungen. Hier können wiederum optische Sensoren (Kameras) und gängige reale AR Marker (Indentifikationsmuster) verwendet werden. Die schwarz-weiße Musterung erlaubt an dieser Stelle auch grauwertige Bildsensoren.

Für die optimale Funktion der Bodenprojektion müssen Lichtsensoren integriert werden, für die Erkennung von ungeeigneten Lichtverhältnissen für die Projektion von Informationen (physische Verdeckung durch den Nutzer, Lichteinstrahlung, etc.). Die Projektion wird dann an eine geeignete Stelle des Raumes verschoben, ohne die Information für den Nutzer zu verändern (Pfeile zeigen auf gleichen Punkt, etc.). Die Bodenprojektion soll neben dieser Low-Level Anpassung hinsichtlicher der Lichtverhältnisse auch die High-Level Anpassung des Informationsinhaltes erfüllen. Nach Kenntnis der veränderten Distanzwahrnehmung des Nutzers (siehe Kap. 2.4.1) müssen sehr weit weg verschobene Darstellungen (bspw. von Navigationshinweisen zum Zutatenstandort) eventuell in anderer Form visualisiert werden, um die geeignete Darstellung zu gewährleisten. Die Lichtsensorinformation ist somit ebenso wichtig für die Analyse der Eigenschaften des ausgewählten Displays.

Das Informationsystem erfüllt die Funktionen der Anbindung aller Sensoren, und Anzeigen. Es verwaltet zudem die jeweiligen Datenbanken als Speicherwerke. Die Hauptaufgabe besteht in der Zusammenführung aller Kontextdaten (Ablaufbeschreibungen, Sensorwerte, Zustandswerte) und der darauf beruhenden Berechnung der optimalen Anzeigefläche und Anzeigeform auf Basis des neuen Konzeptes der Visualisierungssynthese (siehe Kapitel 4). Auf dieser Basis wird die Anzeige erzeugt bzw. verändert.

Bereits erwähnt ist die beabsichtigte Nutzung hauptsächlich kleiner und „unsichtbarer“ bzw. hochintegrierter technischer Geräte. Dazu sollen Projektoren möglichst geräuscharm und klein sein, sowie in Schränken verbaut werden können. Alle Kameras sollen ebenso verdeckt angebracht werden. Die verwendete Sensorik ist möglichst klein und sehr robust auszuwählen. Die besonderen Anforderungen der Küchenumgebung verlangen zudem für alle Bestandteile eine gewissen Hitze-, und Feuchtigkeitsbeständigkeit, sowie die Möglichkeit der leichten Reinigung und Reparatur. Sie müssen entsprechend zugängig und austauschbar angebracht werden.

5.1.3 Systemspezifikation und Komponenten

Das Zielsystem soll die Visualsisierungsberechnung in Echtzeit vornehmen. Für das gewünschte System wird dafür eine Toleranz von maximal einer Sekunde festgelegt, in der die Positionsbestimmung und Bildgenrierung, sowie Anzeige erfolgt sein muss. Dabei soll durch die Trackingkomponente die zu beachtende Latenz der Etablierung einer Nutzerposition und -situation einberechnet werden. Die Prämisse des prototypischen Systems liegt in der Berechnung der optimalen Anzeige(form). Der Nutzer darf zu keiner Zeit, zwei oder mehr Anzeigen angeboten bekommen und die Visualisierung muss den Gestaltungsrichtli-

nien der vorangegangenen Parametersammlung entsprechen.

Das Zielsystem erfüllt darüber hinaus sehr verschiedenartige Grundfunktionen, die zum Teil für den Nutzer sichtbar sind zum Großteil jedoch im Hintergrund ausgeführt werden. Grundsätzlich sind dabei alle Teilfunktionen durch die Art der zu verwendenden Sensorik und die Entkopplung von den letztlich zu wählenden Anzeigeflächen sehr eigenständig zu implementieren. Dies hat den Vorteil der in sich geschlossenen Komponenten, die für sich erweitert oder gewartet werden können, aber auch die Neuintegraton anderer Funktionalitäten (in Form eigenständiger Komponenten) zulassen. So kann das System durch den Austausch einzelner Komponenten auch für andere Kontextfelder genutzt werden, indem beispielsweise die Komponente des Kontextmodelles „Küche“ durch das Kontextmodell „Leitwarte“ ersetzt wird.

Eine Softwarearchitektur, die diesem Konzept Rechnung trägt, ist das *Blackboard System*. Diese bauen auf der zentralen Idee auf, unabhängige Aktoren über eine gemeinsame Kommunikationsplattform die Möglichkeit der Input- und Outputgenerierung zu bieten. Die dahinterstehende Metapher beschreibt die Situation einer Tafel als Plattform für den Wissensaustausch mehrerer verschiedener Experten, die eigenständig Teilprobleme lösen und deren Ergebnis auf der Tafel als Input für andere bereitstellen [Cor91].

Blackboard Systeme bieten eine lose Kopplung der Komponenten durch deren Anbindung als sogenannte Knowlegde Sources (KS, Teilsysteme für die Lösung in sich geschlossener Probleme). Zudem können Ereignisse, die durch eine oder mehrere KS ausgelöst werden auch wiederum von einem oder mehreren KS bearbeitet oder ausgeführt werden (Mutliplexing von Events). Die Austauschbarkeit der KS beinhaltet die intuitive Bedienbarkeit der Komponentenerstellung und -kommunikation, da Tupel Spaces als Speicherbasis nutzbar sind (eine Form der verteilten Speicherstruktur). Dabei ist auch die Abfrage partieller Tupel möglich. Ein Blackboard System ist zudem hoch skalierbar und stellt den ersten Schritt hin zu einer Agenten basierten Software dar. Es kann auch dahingehend einfach erweitert werden kann, imdem KS durch Agenten ersetzt oder Agenten hinzugefügt werden [Cor91].

Im Folgenden wird näher ausgeführt, welche KS für die Problemlösung dieser Arbeit integriert werden, welche Aufgaben sie erfüllen und wie sie zur Gesamtlösung beitragen. In Abb. 5.3 ist der Aufbau des Gesamtsystems dargestellt. Anschließend wird die KS der Visualisierungsberechnung gesondert im Detail besprochen, um die gewählte Strategie des Bottom-Up Verfahrens der Parameteranpassung und die Schaffung einer Wissensbasis für das FXPS in ihrer Softwareumsetzung zu erläutern. Eine Kontrollinstanz verbreitet die Nachricht eines stattgefundenen Ereignisses (ein neuer Eintrag auf dem Blackboard) an alle *anstehenden KS Aktivitäten*. Diese werden daraufhin mithilfe jeweils im Hintergrund agierender Zusatzprogramme oder Datenbanken durch die *ausführende KS Aktivität* erledigt. Die Ergebnisse werden anschließend auf (eventuell verschiedene Bereiche) auf dem Blackboard geschrieben. Dieses bedient sich typischerweise einer großen strukturierten Da-

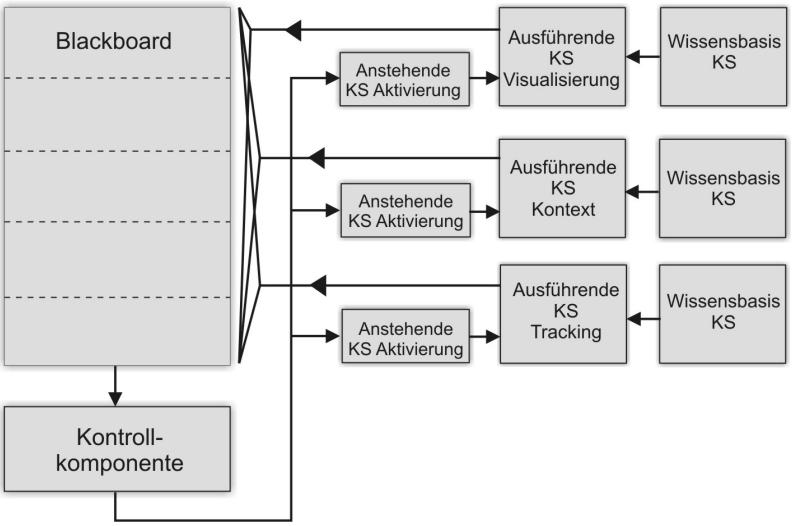


Abbildung 5.3: Struktur des Blackboard Systems mit den unabhängigen KS der hiesegen Anwendung.

tenbank zur Speicherung. Möglich ist auch die dortige Schreibkontrolle durch die Kontrollkomponente.

Die KS *Tracking* erfüllt die Aufgabe der optischen Positions- und Kopfausrichtungserkennung des Nutzers. Diese erfolgt mithilfe dreier Kameras und auf Basis bereits vorhandenen Wissens über die räumlichen Abmessungen und Hauptbetätigungsfelder. Die Ausgabe beinhaltet in Koordinatenform die zweidimensionale Position des Nutzers und die boolschen Variablen, ob die Kopfausrichtung in eine der drei vorgesehenen Displaybereiche fällt oder nicht.

Die KS Kontext beinhaltet die Zusammenführung der vorab beschriebenen (und vereinfachten) Ablaufschritte der unterstützten Tätigkeit (hier ein einfaches Rezept kochen) und die Sensordaten des Kontextes. Daraus ergibt sich der aktuell notwendige Informationstyp (Schritt, Navigation, Warnung, Dringlichkeit), die auf das Blackboard geschrieben werden. Gesteuert wird hier jedoch auch die Anbindung der Bodenprojektionsanpassung, falls diese verwendet wird. Anhand des Abstandes werden Visualisierungsveränderungen veranlasst (Verschiebungen, erneute Visualisierungssynthese).

Die KS Visualisierung bindet alle Clients für die jeweiligen Anzeigeflächen sowie das AR Toolkit an (Java Bibliothek für Marker-basierte AR Aufblendungen [Iiz11]. Darüber hinaus sind hier das VEM und das FXPS integriert und die Klasse für die Auswahl des geeigneten Displays. Im Ergebnis schreibt diese KS lediglich die erfolgreiche Erledigung der Anzeige auf das Blackboard.

Der Prototyp des Informationssystems kann jedoch keine vollständige Problemlösestrategie enthalten. Diese ist gekoppelt an die Umsetzung generischer Informationsvisualisierungen für jedes mögliche Anwendungsfeld und für jeden möglichen Parameter und dessen

Richtlinien der optimalen Gestaltung. Der hiesige Prototyp stellt lediglich einen ersten Schritt in diese Richtung dar, da die nötige Wissensbasis aller zu beachtender Paramete der Visualisierung fehlt. Sie können aber leicht ergänzt werden in das fertige System.

Die Konsistenz der angewendeten Parameteranpassungen der Visualisierung wird durch das Expertensystem übernommen. Typischerweise werden Regelsätze hierzu direkt bei der Integration in die XPS Wissensbasis auf ihre Konsistenz gegenüber den bereits vorhandenen Regeln überprüft und gegebenenfalls zurückgewiesen. Das FXPS ermöglicht hier sogar eine inkonsistente Ergänzung. Das Feuern der Regeln kann nur teilweise erfolgen, wordurch bestimmte Konsistenzen irrelevant werden.

5.1.4 Implementierung

Die Implementierung umfasst entsprechend die Erstellung des Blackboard Systems mit allen beteiligten Knowledge Sources (KS) und Speicherstrukturen. Das System wird aufgrund der Plattformunabhängigkeit und Konzeptionsnähe zwischen evolotionärem Prototyping und Objektorientierung in Java implementiert.

Die Implementierung erfolgt auf einer Dell Precision Workstation T3500, Dual Core Intel® Xeon® W3503 2.40 GHz, 4M L3, 4.8 GT/s, 4GB DDR3 SDRAM mit 1333 MHz, 250GB SATA Festplatte, zwei 256 MB ATI FireMV® 2260 Grafikkarten. Genutzt wird die Java Runtime Environment (JRE) Version 1.6.0_24.

Zur Veranschaulichung des Programablaufes zeigt Abb. 5.4 das Sequenzdiagramm der Blackboard Komponenten. Abb. 5.5 zeigt den detaillierten Ablauf der in der Komponente Visualisierung enthaltenen Teil des Visualization Exploration Models (VEM) und des FXPS. Im anschließenden Exkurs wird beschrieben, wie die Wissensbasis des FXPS erstellt wurde und welche Berechnungsergebnisse die Inferenzmaschine auf dieser Basis für die Parameterausprägung bestimmt.

Die Komponente Tracking arbeitet auf Basis der Auswertung optischer Signale (Kamerabilder). Sie bestimmt die Position des Nutzers im Sinne der Zuordnung zu Nutzungsbereichen im Küchenraum. Zusätzlich erfasst das Tracking, ob der Nutzer ind en Bereich verfügbarer Dispays schaut oder nicht. Hierfür spielen die drei vorgesehenen Nutzerpositionen eine wesentliche Rolle. Befindet sich der Nutzer in einer von Ihnen, kann mithife der angeschuauten Displayliste (verfügbare Displays einer Position) die Distanz zu diesen berechnet werden.

Da der Nutzer u.U. nicht absichtlich oder nur sehr kurz seine Position verändert, müssen zusätzliche Wartezeiten einberechnet werden. Der „nervöse“ Nutzer wird so nicht mit im Sekundentakt wechselnden Displayanzeigen überfordert. Erst wenn sich der Nutzer an einer Position länger als 2 Sekunden aufhält, erfolgt für diese Position die Darstellungsaufforderung, die im Hintergrund bereits berechnet wurde. Um diese Positionsetablierung zu stützen, können zusätzlich Kontextdaten herangezogen werden.

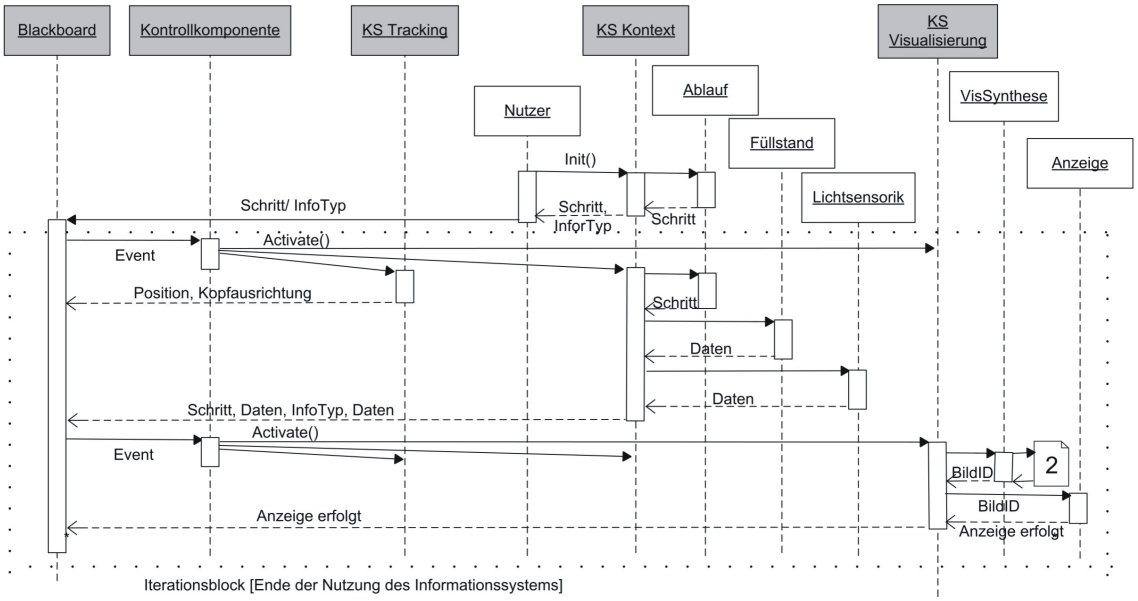


Abbildung 5.4: Sequenzdiagramm der Blackboard Komponenten (grau markiert). Für Details der VisSynthese (Verweis 2) siehe Abb. 5.5.

Die Komponente Kontext fasst alle im Raum gesammelten Sensordaten und die Speicherwerke. Für die hiesige Anwendung wird dabei der Ablauf mehrerer exemplarischer Fälle squentiell implementiert, die das Ausführen eines Rezeptschtrittes beinhaltet (Zugabe einer Zutat), die Navigation zu einem in der Küche gesuchten Objekt und die Unterbrechung durch eine Warnung mit einer bestimmten Dringlichkeit. Dieser schrittweise Ablauf kann jedch auch durch ein komplexes Kontextmodell ersetzt werden, dass ganze Handlungsabläufe fasst und den Abluaf flexibler gestaltet als es für diesen Evolutionsschritt des Prototypen möglich war.

Kombination Top-Down und Bottom-Up Die integrierte Synthese der Visualisierung ist für die vorliegende exemplarische Umsetzung eine Kombination aus Top-Down und Bottom-Up Verfahren, um den Aufwand zu reduzieren. Der Top-Down Anteil beschreibt die Zerlegung und Änderung fertiger Grafiken bzw. des Gesamteindrucks einer Grafik. Teile können dann anhand der Parameter, in die sie zerlegt wurden, verändert werden. Dadurch ist es möglich, eine Vorauswahl an grafischen Umsetzungen einer Informationsvisualisierung vorzunehmen. Andernfalls müsste (automatisiert) eine geeignete Form(sprache) und Symbolik, vor allem aber eine geeignete Repräsentation für den Transfer der darzustellenden Information gefunden werden. Beispielsweise müsste in der Küchenanwendung automatisiert entschieden werden, wie eine Warnung, dass etwas auf dem Herd verbrennt, grundsätzlich aussehen sollte, ob also bspw. ein Ausrufezeichen oder Warndreieck verwendet wird.

Diese Aufgabe ist kaum zu lösen aufgrund der Vielfalt der Symboliken und möglichen grafischen Umsetzungen. Das Verfahren kann aber genutzt werden, um einen fertigen Satz verfügbarer Grafiken zu erstellen, ihr Parameter zu formalisieren und daraus eine Voraus-

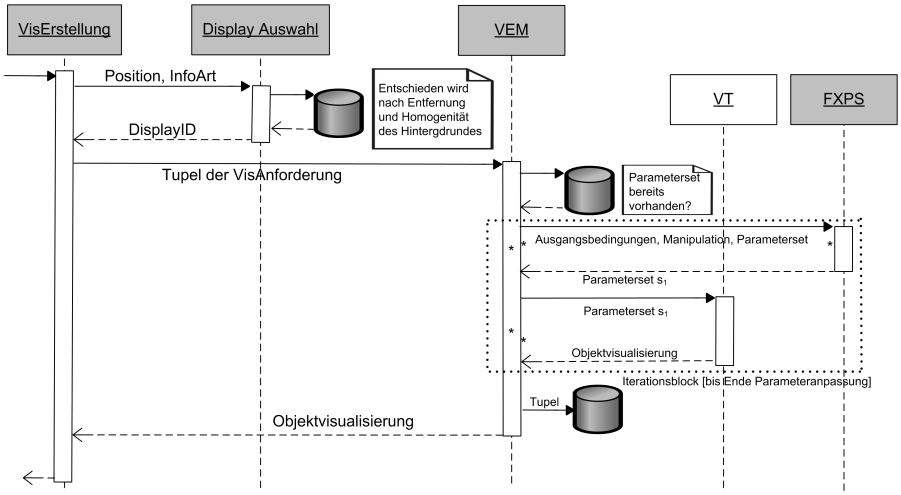


Abbildung 5.5: Sequenzdiagramm der VisSynthese Komponente mit den integrierten Visualization Exploration Model (VEM), Visualiszation Transform (VT) und dem Fuzzy Expertensystem (FXPS).

wahl anzubieten. Diese können dann durch eine gewisse Zerlegung in bestimmte Visualisierungsparameter so verändert werden, dass sie den Richtlinien für eine nutzergerechte AR Darstellung entsprechen. Zum Beispiel könnte hier die Wahl des Transparenzgrades oder der Animationsgeschwindigkeit (bestimmter Teile) der Grafik neu entschieden werden. Dieses Vorgehen entspricht dem implementierten Bottom-Up Verfahren, dass sich prinzipiell der Grafikerstellung mittels Anpassung der Einzelparameter bedient, die schrittweise zu einer Gesamtgrafik kombiniert werden.

Sowohl die Vorauswahl, als auch die Parameter-basierte Veränderung der Visualisierung einer Information hängt von Kontextfaktoren ab. Die folgende Tabelle listet auf, welche Ausgangsdaten heranzuziehen sind und welche Visualisierungsparameter zur Änderung zur Verfügung stehen (ohne Zwischenschritte).

Die von Pfitzner et al. [**?**] vorgeschlagene Taxonomie der Einfluss- und Visualisierungsparameter wird entsprechend für die vorliegende Arbeit geeignet eingeschränkt. Die Bildanpassung konzentriert sich dazu auf die bereits erwähnten Einflussgrößen des Datentyps (Objektdaten wie Inhalte, Attribute wie Dringlichkeit), auf den Aufgabentyp (Rezeptschritt, Gefahrenbeseitigung) und auf Kontextdaten (Displaytyp, Entfernung). Alle weiteren Einflussgrößen werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Aufgrund des exemplarischen Umsetzungscharakters des Projektes UARKit sind alle weiteren Einflussgrößen ebenso wie die Genannten durch eine die Vergößerung der zu erstellenden Regelsatzwissensbasis zu erfassen. Die Funktionalität des beabsichtigten Systems wird dadurch jedoch in den relvanten Fragestellungen der Nutzeranpassung nicht wesentlich herabgesetzt.

Ausgangsdaten, Antezedensen	VisParameterausprägungen, Sukzedensen	
Infotyp	Graphisch ↔ Text	2D Vis Parameter
Kontext (bspw. Hintergrund)	animiert ↔ statisch	
DisplayTyp (Eigensch.)	Ebene	
Nutzerposition und Kopfausrichtung	Größe	
	Wertigkeit (Value)	
	Relation	
	Farbe	
	Form	
	Textur	
	Orientierung	
	Redundanz	AR spezifische
	Ähnlichkeit	VisParameter
	Animation	
	(Non)Konforme Einblendung	
	Dimensionalität	
	Gruppierung	
	Transparenz	
	AR Textur	
	Kognitives Tunneln	
	Depth Cues	

Tabelle 5.1: Ausgangsdaten und Visualisierungsparameter sowie deren Ursprung.

5.1.5 Evolution

Der Stand des bis dahin entwickelten Prototypen beinhaltet alle wichtigen Komponenten und Teilfunktionalitäten. Die Zielvorgabe der maximalen Berechnungsdauer wurde auf eine Sekunde festgelegt. Diese kann mit dem vorliegenden Prototypen vor allem wegen der zeitintensiven Bilderzeugung des NyARToolkits nicht eingehalten werden. Wird aufgrund der Nutzerposition (oder Kopfposition) ein neues Display für die Anzeige gewählt, so wird die neue Einblendung (da durch einen neuen Client ausgeführt) in Gänze neuberechnet. Alle Schritte des Toolkits müssen dann neu durchlaufen werden (Markertracking, Registrierung, Rendering).

In einem nächsten Evolutionsschritt muss daher eine Lösung gefunden werden, die den Neuaufruf von Bilderzeugungen durch das Toolkit minimiert und einfache Einblendungen (wie bspw. Texte oder Symbole) für optical-see-through oder projective Displays durch vorgefertigte Bilddateien umsetzt (also das zeitintensive Rendering gespart wird).

So wird entsprechend dabei die Bottom-Up Parameteranpassung kombiniert mit einem

Top-Down Ansatz der Einschränkung möglicher Bildvarienten, um die Komplexität zu reduzieren. Für kleinere Anwendungsbereiche ist dies ein durchaus übliches Prozedere, dass in den nächsten Evolutionsschritten wieder erweitert werden kann.

Die anfangs gestellte grundsätzliche Problemfrage lautet, wie ein geeignetes Display und die zugehörige Visualisierungsform gewählt werden kann auf Basis aller (oder möglichst vieler Gestaltungsrichtlinien für optimale Anzeigen). Die dazu bereits existierenden Richtlinien sind typischerweise Wertebereiche, die nicht genau festlegen, welches das am besten geeignete Display ist, sondern in welchem (Werte-)Rahmen die Darstellung günstig wäre bzw. gelten immer auch starke Kontextabhängigkeiten. Es ist daher die Frage zu klären, ob auf dieser Basis ein System, das diese Regeln beinhaltet und anwendet, zu deterministischen Auswahlentscheidungen fähig ist.

Die Antwort muss das Ergebnis eines Reduktionsprozesses und systematischer Einschränkungen für die Abhängigkeiten der AR Anzeige sein. Die Komplexität der jeweiligen Abhängigkeitsfaktoren und deren verschiedene Ausprägungen für die unterschiedlichen Anwendungsfelder zwingt dazu. An dieser Stelle wird daher als Lösungsansatz ein teilweiser Top-Down-Ansatz der Anwendungseinschränkung für die hiesige Implementierung des Gesamtsystems vorgenommen. Im Folgenden werden schrittweise die für diese Arbeit nötigen Streichungen oder Limitierungen bei den Ausgangsbedingungen und Visualisierungsparametern vorgenommen, basierend auf den bekannten Kontextabhängigkeiten und Darstellungsrichtlinien.

Ob sich dennoch ein Entscheidungsproblem (mehr als ein Display zur endgültigen Auswahl) ergibt, muss im Anschluss durch eine Simulation ermittelt werden. Ziel sollte es jedoch sein, dem Grundsatz zu folgen, möglichst viele Richtlinien zu integrieren, um den Entscheidungsspielraum zu verringern. Zum aktuellen Zeitpunkt können nicht alle Abhängigkeiten geklärt oder modelliert werden. Ein Restfehler muss daher angenommen werden. Dei Wahrscheinlichkeit für nicht deterministische Entscheidungen oder mehr als ein Display zur Auswahl zu haben ist daher sehr hoch. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Ergänzung von Regeln durch Folgearbeiten zu einer solchen exklusiven Entscheidung führen wird, da sie allein durch ihre Fülle den Entscheidungsspielraum stark eingrenzen.

Der grundlegende Syntheseprozess beschreibt, als Bottom-Up Verfahren, welche Eigenschaften der Displays und der Information zur gewählten Darstellungsart führen. Dazu werden diese vorerst in Tabellenform gesammelt und geordnet und anschließend komprimiert oder gestrichen für die tatsächlichen Anwendungsfälle in der Systemintegration. Ausgangspunkt ist hier der Use Case der Küchenanwendung mit seinen räumlichen und technischen Eigenschaften. Für jeden anderen Anwendungsfall sind vorab gleichartige Übersichten zu erstellen.

Nun folgend wird ein Entscheidungsweg entworfen, der auf seinen Determinismus der Displayauswahl hin getestet werden muss. Möglich ist dies, da die Position des Nutzers im

Raum und die entsprechend zur Verfügung stehende Anzahl Displays und die ausgewählten Zahl der Informationsarten stark beschränkt sind. In einem anderen Anwendungsfall kann diese Aufstellung sehr viel komplexer sein.

Im ersten Schritt beschreibt Tabelle 5.2 die möglichen Sichtfelder der Displays. Tabelle 5.3 zeigt anschließend die Hardwareeigenschaften der verwendeten Displays und Projektoren. Damit wird deutlich, dass nicht jedes Display jederzeit für den Nutzer einsehbar ist, bzw. Eigenschaften hat, die bestimmte Einblendungen von Informationen nicht nutzerfreundlich genug oder schlicht nicht erkennbar darstellen. Sie können also in einem bestimmten Kontext für eine Nutzung ausgeschlossen werden.

Display	Nutzerposition	Kopfausrichtung	Einschränkungen der Informationsdarstellung neben den Displayeigensch.
Touch	Ost (nah, fern)	wenn Südausrichtung	Min. Größe, max. Komplexität geringer je größer der Abstand
Arbeitsfläche	Ost (nah)	wenn Südausrichtung	Schattenproblem, max. Komplexitätsgrad gering
Schrank	alle	wenn Südausrichtung	sehr geringe Komplexität durch nur kleine zusammenhängende Proj.-flächen, u.U. zu dicht
Wand	alle	wenn Ostausrichtung	Größte Anzeigefläche, daher Komplexität auch auf Abstand möglich
Boden	alle	alle	Inhomogener Untergrund

Tabelle 5.2: Zusammenfassung der verwendeten Darstellungsflächen und deren Sichtbarkeit

Anschließend werden bestimmte Informationsdarstellungsarten nach Pfitzner exemplarisch ausgewählt (vgl. Kap. 2.3.2), um den Aufwand der Implementierung zu beschränken. Keinesfalls wird damit jedoch die Aussagekraft der Systementwicklungsvorgehensweise eingeschränkt. Sie muss für einen anderen Fall lediglich nach dem Modell der Visualisierungsparameter komplettiert werden. An dieser Stelle genügt es jedoch die Machbarkeit anhand der ausgewählten Informationsarten zu zeigen. Sie schließt im vorliegenden Fall Dopplungen in der Implementierung aus, gibt aber dennoch für alle relevanten Darstellungsfälle Auskunft. Die Tabelle 5.4 weist Kürzel für die jeweilig benötigten Darstellungsformen aus und streicht die im Anwendungsfall entstehenden Dopplungen (dunkelgrau) oder irrelaven-

Display /	Touch	AF-Proj.	Schrankproj.	Bodenproj.	Wandproj.	Erläuterungen
Bezeichnung	ELO Intellitouch 1739L	Epson EMP-400W	Optoma EX525ST	Casio XJ-S30	Casio XJ-A 130	
Typ	Display	Projektor	Projektor	Projektor	Projektor	
Bildfläche	17"	100 cm	233 cm	238 cm	216 cm	Bei Projektion: Diagonale der ausgeleuchteten Fläche
Auflösung	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768	vereinheitlicht
Leuchtdichte	225 cd/m^2	234,5 cd/m^2	264 cd/m^2	212 cd/m^2	212 cd/m^2	
Ansi-Lumen	–	1800	2500	2000	2000	
Bildfrequenz	75 Hz	75 Hz	75 Hz	75 Hz	75 Hz	vereinheitlicht
Kontrast	1000:1	500:1	2500:1	1800:1	1800:1	
Farbtiefe	16,7 Mio.	16,7 Mio.	16,7 Mio.	16,7 Mio.	16,7 Mio.	
FOV/ Blickwinkel h	160°					FOV für Projektoren nicht angebbar, da keine Winkelabhängigkeit
FOV Blickwinkel v	160°					

Tabelle 5.3: Sammlung der relevanten Eigenschaften der verwendeten Display- und Projektionsgeräte

ten Varianten (hellgrau).

Infoart	Aufgabenart Dringend?	Rezeptschritt	Navigation	Warnung
Textuell	nein	RS_t	N_t	
	ja			W_t
Grafisch	nein	RS_g	N_g	
	ja			W_g
Hybrid	nein	RS_h	N_h	
	ja			W_h

Tabelle 5.4: Darstellungsfälle (und Kürzel) für Aufwandsreduktion; dunkelgrau entspricht Dopplung, hellgrau entspricht nicht zielführend; beides führt zum Ausschluss.

Hellgrau gekennzeichnete Felder bedeuten ebenfalls eine Streichung für diese Art der Darstellungsform im Test. Sie konnten bereits als nicht zielführend oder von Nutzern nicht bevorzugt durch vorangegangene Forschung (siehe oder hier Beleg) und durch das hier durchgeführte Navigationsexperiment belegt werden. Exemplarisch ausgewählt sind daher $RS_t, RS_g, RS_h, N_g, W_g und W_h$.

Für die ausgewählten Darstellungen werden nun die Bedingungen ihrer Darstellung bzw. Visualisierung gesammelt. Zu diesem Zweck ist es entscheidend, dass in den hier durchgeführten Experimenten die Annahme bestätigt werden konnte, dass ebenso 2D Visualisierungsparameter und deren nutzergerechte Gestaltungsrichtlinien auch für AR-Darstellungen gelten. Die folgenden Angaben sind darüber hinaus aus der Norm für die Gestaltung eines Bildschirmarbeitsplatzes DIN EN ISO 9241 Teil 3,7,8 und 12 abgeleitet, da diese bereits verbindlich und wissenschaftlich belegt minimale und maximale Abstände, optimale Auflösungen, Schriftgrößen usw. festlegt [DIN98].

Zusätzlich und elementar für diese Arbeit werden an dieser Stelle bereits einige der Regelungen für die Darstellung von AR Informationen, die aus den vorangegangenen Experimenten gewonnen wurden, integriert. Einzelne AR spezifische, optimale Darstellungsrichtlinien sind hier nicht Bestandteil der Aufführung, da sie keine Einschränkung für ein bestimmtes Display bedeuten. Bspw. ist der Aufblendungsabstand einer virtuellen Objektmarkierung durch nahezu jedes Display darstellbar, wenn nicht, ist die komplette Aufblendung nicht möglich (bspw. mittels der Bodenprojektion, weil sich an dieser Stelle die Projektion für diese Art der Information nicht eignet). Es entfallen in dieser Sammlung entsprechend der Visualisierungsparameter der Aufblendungsabstand, die Redundanz, Verbindungslinien, Ähnlichkeiten, etc.

Für den dritten Schritt zeigt Tabelle 5.6 die möglichen Displays für verschiedene exemplarische Informationsdarstellungsarten. Dazu werden die Displayeigenschaften und deren Einschränkungen aufgrund der Sichtbarkeitsbereiche abgetragen. Eine Darstellung ist hiernach also dann möglich, wenn die Eigenschaften eines Displays zur Gesamtheit der Bedingungen für eine Informationsdarstellung passt. (Die zur möglichen Ablehnung oder Auswahl führenden Raumabmessungen sind der Raumskizze in Kap. 5.1.1 zu entnehmen).

Die folgende Tabelle zeigt den Entscheidungsweg basierend auf den Einflussfaktoren des UARKit Settings und die resultierenden Visualisierungsbestandteile. Die Bildnummern weisen darauf hin, dass anschließend auf bereits vorausgewähltes, vorhandenes Bildmaterial zurückgegriffen wird. Mittels dieses Top-Down-Ansatzes können vorgefertigte 3D-Modelldaten genutzt werden, deren Rendering dann keinen zusätzlichen Verlust an Performanz bedeutet. Dieses Vorgehen ist vor allem dann effektiv, wenn sonst 3D Repräsentationen von komplexen Objekten zur Laufzeit neu erstellt werden müssten.

Das Matching der benötigten Darstellungsbedingungen und den möglichen Displays ist eine einfache Suchfunktion. Dabei werden alle Displays gewählt, die den benötigten Darstellungsrestriktionen entsprechen. Sind die Wertebereiche nicht vollständig übereinstimmend für ein Paar (Information und Display), so wird dieses Display als ein „unter Umständen“ nutzbares markiert bzw. gemerkt. Ziel ist es, für jeden Darstellungsfall nur ein einziges Display zu wählen. Das angepasste Sequenzdiagramm verdeutlicht Abb. 5.7.

In einem anderen Anwendungsfall mit weit weniger möglichen Reduktionen der anfänglichen Freiheitsgrade der Darstellungsformen und Displays ist es entscheidend, alle anwendbaren Richtlinien des vorliegenden Kontextes vollständig zu integrieren, da sie den Entscheidungsraum begrenzen. Stehen dennoch letztlich mehrere Displays zur Wahl, so kann im Einzelfall auch von gleicher Eignung beider Anzeigen ausgegangen werden oder über Usabilitytests zu deren hedonischen Qualitäten weitere Richtlinien ergänzt werden.

1. Infoart	Navi		andere									
2. Komplexität	komplex	non-komplex	homogen				heterogen					
3. Hintergrund	-	-	homogen		heterogen		homogen		heterogen			
4. Info grafisch↔textuell, Ähnlichkeit	-	-	Grafik -unähnlich -nonkonform mit Linie		Grafik oder Hybrid -unähnlich -nonkonform mit Linie		Grafik -mittel ähnlich -nonkonform mit Linie		Text oder textlastiger Hybrid -nonkonf. mit Linie -(unähnlich, sofern möglich)			
5. Dringlichkeit	-	-	wichtig	Unwichtig	wichtig	unwichtig	wichtig	unwichtig	wichtig	unwichtig		
Redundanz bzw. Distanz, Animation Abstraktion/ Warnfarbe	Map -leicht bis weit entfernt - eventuell Animation	Pfeil -dicht bis weit entfernt -Animation	-dicht -animiert -Warnfarbe/ -symbolik	-eher dicht od. leicht entfernt -statisch	-dicht ok, besser leicht entfernt -animiert -Warnfarbe/ -symbolik	-leicht bis weit entfernt -statisch	dicht -animiert -symbolhaft (abstrahiert soweit wie möglich) -Warnfarbe/ -symbolik	-leicht bis weit entfernt -statisch	-dicht (groß) -animiert -Warn-farbe/ -symbolik	-entfernt (mitGrößen-anpassung) -statisch		
BildID der Vorauswahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

Abbildung 5.6: Abhängigkeiten der Top-Down Bildauswahl

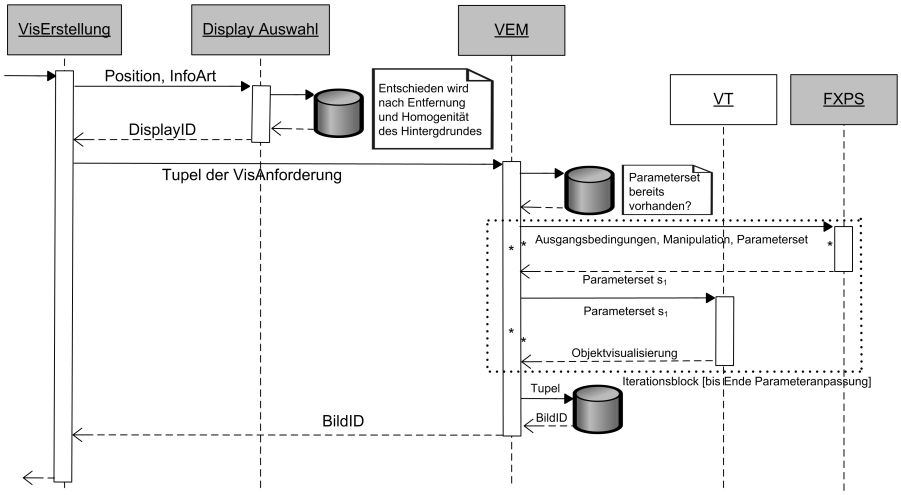


Abbildung 5.7: Sequenzdiagramm der veränderten Visualisierungserstellung.

5.2 Integration UARKit

Die Softwareentwicklung und Implementierung ist ausgerichtet auf die Anwendung des Zielsystems im Kontext einer intelligenten Küche. Diese ist Kern des Projektes UARKit (Ubiquitous Augmented Reality Kitchen), in der ein ubiquitär zur Verfügung stehendes Informationssystem bei Handlungen des Kochens unterstützen soll. Dazu wurden aus Komplexitätsreduktionsgründen die Teilhandlungen bzw. Handlungsaufforderungen Rezeptschritt, Zielnavigation und Warnung ausgewählt für die Umsetzung. Ziel ist es, für den jeweiligen Kontext der Handlung, die Position, Blickausrichtung, Objektzustände und möglichen AR Displays (Displayeigenschaften) die aktuell am besten geeignete Form der Visualisierung bereitzustellen.

Dazu wird das an die 2D Informationsvisualisierung angelehnte Verfahren der Bottom-Up Parameteranpassung integriert und zusätzlich durch eine Top-Down Bildeinschränkung der Berechnungsaufwand reduziert. Die Visualisierung soll in Echtzeit statt finden, daher ist es nötig, dreidimensionale einzublendende Objekte mit der zur Verfügung stehenden Rechnerkapazität bereits fertig gerendert (vollständig modellierte Form) als Bild gespeichert zu haben. Durch die zeitintensive Berechnung der Nutzer- und Kopfposition kann das Rendering in der tolerierten Zeitspanne einer Sekunde nicht mehr adequat ausgeführt werden.

Das Anwendungsfeld Küche bietet für die vorliegende Systementwicklung die Möglichkeit der annähernd realitätsnahen Kontextdatenerzeugung, die durch verschiedene Komponenten zur Verfügung gestellt werden. Im Folgenden werden die Hardwarekomponenten und ihre Anordnung, Einzelfunktionen sowie ihre Anbindung und möglichen weiteren Anwendungen vorgestellt.

5.2.1 Aufbau – Technik

Im Projekt Ubiquitous Augmented Reality Kitchen wurde als exemplarische Umsetzung der Systementwicklungstheorie eine intelligente Küche entworfen und aufgebaut. Sie enthält verschiedene sAR Displays und Projektionen, Kameras und diverse Sensorik zur Integration von Kontextdaten.

Die Anordnung der Möbel geschah auf Grundlage der Schaffung festgelegter Nutzerpositionen im Raum. Ziel war es, orthogonale und diametrale Blickrichtungen, sowie Standpositionen zu erreichen, indem fixe Arbeitsbereiche, das Hauptbedienfeld und der zentrale Zutatenvorrat vorher auf eben diese Positionen festgelegt wurden. Dies ergab eine L-Form für die Küchenzeile und eine gegenüberliegende Regalwand (siehe Abb. 5.1 mit den vorgesehenen Positionen des Nutzers).

Das System hat so trotz der Möglichkeit des Nutzers, jede Position im Raum einzunehmen, eine begrenzte Anzahl Displays für jede dieser Positionen zur Verfügung. Es errechnet aktuell verwendbare Displays dann auf Basis des Blickwinkels des Nutzers und des Field of Views des Displays, sowie auf Basis der Distanz zwischen ihnen. Das letztlich genutzte Display wird bestimmt durch die Informationsart und die Hintergrundbeschaffenheit.

Für das Tracking, die Erfassung der Hintergrundbeschaffenheit und die Aufblendung mittels video-see-through (realitätsabbildend) sind 4 Kameras integriert. Des Weiteren sind drei Deckenprojektoren, ein Arbeitsflächenprojektor und ein Touch-Display verbaut, sowie Licht- und Gewichtssensoren.

Für die Identifikation der Zutatenfüllmengen sind darüber hinaus auch RFID Reader und Tags[3] integriert. Dazu sind lediglich die Tags (Einheiten mit den vorab festgelegten Identifikationsnummern) und zugehörige Reader (Lesegeräte) nötig, die auf den gleichen Frequenzen arbeiten. Diese ist dabei auch entscheidend für die Reichweite der Auslesung. Für die Küche wurden gängige Tags (auch Smart Labels) und Reader der Frequenz 13,56 MHz (Kurzwelle) verwendet. Sie haben eine kurze bis mittlere Reichweite (etwa ein halber Meter) und eignen sich für den Nur-Lese-Einsatz[4].

5.2.2 Systemkomponenten

Abb. 5.8 zeigt die Systemkomponenten und ihre Anbindung an die Hauptrecheneinheit (Server).

Der Datenaustausch findet über Ethernet statt und verbindet so alle Clients mit den jeweiligen Display oder Projektoren und die Kontextdatenerfassung. Angeschlossen ist hier auch eine exemplarisch eingesetzt Netzwerkkamera. Auf jedem der Clients und auf dem

[3] RFID (Radio Frequency Identification) ist eine Funktechnologie, die die einfache Identifikation vornehmlich von Massenprodukten ermöglicht ähnlich optischen Barcodes.

[4] Es existieren auch Lösungen, deren Tags neu beschrieben oder gelöscht werden können. Diese kommen zumeist in Logistikunternehmen für Behälter mit austauschbarem Inhalt zum Einsatz.

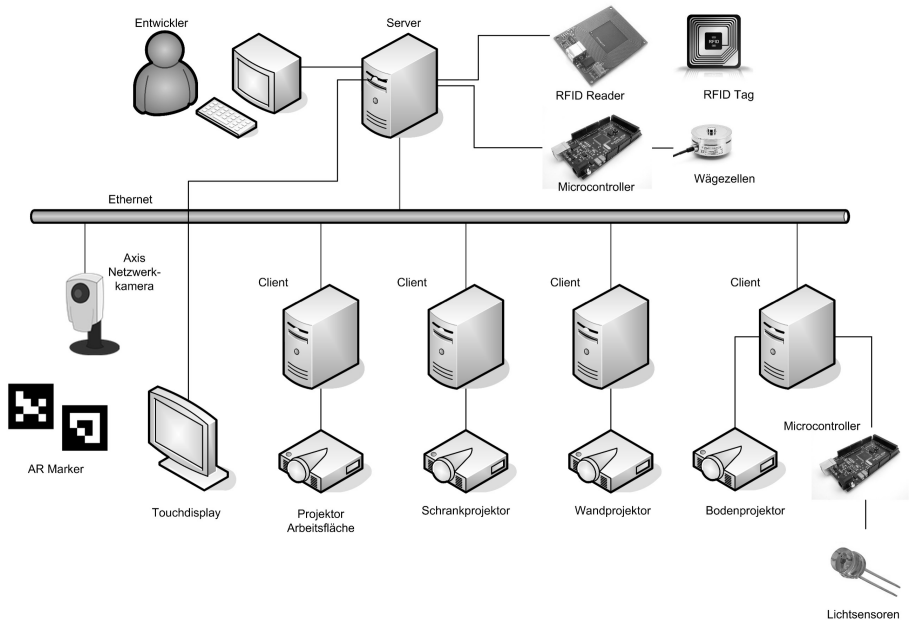


Abbildung 5.8: Struktur, Art und Anbindung der Systemkomponenten.

Server befindet sich dafür das NyARToolkit, mit dessen Hilfe das Kamerabild, die erfassten Marker und die Objektvisualisierungsdaten zu einem AR Bild zusammengefasst werden. Dies bedeutet jedoch auch, dass jeder Bildschirmwechsel den Neuaufruf des Toolkits und damit auch die gesamte Bildneuberechnung initiiert. Dazu zählen dann die Markererkennung, ddie Registrierung, das Objektrendering und die Bildmischung und -ausgabe. Vor allem das Rendering ist dabei ein zeitintensiver Prozess.

Ein Entwickler hat die Möglichkeit, die meisten der Hauptprozesse (Komponenten) auf dem Server zu bearbeiten. Durch die Auslagerung der Anzeigefuntkion auf die Clients sind jedoch auch dort u.U. Anpassungen vorzunehmen. Für den Nutzer hingegen sind nach den erfolgten Einbauten lediglich die Marker, das Touchdisplay und einige der Deckenprojektoren sichtbar. Die Steuerung erfolgt für ihn ausschließlich per Touchdisplay als initiierungsmenüführung. Die Unterstützung ist im Anschluss vollautomatisiert mit einer bloßen Beendigungsoption.

5.2.3 Kontextdatenerzeugung und -nutzung

Zur Erzeugung dynamischer Echtzeitdaten wurden in den Bodenbelag Lichtsensoren in einer Matrix angebracht und zusätzlich Gewichtssensoren und RFID-Chips und -Reader für eine Füllstandsüberwachung der aktuell vorhandenen Zutaten.

Füllstandsüberwachung. Für die Echtzeitüberblendung aktueller Zutatenfüllmengen bzw. zuzugebender Anteile einer Zutat müssen aktuelle Füllstandsmengen im Informationssystem verfügbar sein. Dazu dient die Zusatzkomponente der Füllstandsüberwachung,

die mittels RFID umgesetzt wurde.

Behältnisse wurden dafür mit AR Markern versehen und so positioniert, dass sie durch die Netzwerkkamera erfasst werden können (Abb. 5.9 zeigt einen Beispielaufbau mit bereits fertiger Überblendung). Zusätzlich enthalten die Behältnisse RFID Tags, mit denen sie durch den im Regal angebrachten RFID Reader identifiziert werden können. Die im Regalboden angebrachte GEwichtssensorik erfasst anschließend das Gesamtgewicht aller dort befindlichen Objekte.

Wird also eine Zutat auf den Regalboden gestellt, so wird für die gelesene ID ein neuer Datenbankeintrag erzeugt mit dem zugehörigen Inhalt, der ähnlich der optischen Barcodeerkennung aus einer Liste bezogen wird. Die gleichzeitig durchgeführte Gewichtsmessung ergibt dann in der Differenz die Menge dieser Zutat, die ebenso in der Datenbnak gespeichert wird.

Entnimmt der Nutzer ein Objekt und verbraucht einen teil der vorhandenen Menge, so identifiziert die RFID die Art des entnommenen Objektes und durch die Gewichtsmessung kann dann die Differenz berechnet werden für den Eintrag der Restmenge, wenn die Zutat wieder dort abgestelt wird.

Als weitere Anwendungen sind auch Einkaufszettelapplikationen oder Rezeptvorschläge auf Basis der (nicht mehr) vorhandenen Zutaten denkbar aber zu diesem Zeitpunkt nicht umgesetzt.

Abbildung 5.9: Überblendung auf eine der im Regal vorhandenen Zutaten.

Bodenprojektionsanpassung Die Bodenprojektionsanpassung funktioniert auf Basis der Auswertung von Lichtsensoren einer Matrixanordnung, die exemplarisch 12 Sensoren umfasst. Ziel ist das Verschieben bzw. neue Visualisieren einer Information im Falle der Verdeckung des Bodens durch den Nutzer oder durch einen starken Lichteinfall, der den Projektionskontrast minimiert. Detaillierte Ausführungen (Schaltung, Funktionsweise) sind in der diesbezüglichen Veröffentlichung nachzulesen [WADR10].

Die Sensoren sind in einem Abstand von 30 cm in der jeweiligen Mitte eines Observierungsquadranten angeordnet (siehe Schema in Abb. 5.10, links). Diese werden genutzt, um mögliche Alternativquadranten und die neue Ausrichtung zu berechnen, zu denen die Darstellung verschoben werden kann, ohne den Sinn der Anzeige zu verlieren. Ein rich-

tungsweisender Pfeil zeigt beispielsweise auch nach der Verschiebung noch auf das selbe Ziel (Abb. 5.10, rechts zeigt den Verlauf).

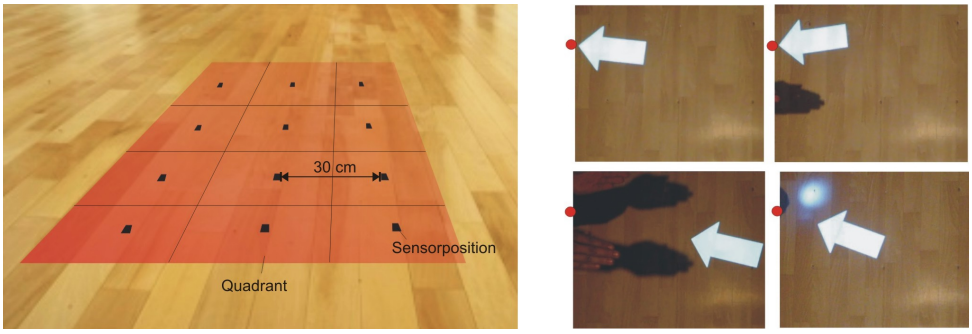


Abbildung 5.10: Schema der Sensorenanordnung rechts, Schnappschüsase der Verlaufsfolge der Projektionsverschiebung am Beispiel Navigationspfeil links.

Das System der Anzeigegenerierung der Bodenprojektion zeigt in der Abbildung die Low-Level-Anpassung aufgrund der einfachen Lichtsensordaten, die dem Informationssystem zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich soll durch einen zukünftigen Evolutionsschritt eine High-Level-Anpassung möglich sein, die auf Basis der entstehenden Distanz zwischen Projektion und Nutzer auch inhaltliche Anpassungen erlaubt. Dazu wird die Distanzabhängigkeit der Informationsdarstellung aus Kapitel 2.4.1 einbezogen und komplexere Darstellungen in einem weiter entfernten Bereich positioniert, bzw. die dorthin verschobene Einblendung auf die Distanz angepasst und bspw. in der Größe und Form verändert.

Abb. 5.11 zeigt dazu einen möglichen Verlauf. Die Einblendung eines Navigationspfeiles zu einem nicht einsehbaren Zielpunkt (a) wird dort beeinträchtigt durch eine starke Lichtreflektion am Boden (b). Die Lösung würde den nun missverständlichen Pfeil in eine Kartenansicht verändern, die wiederum in Form, Größe und Farbigkeit, Perspektive etc. angepasst und projeziert wird (c).

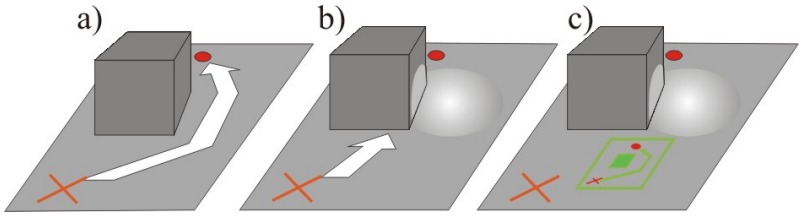


Abbildung 5.11: Beispiel einer inhaltlichen High-Level Anpassung.

5.3 Diskussion

Die Entwicklung des Prototypen wird in der vorliegenden Arbeit an der vorgestellten Stelle gestoppt. Evolutionäres Prototyping ist ein fortlaufender Prozess, der kein definiertes Ende besitzt und auch das fertige Produkt noch weiter begleiten kann. Für das Informationssystem UARKit ist als nächster Evolutionsschritt die Nutzerevaluation von Nöten.

Diese muss den grundlegenden Gedanken verfolgen, die automatisierte Erzeugung und Darstellung von sAR Anzeigen gegenüber fehlenden Visualisierungsanpassungen so zu gestalten, dass die Information leichter detektiert werden kann, eindeutig und schnell zu interpretieren ist und bei der zielführenden Ausführung der aktuellen Handlung unterstützt, ohne zu behindern. Die Tabelle 5.5 zählt dazu die möglichen Funtkionsunterscheidbarkeiten auf und ordnet sie möglichen eher subjektiven oder objektiven Effekten zu.

Funktion der Systemvariante ohne VisAnpassung	Effekt	Funktion der Systemvariante mit VisAnpassung	Effekt
Kontextdatenerzeugung	objektiv	Kontextdatenerzeugung	objektiv
Anzeige auf verfügbarem Bildschirm nach Tracking	subjektiv	Anzeige auf verfügbarem Bildschirm nach Tracking	subjektiv
Bild unabhängig von gewähltem Display,(Abstand) und nutzerger. Gestaltung	subjektiv	Bild abhängig von gewähltem Display und nutzerger. Gestaltung	subjektiv / objektiv, da Displayneuwahl-Bilderzeugung initiiert
Bilderzeugung Top-Down	objektiv	Bilderzeugung Bottom-Up	objektiv / subjektiv, da wenige Parameterveränd. weniger„Umsschaltkosten“ verursachen

Tabelle 5.5: Unterscheidbare und gleichartige Funtkionsteile der Systemvarianten

Lediglich die nicht übereinstimmenden Funktionen eignen sich für Evaluationen (subjektive und objektive) der assoziierten verschiedenen Systemvarianten.

Eine objektive Evaluation muss sich entsprechend der Tabelle auf die Bilderzeugung konzentrieren. Diese ist der aufwendigste zeitintensivste Teil der Implementierung und hat im Vergleich zur Nichtanpassung den größten Einfluss auf die Nutzerwahrnehmung (Nutzerbehinderung durch Wartezeiten). Alle anderen Komponentenanteile sind nicht direkt Besatndteil des Anpassungssystems und gelten auch für die nicht angepassten sAR Darstellungen (wie bspw. Trackingfehler). Die Bilderzeugung setzt sich zusammen aus den Berechnungen des VEM, des FXPS und der Bilderzeugung durch das NyARToolkit. Die folgende Tabelle 5.6 beschreibt die detaillierten Funktionen dieser Teile für die Analyse der Anteile der Dauer des Bildaufbaus.

Der Zeitbedarf der Berechnungen des VEM (inklusive VT) und des FXPS bewegt sich jeweils im Hundertstell Millisekundenbereich und kann somit keine wahrnehmbaren Wartezeiten bedingen. Die zeitintensive Bilderzeugung des NyARToolkits hingegen ist deutlich wahrnehmbar und wird zusätzlich beeinflusst von den herrschenden Lichtverhältnissen. Die AR Bilderzeugung ist jedoch ebenso Bestandteil eines nicht-optimierenden Informations-

Komponente	Funtkionen	Zeitbedarf
VEM, VT	• Sammlung der (Ausgangswerte der) in den Anforderungen enthaltenen Parameter • Erzeugung der Sets für die anzupassenden Parameter auf Basis der Kontextbedingungen • Speicherabfrage für bereits vorhandene Parametersets • Transformation der Parameter nach Wertvorgaben des FXPS	< 1 msec
FXPS	• Regelanwendung für die Bedingungen des Kontextes und die geforderten Parametersets • Wertzuweisung für Parameter der Sets (Rückgabe)	< 1 msec
NyARToolkit	• Markererkennung • Registrierung • Rendering des durch ID und Parameterwerte gegebenen Aufblendeobjektes • Bildaufbau durch real-virtuelle Mischung (video-see-through) oder bloße Positionierung des virtuellen Teiles (optical see-through)	Bildaufbau insg. ~ 2 sec

Tabelle 5.6: Funktionen und Zeitbedarf der Komponenten der Visualisierungssynthese.

systems und ergibt somit keine Effekte hinsichtlich einer vergleichenden Performanzevaluation.

Der zu evaluierende Unterschied liegt damit vorraussichtlich allein in den objektiv messbaren Kosten und in der subjektiv empfundenen Beanspruchung der Umschaltung zwischen den Visualisierungen im Vergleich zur Wahrnehmung einmalig erzeugter, nicht nutzergerecht gestalteter Einblendungen. Eine solche Evaluation muss Bestandteil zukünftiger Forschung sein, da durch die Komplexität der UARKit Anwendung die technischen Anpassungen für diese Versuche im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht mehr möglich waren.

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit galt es die Fragestellung zu klären, wie nutzergerecht gestaltete AR Visualisierungen in ein AR Informationssystem integriert werden können, das sich noch in einer frühen Entwicklungsphase befindet. In einem ersten Schritt wurde dazu die Entscheidung für eine grundsätzliche Vorgehensweise der Visualisierungsanpassung getroffen. Als geeignet erscheint ein Bottom-Up Verfahren, das die schnelle Anpassung und Alternativenbildung für veränderte Anforderungen in dicht aufeinanderfolgenden veränderten Bedingungen der realen Sichtfeldänderung ermöglicht.

Um dann ein AR Visualisierungssystem, das optimale Darstellungen erzeugt, bereits in einer frühen Entwicklungsphase nutzergerecht zu getalten wird das System bereits mit der Vorgabe der Bildgenerierungsart konzeptioniert. Diese Bottom-Up Vorgabe benötigt eine Lösung für das entsprechende Management der verschiedenen Richtlinien aller verwendeten Bildparameter der untersten Ebene. Im Ergebnis ist die nutzergerechte Systemgestaltung bereits während der Konzeptionierung entstanden durch das Bottom-Up Vorgehensmodell und die resultierende Softwarearchitektur.

Die Vorgehensweise ist der 2D Informationsvisualisierung entlehnt und macht die Sammlung und Strukturierung der dort verwendeten Visualsierungs- und deren Abhängigkeitsparametern möglich. Die AR Darstellungsspezifik geht jedoch darüber hinaus. Erst die Kombination von Virtuellem mit Realem ergibt die Gesamtinformation. So sind neben den 2D Parametern auch AR spezifische neue Visualisierungsarameter nötig, die ebenfalls gesammelt wurden.

Die Zusammenstellung der Richtlinien für eine geeignete AR Visualisierung ergab jedoch Widersprüchlichkeiten und offene Fragen, die durch zwei Experimente geklärt werden sollten. Zum einen betraf dies die Nutzbarkeit des neu eingeführten Parameters Redundanz, der ähnlich der AR Techniken Overview & Detail bzw. Fokus & Kontext einen Metaparameter darstellt für die gebündelte Präsentation virtueller Einblendungen. Zum anderen

wurde der Parameter Ähnlichkeit bzw. Realismus, Positionierungen und der Parameter Animation neu evaluiert, da sich aus den bisherigen Studien widersprüchliche Richtlinien ergaben.

Die zwei folgenden Experimente bezogen sich anschließend jeweils auf abtrakte, nicht physisch vorhandene Objekte und solche mit sichtbarem Bezugsobjekt. Sie dienten der Untersuchung, welche Effekte zugehörige Darstellungen der zusätzlichen Information mit und ohne realen Objektbezug (den AR Typenbildungen folgend) anhand der variierten Parameter haben. Das erste Experiment beinhaltete entsprechend abstrakte Navigationsinformationen, das zweite Experiment konzentrierte sich auf Objektmarkierungen von Bausteinen.

Die jeweils verwendeten redundanten Varianten brachten in keinem der Versuche (signifikante) Verbesserungen. Im Bausteinexperiment erwiesen sie sich gar als hinderlich. Die Ähnlichkeit bzw. der Realismus als zweiter Parameter ergab im ersten Experiment ebenso keinen Unterschied für die Nutzbarkeit der Karten. Das Bausteinexperiment wies unähnliche Markierungsvarianten (unähnliche Abbilder oder Umrisse) als signifikant am besten geeignet aus. Sie sind sehr gut detektierbar. Vor allem ergab sich für diesen Parameter eine signifikante Interaktion mit der Positionierung, die den Schluss nahe legt, dass fehlende Unterscheidbarkeiten durch die Positionierung ausgeglichen werden kann. Nonkonforme Positionierungen mit Verbindungslinie sind jedoch generell signifikant besser geeignet als die anderen getesteten Varianten. Diese Parameter können sich in beide Richtungen ausgleichen, wenn eine der beiden besten Varianten aus bestimmten Gründen nicht gewählt werden kann. So empfiehlt sich bei sehr großer Ähnlichkeit die nonkonforme Positionierung, um das Objekt gut detektieren aber dennoch zuordnen zu können. Muss konform positioniert werden, so sollte die Aufblendung so unähnlich wie möglich sein (wie ein Umriss oder eine deutlich verschiedene Farbigkeit, Form etc.).

Die Ergebnisse werden genutzt, um Richtlinien zu formulieren und anschließend für die Berechnung von Datenbasen der Regelsatzerstellung für ein Fuzzy Expertensystem. Diese sind auf den Anwendungsfall der Intelligente Küche bezogen. Die Nutzung eines Expertensystems bietet für die vorliegende Fragestellung der Systemintegration zu einem frühen Zeitpunkt die Möglichkeit der Einbindung von Regelsätzen auf Basis der erhaltenen Richtlinien. Die Regeln bilden die Wissensbasis, dessen Struktur jedoch skalierbar und modular ist, also jederzeit ergänzt oder verändert werden kann. Zudem werden Regeln des XPS nicht iterativ abgearbeitet. Die Umsetzung der Visualisierungsautomation kommt ohne eine dafür nötige Hierarchisierung aus, die aus den Erkenntnissen für die Visualisierungsparameter nicht generisch erstellt werden kann. Auch die nicht in Absolutwerten vorhandenen Richtlinien für die Auswahl von Parameterausprägungen (Farbwerte, Abstände, etc.) sondern grob beschriebenen Zusammenhänge können durch die genutzte Fuzzy Logik verarbeitet werden.

Das FXPS wird anschließend als Systemkomponente in eine Implementierung des Visua-

lization Exploration Models integriert, dass das Defizit der langsameren Visualisierungsberechnung des XPS ausgleichen kann, indem bereits berechnete Ergebnisse gespeichert und abrufbar gehalten werden und so keine Neuberechnung erzwingen. Zudem ist so eine Echtzeitalternativenberechnung für eine Visualisierung möglich, da Einzelparameter bzw. nur wenige ausreichende Parameterkombinationen verändert werden können für die bessere Gestaltung zu einem gegebenen Kontext, sie genügt also dem Bottom-Up Ansatz.

Die Komponenten werden anschließend in ein Blackboard System integriert. Dabei werden Skalierbarkeit und modularer Charakter jeder Einzelkomponente bis hin zum Zahlenwert für einen Einzelparameter auch während der Betriebsphase austauschbar gehalten, ohne die Systemnutzung in Gänze zu beeinflussen bzw. um so die frühestmögliche Integration von Nutzerbedürfnissen zu gewährleisten. So ist es auch möglich, das System durch die Ersetzung des Kontextmodelles der Küche auf einen anderen Anwendungsfall zu übertragen. Sind die Abläufe der Informationsgenerierung bspw. die einer Leitwarte, so bestimmt das Kontextmodell auf Basis anderer Entscheidungen, wann eine AR Darstellung erfolgt und welche Informationen enthalten sind. Wie das Bild erzeugt wird, errechnen jedoch nach wie vor die anderen Komponenten des Systems, die ihrerseits ergänzt oder verändert werden können aber nicht müssen.

6.2 Diskussion

Während der Themenbearbeitung sind auch Fragen aufgeworfen worden, die nicht gänzlich beantwortet werden konnten. Darüber hinaus haben die gewählten Verfahren nicht immer nur Vorteile mit sich geführt.

Der Ansatz der Bottom-Up Parameteranpassung als Kerngedanke der Arbeit ist hier nicht unstrittig. Für die letztliche Nutzung einer darauf aufbauenden Software sind sehr viele Einzelschritte nötig, die für sich genommen weitere Schwierigkeiten mit sich bringen. Dazu zählen die möglichst vollständige Auflistung der zu nutzenden Parameter und die Bildung konsistenter Abhängigkeitsgefüge und Regelwerke, die weiterer zahlreicher empirischer Daten bedürfen. Bottom-Up Verfahren sind zudem in der Entwicklung aufwendig, da sie wie in der vorliegenden Abeit zumeist mit einer Top-Down Beschränkung des Anwendungsfalles kombiniert werden. Dafür müssen alle Parameteranpassungen reglementiert werden, indem der gemeinte Anwendungsfall durch Anforderungen sehr detailliert definiert werden muss. Grundsätzlich ist dies nötig für die Frage, welche Stufe der Einzelparameteranpassung nach Bottom-Up Vorgehen genügt, um die optimale Wahrnehmung herzustellen? Werden immer alle Parameter angepasst, ergibt sich kein Unterschied zum Top-Down Vorgehen. An dieser Stelle müssen für jedes Anwendungsfeld deterministische Regelanwendungsgrenzen im Vorhinein festgelegt werden, was den Entwicklungsaufwand stark steigen lässt.

Die Anlehnung des Anpassungsverfahren an die 2D Informationsvisualisierung bietet die Chance der Aufwandsreduktion durch die Nutzung etablierter Richtlinien und Parameter sowie der zugehörigen Abhängigkeitsmodelle. Die im Kapitel 2.3.2 aufgeführten Parameter gelten als vollständig und akzeptiert. Sie sind jedoch nicht in Gänze ohne Weiteres auf AR Anwendungen zu übertragen. Einige Abhängigkeiten mögen nur geringfügig ins Gewicht fallen, sind aber dennoch auf ihre Übertragbarkeit hin experimentell zu prüfen.

Die Sammlung der AR spezifischen Parameter ist hingegen zu diesem Zeitpunkt eine Liste mit nur wenigen getesteten Relationen untereinander. Diese Art der Dokumentation für Nutzeranpassungen der AR Technologie ist neu und entsprechend wenig etabliert. Eine Auflistung erscheint daher an dieser Stelle eventuell unsortiert und unvollständig. Die vorliegende Arbeit bemüht sich, die Liste zu vervollständigen hinsichtlich der Gestaltungsrichtlinien, die durch die bisherige Forschungsarbeit und eigene Arbeiten erhalten wurden. Sie kann jedoch nicht vollständig sein, bezogen auf die aktuell andauernden Entwicklungsschritte der Anzeigetechnologie AR. So können bestimmte Parameter allein aufgrund der Auflösung von mobilen Endgeräten nicht als solche enthalten sein und müssen durch andere ersetzt werden (z.B. durch Redundanz).

Darüber hinaus stellen die immer häufiger genutzten Displays aus sogenannten Organic Light Emitting Diodes (OLEDs) völlig neue Ansprüche an die AR spezifischen Parameter. Ihre Materialbeschaffenheit erlaubt eine große Beweglichkeit und Verformung des Displays. Bisher sind Aufblendungen auf Displayoberflächen perspektivisch stabil und ergeben für die virtuelle Komponente keine Verzerrungen. Diese sind aber für die OLEDs eine große Herausforderung, da das Material hochbiegsam ist und eine gleichartige Projektion ermöglichen soll, obwohl die hintere Projektionsebene nicht verzerrt wird und das Display eventuell stark verbogen wird.

Die Anwendbarkeit der in der vorliegenden Arbeit getesteten Parameter Redundanz, Ähnlichkeit und Positionierung haben hinsichtlich der offenen Fragen im Anwendungsfeld Intelligente Küche Antworten erbracht. Sie können jedoch für die darüber liegende Fragestellung der generell bestmöglichen Visualisierung mit AR Displays nur Anhaltspunkte bezüglich der eingeschränkten Szenarien der Experimente liefern. Sie ermöglichen entsprechend durch das Versuchsdesign nur eingeschränkte Aussagen für andere Anwendungsgebiete.

Auch die Nutzung der Parameter in Form einer Wissensbasis für das integrierte Expertensystem ist eine von mehreren möglichen Lösungen. Vor allem lernende Systeme (Neuronale Netze, Agentensysteme, etc.) stellen hier die neueren Entwicklungen dar. Es ist zu überlegen, ob diese für die vorliegenden Zwecke eine bessere Leistung hinsichtlich des Echtzeitbetriebes bedeuten. Dazu zählen auch Überlegungen, die die Plattformunabhängigkeit von Java betreffen. Neuere höhere Sprachen ermöglichen u.U. eine verbesserte Leistung, bedürfen jedoch auf der anderen Seite auch den Einsatz anderer Toolkits zur Einbindung

von AR Bibliotheken oder gänzlich eigene Lösungen.

Vor allem ist an dieser Stelle dazu die Schwierigkeit der Einbindung des Java Media Frameworks und allen abhängigen Komponenten zu erwähnen. Dieses ist veraltet und wird nicht mehr untertützt seitens der Autoren (seit 2002). Jedwede Veränderung muss mühevoll selbst erledigt werden. Dies sorgte während der Implementierung für viele Schwierigkeiten. Für einen weiteren Evolutionsschritt ist daher die Migration auf eine andere Plattform zu überlegen.

Die genutzte Architektur des Blackboard Systems ist ebenso eine ältere mögliche Architektur. Sie fördert jedoch als Konzept die heterogene Struktur der einzelnen enthaltenen KS Technologien und ist unbedingt zu empfehlen, auch wenn aktuellere Systemlösungen ergänzt werden oder andere ersetzen.

Resümierend kann jedoch gesagt werden, dass das gezeigte Vorgehen erfolgreich zu nutzen ist für den beabsichtigten Zweck. Das neu erarbeitete Bottom-Up Verfahren bietet dazu viele Vorteile, die auch in die folgenden Evolutionsschritte, bzw. in die Produktentwicklung einbezogen werden kann. Die Prototypenentwicklung beinhaltet jedoch in der dieser Arbeit nur die hier vorgestellten Evolutionsschritte, die vervollständigt werden müssen vor allem bezüglich der fehlenden umfassenden Evaluation.

Nicht zuletzt sind ide erarbeiteten konsistenten Richtlinien der AR Darstellung auch für andere AR Visualiserungen und spätere Optimierungsansätze von AR Systemen heranzuziehen.

6.3 Ausblick

Die Prüfung der Gestaltungsrichtlinien konnte in der vorliegenden Arbeit lediglich bezogen auf das Anwendungsszenario erfolgen. Darüber hinaus sind ebenso in der Literatur gefundene Richtlinien oftmals auf bestimmte Anwendungen bezogen. In weiterführenden Arbeiten zu diesem Thema müssen daher zusätzliche empirische Daten erhoben werden, die letztlich eine generische Visualisierungssynthese ermöglichen. Zusätzlich sind Experimente nötig, die die Übertragbarkeit und Abhängigkeiten der 2D Visualisierungsparameter testen.

Eine vollständige Sammlung von AR spezifischen Parametern erscheint jedoch vorerst nicht ohne Weiteres möglich aufgrund der schnelllebigen Weiterentwicklung von (AR) Anzeigetechnologien, die immer neue Herausforderungen der Darstellung mit sich bringen. Es ist hier jedoch eventuell möglich, eine Basis von gewichtigen AR spezifischen Parametern und deren Abhängigkeiten nach dem 2D Modell Vorbild zu erarbeiten.

Auch die Einbeziehung bestimmter Softwarekonzepte wie Expertensysteme oder andere Entscheidungsalgorithmen für das Bottom-Up Verfahren muss neu überlegt werden. Bei sehr komplexen Abhängigkeitsmodellen und einer großen Vielzahl an Regelsätzen bzw.

Einzelentscheidungen stoßen diese schnell an ihre Grenzen bezüglich der Echtzeitfähigkeit. Der Einsatz des kombinierten Bottom-Up und Top-Down Verfahrens wird so auch für zukünftige Arbeiten das Mittel der Wahl bleiben.

Ebenso muss in Folgeprojekten, die das vorgestellte Verfahren in einem Anwendungsszenario umsetzen, auf eine andere Plattform und Programmiersprache ausgewichen werden. Damit kann entsprechend auch eine Neukonzeptionierung des Systems notwendig werden. Im hier vorgestellten Szenario erwuchsen viele Probleme aus veralteten Bibliotheken vor allem das Java Media Framework betreffend. Dieses ist notwenig für die Einbindung verschiedener Media Toolkits (bspw. NyARToolkit). Eigene AR Softwareentwicklungen könnte dieses Problem erübrigen und so auch mit anderen objektorientierten Sprachen kombiniert werden, ohne die Plattformunabhängigkeit des Gesamtentwurfes zu verlieren. In vielen Fällen wird an dieser Stelle auf bereits vorhandene Basistechnologien zurückgegriffen werden müssen.

In vielen AR Forschungs- und Entwicklungsbereichen werden eigene Middleware und Toolkit Lösungen für die Überblendungen entwickelt. Im Sinne der vereinheitlichten Forschung hinsichtlich der nutzergerechten Gestaltung ist sicher die Festlegung eines Standards für AR zu empfehlen, der jedoch aktuell kaum erreicht werden kann.

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die nutzergerechte Gestaltung, auf welchem technischen Weg sie auch erfolgt, an Bedeutung gewinnen wird. Die Verbreitung mobiler, AR fähiger Geräte und Anwendungen nimmt stetig zu und fordert von der Wissenschaft Konzepte für verbesserte Interaktionen und Benutzungsschnittstellen [ZDB08].

Im Zusammenhang mit dennoch ungelösten Problemen des Trackings, der Registrierung etc. werden jedoch viele nutzergerechte Gestaltungshinweise vorerst an den nicht technisch umsetzbaren Kriterien scheitern. Dazu zählen flackerfreie Aufblendungen, konforme Registrierungen und realitätsnahe Renderingalgorithmen für geringe Rechenkapazitäten.

Sind diese Probleme gelöst, muss jedoch auch die Einhaltung der Definitionskriterien nach Azuma [ABB+01] für AR Anwendungen neu diskutiert werden. Insbesondere für die Erstellung einer Basis von AR spezifischen Parametern käme eine einheitliche Nutzung oder gemeinhin anerkannte Erweiterung der Kriterien zugute. Auch in diesem Falle ist eventuell über die Festlegung eines Standards nachzudenken.

Zusammenfassend ist mit der vorliegenden Arbeit jedoch ein solider erster Schritt gelungen, der den genannten zusätzlichen Forschungsmöglichkeiten als Ausgangspunkt dienen kann. Die Anzeigetechnik AR ist nach langem Nischendasein zu einer etablierten und gängigen Technologie geworden. Das vorgestellte Gesamtsystem für die Intelligente Küche zeigt einen Weg auf, der AR auch in diesem BEreich sinnvoll nutzbar macht und vor allem die nutzergerechte Darstellung der AR Informationen einbindet. Nicht zuletzt aus diesem Grund ist diese Arbeit aber auch als Basis weiterer unbedingt notwendiger AR Visualisierungsanpassungen zu sehen. Dabei konnte durch die heterogene Zusammensetzung der

kombinierten Herangehensweisen eine Vielzahl möglicher Lösungen vorgestellt werden, die auch einzeln für andere Systemarchitekturen oder Anwendungsfelder nutzbar sind.

Literaturverzeichnis

[ABB+01] Azuma, Ronald ; Baillot, Yohan ; Behringer, Reinhold ; Feiner, Steven ; Julier, Simon ; MacIntyre, Blair: Recent Advances in Augmented Reality. In: *IEEE Comput. Graph. Appl.* 21 (2001), November, S. 34–47

[ADN08] Adnan, Wan Adilah W. ; Daud, Nik Ghazali N. ; Noor, Nor Laila M.: Expressive Information Visualization Taxonomy for Decision Support Environment. In: *Convergence Information Technology, International Conference on* 1 (2008), S. 88–93

[AF03] Azuma, Ronald ; Furmanski, Chris: Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management. In: *Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2003 (ISMAR '03), S. 66–75

[AH05] Aragon, Cecilia R. ; Hearst, Marti A.: Improving aviation safety with information visualization: a flight simulation study. In: *CHI '05: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, ACM, 2005, S. 441–450

[AHS05] Ali, Kamran ; Hartmann, Knut ; Strothotte, Thomas: Label Layout for Interactive 3D Illustrations. In: *Journal of the WSCG* 13 (2005), Nr. 1, S. 1–8

[AKA97] Atchley ; Kramer, Arthur F. ; Andersen, George J.: Spatial Cuing in a Stereoscopic Display: Evidence for a "depth-awareättentional focus. In: *Psychonomic Bulletin and Review* 4 (1997), S. 524–529

[AL06] Aaltonen, Antti ; Lehikoinen, Juha: Exploring augmented reality visualizations. In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (AVI '06), S. 453–456

[Azu97] Azuma, Ronald T.: A Survey of Augmented Reality. In: *Presence* 6 (1997), S. 355–385

[BCA92] Brodlie, Ken W. ; Carpenter, Lesley ; A., Earnshaw R.: *Scientific Visualization. Techniques and Applications*. London: Springer, 1992

[BCCR04] Bederson, Benjamin B. ; Clamage, Aaron ; Czerwinski, Mary P. ; Robertson, George G.: DateLens: A fisheye calendar interface for PDAs. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 11 (2004), March, S. 90–119

[Ber83] Bertin, Jacques: *Semiology of graphics.* University of Wisconsin Press, 1983

[BFH01] Bell, Blaine ; Feiner, Steven ; Höllerer, Tobias: View management for virtual and augmented reality. In: *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology.* New York, NY, USA : ACM, 2001 (UIST '01), S. 101–110

[BLH04] Baudisch, Patrick ; Lee, Bongshin ; Hanna, Libby: Fishnet, a fisheye web browser with search term popouts: a comparative evaluation with overview and linear view. In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces.* New York, NY, USA : ACM, 2004 (AVI '04), S. 133–140

[BPW+93] Brodlie, Ken ; Poon, Andrew ; Wright, Helen ; Brankin, Lesley ; Banecki, Greg ; Gay, Alan: GRASPARC: a problem solving environment integrating computation and visualization. In: *Proceedings of the 4th conference on Visualization '93.* Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1993 (VIS '93), S. 102–109

[BR05] Bimber, Oliver ; Raskar, Ramesh: *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual World.* A K Peters/CRC Press, 2005

[BRML08] Bimber, Oliver ; Raskar, Ramesh ; Majumder, Aditi ; Lensch, Hendrik P. A.: Projectors for graphics. In: *ACM SIGGRAPH 2008 classes.* New York, NY, USA : ACM, 2008 (SIGGRAPH '08), S. 81:1–81:4

[Bro82] Broadbent, Donald E.: Task combination and selective intake of information. In: *Acta Psychologica* 50 (1982), Nr. 3, S. 253–290

[Bur05] Burkhard, Remo: Towards a Framework and a Model for Knowledge Visualization: Synergies Between Information and Knowledge Visualization. In: Tergan, Sigmar-Olaf (Hrsg.) ; Keller, Tanja (Hrsg.): *Knowledge and Information Visualization* Bd. 3426. Springer Berlin / Heidelberg, 2005, S. 29–42

[BWRR03] Baar, Jeroen van ; Willwacher, Thomas ; Rao, Srinivas ; Raskar, Ramesh: Seamless multi-projector display on curved screens. In: *Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003.* New York, NY, USA : ACM, 2003 (EGVE '03), S. 281–286

[CC05] Craft, Brock ; Cairns, Paul: Beyond Guidelines: What Can We Learn from the Visual Information Seeking Mantra? In: *Proceedings of the International*

Conference on Information Visualisation Bd. 0. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society, 2005, S. 110–118

[Che99] Chen, Chaomei: *Information Visualization and Virtual Environments*. Berlin: Springer, 1999

[CKB09] Cockburn, Andy ; Karlson, Amy ; Bederson, Benjamin B.: A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces. In: *ACM Comput. Surv.* 41 (2009), January, S. 2:1–2:31

[CM97a] Card, S. K. ; Mackinlay, J.: The structure of the information visualization design space. In: *INFOVIS '97: Proceedings of the 1997 IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis '97)*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1997, S. 92

[CM97b] Card, S. K. ; Mackinlay, J.: The structure of the information visualization design space. In: *Proceedings of the 1997 IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis '97)*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1997, S. 92–99

[CMS99] Card, Stuart K. ; Mackinlay, Jock D. ; Shneiderman, Ben: *Information Visualization: Using vision to think*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999

[CN06] Crawford, J. ; Neal, A.: A Review of the Perceptual and Cognitive Issues Associated With the Use of Head-Up Displays in Commercial Aviation. In: *The International Journal of Aviation Psychology* 16 (2006), Nr. 1, S. 1–19

[Com76] Commission International de l'Eclairage: *Colorimetry*. CIE Pub 15.2, 1976

[Cor91] Corkill, Daniel D.: Blackboard systems. In: *AI Expert* 6 (1991), S. 40–47

[DCS10] Dey, Arindam ; Cunningham, Andrew ; Sandor, Christian: Evaluating depth perception of photorealistic mixed reality visualizations for occluded objects in outdoor environments. In: *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (VRST '10), S. 211–218

[DIN98] DIN, Deutsches Institut für Normung e.: *DIn EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten*. DE, 1998. – Deutsche Fassung

[DLK+02] Duh, Henry Been-Lirn ; Lin, James J. W. ; Kenyon, Robert V. ; Parker, Donald E. ; Furness, Thomas A.: Effects of characteristics of image quality in an immersive environment. In: *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 11 (2002), June, S. 324–332. – ISSN 1054–7460

[DM96] Drascic, David ; Milgram, Paul: Perceptual Issues in Augmented Reality. In: *SPIE Volume 2653: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III*, 1996, S. 123–134

[DN00] Dubois, Emmanuel ; Nigay, Laurence: Augmented reality: which augmentation for which reality? In: *Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments.* New York, NY, USA : ACM, 2000 (DARE '00), S. 165–166

[DWHH96] D., Bäumer ; W.R., Bischofberger ; H., Lichter ; H., Züllighoven: Objektorientiertes Prototyping - Konzepte, Werkzeuge und Erfahrungen. In: *Proceedings Softwaretechnik '96 in Softwaretechnik-Trends.* Koblenz, Deutschland : Fachgruppe Software – Engineering and Requirements-Engineering, 1996, S. 89–96

[EE74] Eriksen, Barbara ; Eriksen, Charles: Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. In: *Attention, Perception, & Psychophysics* 16 (1974), S. 143–149

[Ell38] Ellis, Willis D.: *A Sourcebook of Gestalt Psychology.* London: Routledge, 1938

[FAD02] Furmanski, Chris ; Azuma, Ronald ; Daily, Mike: Augmented-Reality Visualizations Guided by Cognition: Perceptual Heuristics for Combining Visible and Obscured Information. In: *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality.* Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2002 (ISMAR '02), S. 215–

[FBS05] Fischer, Jan ; Bartz, Dirk ; Strasser, Wolfgang: Stylized Augmented Reality for Improved Immersion. In: *Virtual Reality Conference, IEEE* 0 (2005), S. 195–202, 325

[FW97] Fadden, S. ; Wickens, C. D.: Maximizing Traffic Awareness with a Head-Up Flightpath Highway Display / Savoy, IL: University of Illinois, Aviation Research Lab. 1997 (ARL-97-01/FAA-97-1). – Forschungsbericht

[GBBK09] Grechenig, Thomas ; Bernhart, Mario ; Breiteneder, Roland ; Kappel, Karin: *Softwaretechnik: Mit Fallbeispielen aus realen Entwicklungsprojekten.* München : Pearson Verlag, 2009

[GFH90] Gottlob, Georg ; Frühwirt, Thomas ; Horn, Werner: *Expertensysteme.* Wien : Springer, 1990

[GHN+11] Gérard, N. ; Huber, S. ; Nachtwei, J. ; Schubert, U. ; Satriadarma, B.: A Framework for Designers to Support Prospective Design. In: *eMinds International Journal of Human Computer Interaction* 2 (2011), Nr. 7

[GLB05] Grasset, Raphael ; Lamb, Philip ; Billinghurst, Mark: Evaluation of Mixed-Space Collaboration. In: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality.* Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005 (ISMAR '05), S. 90–99

[GOR03] Geiger, C. ; Oppermann, L. ; Reimann, C.: 3D-registered interaction-surfaces in augmented reality space. In: *Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003. IEEE International*, 2003, S. 5 – 13

[GS08] Gabbard, J.L. ; Swan, J.E.: Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-Based Studies to Inform Design. In: *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on* 14 (2008), May-June, Nr. 3, S. 513 –525

[Hal04] Haller, Michael: Photorealism or/and non-photorealism in augmented reality. In: *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry.* New York, NY, USA : ACM, 2004 (VRCAI '04), S. 189–196

[HG00] Hake, Günter ; Grünreich, Dietmar: *Kartographie.* 7. Berlin: deGruyter, 2000

[HIVB95] Harrison, Beverly L. ; Ishii, Hiroshi ; Vicente, Kim J. ; Buxton, William A. S.: Transparent layered user interfaces: an evaluation of a display design to enhance focused and divided attention. In: *CHI '95: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, ACM, 1995, S. 317–324

[HKV95] Harrison, Beverly L. ; Kurtenbach, Gordon ; Vicente, Kim J.: An experimental evaluation of transparent user interface tools and information content. In: *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology.* New York, NY, USA : ACM, 1995 (UIST '95), S. 81–90

[Hou01] Hou, Ming: Surface effects on alignment of graphic and real objects in a stereoscopic augmented reality environment. In: *CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2001 (CHI EA '01), S. 411–412

[IBM11] IBM: *Many Eyes*. `http://www-958.ibm.com/software/data/cognos/manyeyes/`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011]

[Iiz11] Iizuka, Ryo: *NyARToolkit*. `http://nyatla.jp/nyartoolkit/wiki/index.php?FrontPage.en`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011

[IR04] Iii, Lawrence J. P. ; Risser, Matthew: *NASA/TM-2004-213000 (CORRECTED COPY) Head-Up Displays and Attention Capture*. 2004

[ISO04] ISO, International Organization of S.: *ISO 12647:2 Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints*. CH, 2004

[ISO09] ISO, International Organization of S.: *ISO 13655:2009 Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images*. CH, 2009

[JK08] Jankun-Kelly, T. J.: Using Visualization Process Graphs to Improve Visualization Exploration. In: Freire, Juliana (Hrsg.) ; Koop, David (Hrsg.) ; Moreau, Luc (Hrsg.): *Provenance and Annotation of Data and Processes*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2008, S. 78–91

[JKM01] Jankun-Kelly, T. J. ; Ma, Kwan-Liu: Visualization Exploration and Encapsulation via a Spreadsheet-Like Interface. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 7 (2001), July, S. 275–287

[JKMG02] Jankun-Kelly, T. J. ; Ma, Kwan L. ; Gertz, Michael: A model for the visualization exploration process. In: *Proceedings of the conference on Visualization '02*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2002 (VIS '02), S. 323–330

[JKMG07] Jankun-Kelly, T. J. ; Ma, Kwan-Liu ; Gertz, Michael: A Model and Framework for Visualization Exploration. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 13 (2007), March, S. 357–369

[JSS+08] Jones, J. A. ; Swan, J. E. II ; Singh, Gurjot ; Kolstad, Eric ; Ellis, Stephen R.: The effects of virtual reality, augmented reality, and motion parallax on egocentric depth perception. In: *Proceedings of the 5th symposium*

on Applied perception in graphics and visualization. New York, NY, USA : ACM, 2008 (APGV '08), S. 9–14

[JWS+01] Jaynes, Christopher ; Webb, Stephen ; Steele, R. M. ; Brown, Michael ; Seales, W. B.: Dynamic shadow removal from front projection displays. In: *Proceedings of the conference on Visualization '01*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2001 (VIS '01), S. 175–182

[KH94] Kahlert, Jörg ; Hubert, Frank: *Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control : eine anwendungsorientierte Einführung mit Begleitsoftware*. second. Braunschweig : Vieweg, 1994

[Kit94] Kitchin, Robert M.: Cognitive maps: What are they and why study them? In: *Journal of Environmental Psychology* 14 (1994), Nr. 1, S. 1 – 19

[KMS07] Kalkofen, Denis ; Mendez, Erick ; Schmalstieg, Dieter: Interactive Focus and Context Visualization for Augmented Reality. In: *Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2007 (ISMAR '07), S. 1–10

[Kof55] Koffka, Kurt: *Principles of Gestalt Psychology*. London: Routledge, 1955

[KSF10] Kruijff, E. ; Swan, J.E. ; Feiner, S.: Perceptual issues in augmented reality revisited. In: *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2010 9th IEEE International Symposium on*, 2010, S. 3 –12

[KT98] Kakoulis, Konstantinos G. ; Tollis, Ioannis G.: A unified approach to labeling graphical features. In: *Proceedings of the fourteenth annual symposium on Computational geometry*. New York, NY, USA : ACM, 1998 (SCG '98), S. 347–356

[Lay11] Layar: *Layar*. `http://www.layar.com`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011]

[LDBH+07] Lamy, Jean-Baptiste ; Duclos, Catherine ; Bar-Hen, Avner ; Ouvrard, Patrick ; Venot, Alain: *VCM language learning and reference manual*. WWW. `www.biomedcentral.com/content/supplementary/1472-6947-8-16-s1.pdf`. Version: 2007

[Lee98] Lee, John P.: *A systems and process model for data exploration*, University of Massachusetts Lowell, Diss., 1998

[LG95] Lee, J.P. ; Grinstein, Georges: An Architecture for Retaining and Analyzing Visual Explorations of Databases. In: *Visualization Conference, IEEE* 0 (1995), S. 101

[Lic09] Lichtenstein, Antje: Task-specificity and resource allocation in information perception in three-dimensional space. In: *Proceedings of the 23rd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Celebrating People and Technology*. Swinton, UK, UK : British Computer Society, 2009 (BCS-HCI '09), S. 184–187

[Lit11] Literacy, Visual: *Periodic Table of Visualization Methods*. `http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.html`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011]

[LSC08] Luboschik, Martin ; Schumann, Heidrun ; Cords, Hilko: Particle-based labeling: Fast point-feature labeling without obscuring other visual features. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 14 (2008), Nr. 6, S. 1237–1244

[LW02] Laramee, R.S. ; Ware, C.: Rivalry and interference with a head-mounted display. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 9 (2002), September, S. 238–251

[Ma99] Ma, Kwan-Liu: Image graphs – a novel approach to visual data exploration. In: *Proceedings of the conference on Visualization '99: celebrating ten years*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society Press, 1999 (VIS '99), S. 81–88

[MAB+97] Marks, J. ; Andalman, B. ; Beardsley, P. A. ; Freeman, W. ; Gibson, S. ; Hodgins, J. ; Kang, T. ; Mirtich, B. ; Pfister, H. ; Ruml, W. ; Ryall, K. ; Seims, J. ; Shieber, S.: Design galleries: a general approach to setting parameters for computer graphics and animation. In: *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997 (SIGGRAPH '97), S. 389–400

[Mar08] Mars, Franck: Steering and gaze control modifications from directed or spontaneous use of a visual augmentation cue. In: *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings* 52 (2008), Nr. 19, S. 1541–1545

[McC88] McCormick, B. H.: Visualization in scientific computing. In: *SIGBIO Newsl.* 10 (1988), March, S. 15–21

[MCCS03] McCrickard, D. S. ; Catrambone, Richard ; Chewar, C. M. ; Stasko, John T.: Establishing tradeoffs that leverage attention for utility: empirically evaluating information display in notification systems. In: *International Journal of Human-Computer Studies* 58 (2003), Nr. 5, S. 547 – 582

[MDH+03] Mankoff, Jennifer ; Dey, Anind K. ; Hsieh, Gary ; Kientz, Julie ; Lederer, Scott ; Ames, Morgan: Heuristic evaluation of ambient displays. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2003 (CHI '03), S. 169–176

[Met11] Metaio: *Junaio*. `http://www.junaio.com`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011]

[Mob11] Mobilizy: *Wikitude World Browser*. `http://www.wikitude.com`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011]

[Mot09] Motus, Daniel: *Referenzmodell für die Montageplanung in der Automobilindustrie*. München : Herbert Utz Verlag, 2009

[MS02] Miller, Todd ; Stasko, John: Artistically conveying peripheral information with the InfoCanvas. In: *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2002 (AVI '02), S. 43–50

[MTUK95] Milgram, Paul ; Takemura, Haruo ; Utsumi, Akira ; Kishino, Fumio: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. In: *Proceedings of the SPIE Conference on Telemanipulator and Telepresence Technologies* Bd. 2351. Boston, Massachusetts, USA : Society of Photo-Optical Instrumentation Engi (SPIE), November 1995, S. 282–292

[Nor02] Norman, Donald A.: *The Design of Everyday Things*. Reprint Paperback. New York : Basic Books, 2002

[PH95] Prothero, J. D. ; Hoffman, H. G.: Widening the field-of-view increases the sense of presence in immersive virtual environments. In: *Human Interface Technology Laboratory Technical Report TR95* 2 (1995)

[PHP03] Pfitzner, Darius ; Hobbs, Vaughan ; Powers, David: A unified taxonomic framework for information visualization. In: *APVis '03: Proceedings of the Asia-Pacific symposium on Information visualisation*. Darlinghurst, Australia : Australian Computer Society, Inc., 2003, S. 57–66

[Pin01] Pinhanez, Claudio S.: The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces. In: *Proceedings of the 3rd international conference on Ubiquitous Computing*. London, UK, UK : Springer-Verlag, 2001 (UbiComp '01), S. 315–331

[PKCR05] Plumert, Jodie M. ; Kearney, Joseph K. ; Cremer, James F. ; Recker, Kara: Distance perception in real and virtual environments. In: *ACM Transactions on Applied Perception* 2 (2005), Nr. 3, S. 216–233

[PLKP05] Park, Hanhoon ; Lee, Moon-Hyun ; Kim, Sang-Jun ; Park, Jong-Il: Specular Reflection Elimination for Projection-Based Augmented Reality. In: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005 (ISMAR '05), S. 194–195

[Pre98] Previc, Fred H.: The neuropsychology of 3-D space. In: *Psychological Bulletin* 124 (1998), Nr. 2, S. 123–164

[PSW00] Parasuraman, R. ; Sheridan, T.B. ; Wickens, C.D.: A model for types and levels of human interaction with automation. In: *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on* 30 (2000), may, Nr. 3, S. 286 –297

[Rau08] Raubal, Martin: Wayfinding: Affordances and Agent Simulation. In: *Encyclopedia of GIS*. New York: Springer, 2008, S. 1243–1246

[RB04] Riecke, Bernhard E. ; Bülthoff, Heinrich H.: Spatial updating in real and virtual environments: contribution and interaction of visual and vestibular cues. In: *Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization*. New York, NY, USA : ACM, 2004 (APGV '04), S. 9–17

[RBY+99] Raskar, Ramesh ; Brown, Michael S. ; Yang, Ruigang ; Chen, Wei-Chao ; Welch, Greg ; Towles, Herman ; Seales, Brent ; Fuchs, Henry: Multi-Projector Displays Using Camera-Based Registration. In: *Proceedings of the 10th IEEE Visualization 1999 Conference (VIS '99)*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1999 (VISUALIZATION '99), S. 161–168

[RCWS98] Raskar, Ramesh ; Cutts, Matt ; Welch, Greg ; Stuerzlinger, Wolfgang: Efficient Image Generation for Multiprojector and Multisurface Displays. In: *Rendering Techniques '98*. Austria : Wien: Springer, 1998, S. 139–144

[RED05] Reitmayr, Gerhard ; Eade, Ethan ; Drummond, Tom: Localisation and Interaction for Augmented Maps. In: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005 (ISMAR '05), S. 120–129

[RF94] Ribarsky, William ; Foley, James D.: Next-Generation Data Visualization Tools / Georgia Institute of Technology. 1994 (GIT-GVU-94-27). – Forschungsbericht

[RWC99] Raskar, Ramesh ; Welch, Greg ; Chen, Wei-Chao: Table-Top Spatially-Augmented Reality: Bringing Physical Models to Life with Projected Imagery. In: *Augmented Reality, International Workshop on* 0 (1999), S. 64

[RWF98] Raskar, Ramesh ; Welch, Greg ; Fuchs, Henry: Seamless Projection Overlaps using Image Warping And Intensity Blending. In: *in Fourth International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 1998, S. 1–5

[SBHN06] *Kapitel* Depth Perception – A Major Issue in Medical AR: Evaluation Study by Twenty Surgeons. In: Sielhorst, Tobias ; Bichlmeier, Christoph ; Heining, Sandro M. ; Navab, Nassir: . Bd. 4190. Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 364–372

[SHB10] Schinke, Torben ; Henze, Niels ; Boll, Susanne: Visualization of off-screen objects in mobile augmented reality. In: *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (MobileHCI '10), S. 313–316

[Shn96] Shneiderman, Ben: The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. In: *IEEE Symposium on Visual Languages* 0 (1996), S. 336–343

[Shn98] Shneiderman, Ben: *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Boston, MA, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1998

[SM99] Schumann, H. ; Müller, W.: *Visualisierung*. Berlin: Springer, 1999

[SMK+09] Schall, Gerhard ; Mendez, Erick ; Kruijff, Ernst ; Veas, Eduardo ; Junghanns, Sebastian ; Reitinger, Bernhard ; Schmalstieg, Dieter: Handheld Augmented Reality for underground infrastructure visualization. In: *Personal Ubiquitous Comput.* 13 (2009), May, S. 281–291

[Spe00] Spence, Robert: *Information Visualization*. Addison Wesley, 2000

[Suo09] Suo, Xiaoyuan: *A Task-Centered Visualization Design Environment and a Method for Measuring the Complexity of Visualization Designs*, Georgia State University, Diss., 2009

[SUS94] Slater, Mel ; Usoh, Martin ; Steed, Anthony: Depth of Presence in Virtual Environments. In: *Teleoperators and Virtual Environments* 3 (1994), S. 130–144

[SZG+96] Schaffer, Doug ; Zuo, Zhengping ; Greenberg, Saul ; Bartram, Lyn ; Dill, John ; Dubs, Shelli ; Roseman, Mark: Navigating hierarchically clustered networks through fisheye and full-zoom methods. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 3 (1996), June, S. 162–188

[TCCE07] Tomasi, D. ; Chang, L. ; Caparelli, E.C. ; Ernst, T.: Different activation patterns for working memory load and visual attention load. In: *Brain Research* 1132 (2007), S. 158 – 165

[TG80] Treisman, Anne M. ; Gelade, Garry: A feature-integration theory of attention. In: *Cognitive Psychology* 12 (1980), Januar, Nr. 1, S. 97–136

[TG88] Treisman, Anne ; Gormican, Stephen: Feature Analysis in Early Vision: Evidence From Search Asymmetries. In: *Psychological Review* 95 (1988), Nr. 1, S. 15 – 48

[Tis11] Tissot: *Tissot Reality*. `http://www.tissot.ch/reality/`, 2011. – [Online; Zugang 01-Juli-2011]

[TPM05] Tory, Melanie ; Potts, Simeon ; Müller, Torsten: A Parallel Coordinates Style Interface for Exploratory Volume Visualization. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 11 (2005), S. 71–80

[Tre85] Treisman, Anne: Preattentive processing in vision. In: *Comput. Vision Graph. Image Process.* 31 (1985), August, S. 156–177

[TSLB05] Tonnis, Marcus ; Sandor, Christian ; Lange, Christian ; Bubb, Heiner: Experimental Evaluation of an Augmented Reality Visualization for Directing a Car Driver's Attention. In: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005 (ISMAR '05), S. 56–59

[Tuf90] Tufte, Edward R.: *Envisioning Information*. Cheshire, CT: Graphics Press, 1990

[Tuf97] Tufte, Edward R.: *Visual Explanations*. Cheshire, CT: Graphics Press, 1997

[Tuf01] Tufte, Edward R.: *The Visual Display of Quantitative Information*. Second. Cheshire, CT: Graphics Press, 2001

[UFK+89] Upson, Craig ; Faulhaber, Thomas Jr. ; Kamins, David ; Laidlaw, David H. ; Schlegel, David ; Vroom, Jefrey ; Gurwitz, Robert ; Dam, Andries van: The Application Visualization System: A Computational Environment for Scientific Visualization. In: *IEEE Comput. Graph. Appl.* 9 (1989), July, S. 30–42

[UIG98] Ullmer, Brygg ; Ishii, Hiroshi ; Glas, Dylan: mediaBlocks: physical containers, transports, and controls for online media. In: *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM, 1998 (SIGGRAPH '98), S. 379–386

[UMKT05] Uratani, Kengo ; Machida, Takashi ; Kiyokawa, Kiyoshi ; Takemura, Haruo: A Study of Depth Visualization Techniques for Virtual Annotations in Augmented Reality. In: *Virtual Reality Conference, IEEE* 0 (2005), S. 295–296

[VK10] Veas, Eduardo E. ; Kruijff, Ernst: Handheld devices for mobile augmented reality. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (MUM '10), S. 3:1–3:10

[WADR10] Wegerich, Anne ; Adenauer, Julian ; Dzaack, Jeronimo ; Roetting, Matthias: A Context-aware Adaptation System for Spatial Augmented Reality Projections. In: *7th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics: ICINCO (1)'10*, 2010, S. 98–103

[Wal01] Walmüller, Ernest: *Software-Qualitätsmanagement in der Praxis: Software-Qualität durch Führung und Verbesserung von Software-Prozessen*. München : Carl Hanser Verlag, 2001

[Wan05] Wandke, H: Assistance in human-machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6 (2005), Nr. 2, S. 129–155

[War01] Warren, S: Visual displays of information: A conceptual taxonomy. In: *Libri* 51 (2001), Nr. 3, S. 135–147

[War04] Ware, Colin: *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2004

[WDR10] Wegerich, Anne ; Dzaack, Jeronimo ; Rötting, Matthias: Optimizing Virtual Superimpositions: User–centered Design for a UAR Supported Smart Home System. In: *Proceedings of IFAC Human Machine System 2010 Symposium, Valenciennes*, 2010

[Wic05] Wickens, C.D.: Attentional Tunneling and Task Management / NASA Ames Research Center Moffett Field, CA. 2005 (AHFD-05-23/NASA-05-10). – Forschungsbericht

[Wil05] Wilson, Andrew D.: PlayAnywhere: a compact interactive tabletop projection-vision system. In: *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA : ACM, 2005 (UIST '05), S. 83–92

[Win93] Winston, Patrick H.: *Artificial Intelligence*. New York, NY, USA : Addison-Wesley, 1993

[WL90] Wehrend, Stephen ; Lewis, Clayton: A problem-oriented classification of visualization techniques. In: *Proceedings of the 1st conference on Visualization '90*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society Press, 1990 (VIS '90), S. 139–143

[WL94] Wickens, Christopher D. ; Long, Jeffry: Conformal Symbology, Attention Shifts, and the Head-Up Display. In: *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings* 38 (1994), S. 6–10

[Wol94] Wolfe, Jeremy M.: Guided Search 2.0: A Revised Model of Visual Search. In: *Psychonomic Bulletin & Review* 1 (1994), Nr. 2, S. 202–238

[YW01] Yeh, M. ; Wickens, C.: Display Signaling in Augmented Reality: Effects of Cue Reliability and Image Realism on Attention Allocation and Trust Calibration. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 43 (2001), S. 355–365

[ZDB08] Zhou, Feng ; Duh, H.B.-L. ; Billinghurst, M.: Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In: *Mixed and Augmented Reality, 2008. ISMAR 2008. 7th IEEE/ACM International Symposium on*, 2008, S. 193 – 202

Anhang A

Glossar

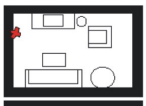
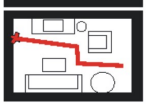
Ähnlichkeit/ Realismus	Die Ähnlichkeit bezeichnet den Grad der optischen Übereinstimmung zweier Vergleichsobjekte. Dabei kann die Ähnlichkeit insgesamt auf Basis der Übereinstimmung einzelner Visualisierungsparameter erreicht werden wie Form, Größe, Farbe. Der Realismus ist die Ähnlichkeit zwischen der Darstellung oder Abbildung eines Objektes und einem realen Objekt.
Informationsvisualisierung	„The use of computer-supported, interactive, visual representations of abstract data to amplify cognition." [CMS99, S. 7]
Konform/ Nonkonform	Eine konforme (engl. conformal) Überblendung meint die Überlagerung des Objektes (bzw. darauf befindlichen Markers). Nonkonforme Aufblendungen beziehen einen Abstand zu diesem Marker mit ein und überlagern das reale Objekt also nicht, es bleibt (in Teilen) sichtbar. Der Begriff wurde im Bereich der HUD Forschung erstmls durch Wickens geprägt [WL94].
Redundanz	Die Redundanz bezeichnet alle Einblendungsvarianten, in denen Teile des Nutzersichtfeldes in der virtuellen Augmentierung wiederholt werden.
Registrierung	Die Registrierung meint die Anordnung der virtuellen Ein blendung auf dem zur Verfügung stehenden Bildschirm. Dabei sind sowohl 2D Positionen als als Pseudo 3D Positionen gemeint im Sinne der Höhenanpassung für entferntere Tiefenebenen. Eine registrierte Information ist damit im Bild eindeutig verortet und ändert die Position nur in der Perspektive des Betrachters, wenn dieser seine Position verändert. Die Verortung ist damit (aufgrund des Markers „world-mounted").

Anhang B

Experiment Innenraumnavigation

Die Abbildung zeigt den Fragebogen der Vorbefragung des Experimentes zur Innenraumnavigation.

Stellen Sie sich vor, Sie stehen daheim im Wohnzimmer und suchen mal wieder eine Schere.
Wenn Sie ein System hätten, das Ihnen dabei helfen kann, diese zu finden, wie würden Sie die folgenden Anzeigen, die Sie bei der Suche nach der Schere unterstützen sollen, bewerten?
Bitte geben Sie allen Möglichkeiten Schulnoten von 1 bis 6 !

Nr.	Bild	Beschreibung	Schulnote
1		Ein eingeblendeter Pfeil, der Ihnen die Richtung zeigt, in der die Schere zu finden ist.	
2		Ein Pfeil der die Richtung zeigt und eine Markierung des Ziels (die Schere auf der Anrichte oder die Schranktür, hinter der die Schere zu finden ist, wird mit einem Kreuz angeleuchtet)	
3		Eine schematische Darstellung des Raumes aus Vogelperspektive mit dem eingezeichneten Zielpunkt (angezeigt auf einem Monitor in Ihrem Sichtfeld)	
4		Eine schematische Darstellung des Raumes aus Vogelperspektive mit dem einzeichneten Weg und Zielpunkt (angezeigt auf einem Monitor in Ihrem Sichtfeld)	
5		Eine projezierte Linie auf dem Boden, die sie direkt zur Schere oder dem Schrank führt	
6		Eine perspektivisch richtige 3D-Ansicht ihres Wohnzimmers mit dem eingezeichneten Ziel (angezeigt auf einem Monitor in Ihrem Sichtfeld)	
7		Eine perspektivisch richtige 3D-Ansicht ihres Wohnzimmers mit dem eingezeichneten Weg zum Ziel (angezeigt auf einem Monitor in Ihrem Sichtfeld)	
8		Ein Foto ihres Wohnzimmers (nicht unbedingt vom aktuellen Standort aus gesehn) mit dem eingezeichneten Ziel (angezeigt auf einem Monitor in Ihrem Sichtfeld)	
9		Ein Foto ihres Wohnzimmers (nicht unbedingt vom aktuellen Standort aus gesehn) mit dem eingezeichneten Weg zum Ziel (angezeigt auf einem Monitor in Ihrem Sichtfeld)	

Sie sind männlich ☐ weiblich ☐ und ☐ Jahre alt.

Die folgende Abbildung zeigt das Instruktionsblatt für die Versuchspersonen des Experimentes. Nachdem dieses durchgelesen wurde, hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit, sich mit dem Suchraum vertraut zu machen und solange umherzugehen, bis sie glaubten, alles gesehen und verstanden zu haben. Mit dieser Option sollten Lerneffekte vermieden werden.

Hinweise zum Versuchsablauf

Liebe Teilnehmerin!
Lieber Teilnehmer!

Vielen Dank, dass Sie bereit sind, an unserem Versuch teilzunehmen!

Bitte lesen Sie sich die folgenden Hinweise zum Versuchsablauf sorgfältig durch. Sollten Sie etwas nicht verstehen, fragen Sie bitte sofort die Versuchsleiterin, denn während des Versuchs können Sie keine Fragen mehr stellen.

Ihre Aufgabe ist es, verschiedene Gegenstände in einem Raum in möglichst kurzer Zeit zu finden.

Ihnen wird dabei normalerweise eine Suchhilfe zur Verfügung gestellt, einige Gegenstände müssen Sie jedoch auch ohne Hilfe finden. Aber keine Angst, der Raum ist nicht sehr groß! Bei der Suche werden Sie gefilmt.

Bevor wir mit dem Versuch beginnen, werden Sie Gelegenheit haben, sich mit dem Raum vertraut zu machen.

Dann beginnt der Versuch. Sie müssen insgesamt 40 verschiedene Gegenstände suchen, wobei Sie die Suche immer vom gleichen Startpunkt aus beginnen.

Am Startpunkt wird ihnen zuerst ein Foto des zu suchenden Gegenstandes gezeigt. Wenn Sie den Gegenstand lange genug gesehen haben, heben Sie bitte die Hand und sagen Sie laut „Gesehen!".

Der Hinweis erscheint gleich im Anschluss an das Foto. Wenn es keinen Hinweis gibt, erscheint ein rotes Kreuz. Die Zeit läuft ab dem Zeitpunkt, an dem das Foto verschwindet.

Wenn Sie einen Gegenstand gefunden haben, lassen Sie ihn bitte an seinem Platz stehen. Sie zeigen nur mit dem Finger darauf und sagen „Gefunden!". Dann gehen Sie zum Startpunkt zurück.

Anschließend beginnt die nächste Suche.

Die Versuchsleiterin befindet sich im Nebenraum und kann den Raum nur mit einer Kamera einsehen. Daher ist während des Versuches keine Interaktion möglich. Sie werden jedoch gesehen und gehört, falls während des Versuchs Probleme auftauchen sollten!

Der Versuch wird insgesamt ca. eine Stunde dauern. Im Anschluss an den „praktischen" Teil bitten wir Sie, noch einen kurzen Fragebogen auszufüllen.

Alles klar?
Dann können Sie sich jetzt den Raum anschauen!

Die folgenden Abbildungen zeigen den Fragebogen für die subjektive Einschätzung der Versuchshinweise. Diese wurde der Versuchsperson nach Erledigung aller Suchdurchläufe vorgelegt.

VP-Nr. _____

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zum Abschluss möchten wir Ihnen noch ein paar Fragen stellen. Dabei geht es uns, neben der Erfassung einiger personenbezogener Angaben, um Ihre Meinung zu Aspekten des Versuchs.

Der Fragebogen hat vier Seiten. Wir möchten Sie darum bitten ihn vollständig auszufüllen und keine Frage auszulassen. Sollte einmal keine der Antwortalternativen ihre Meinung widerspiegeln, so kreuzen sie das an, was am ehesten zutrifft.

Sollten sie eine Frage nicht verstehen, zögern Sie nicht die Versuchsleiterin anzusprechen. Sie hilft Ihnen gerne weiter!

Selbstverständlich werden alle Ihre Angaben streng vertraulich behandelt und ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Außerdem werden die Daten anonymisiert, d.h. Ihre Angaben können nicht mit Ihrer Person in Verbindung gebracht werden.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

1. Personenbezogene Angaben

Sie sind:	☐ weiblich	☐ männlich		
Wie alt sind Sie?	☐ bis 20 Jahre	☐ 21-30 Jahre	☐ 31-40 Jahre	
	☐ 41-50 Jahre	☐ 51-60 Jahre	☐ über 60 Jahre	
Was ist Ihr höchster Abschluss?				
☐ keinen Schulabschluss	☐ Realschulabschluss bzw. mittlere Reife	☐ Hochschulabschluss		
☐ noch Schüler/in	☐ Fachhochschulreife	☐ anderer Abschluss: _____		
☐ Hauptschul- bzw. Volkschulabschluss	☐ allgemeine Hochschulreife (Abitur)			
Welchen Beruf üben Sie aus?	_____			
Wenn Sie Student sind, welches Fach studieren sie?	_____			
Wie regelmäßig benutzen Sie einen Computer?				
☐ selten bis nie	☐ mehrmals im Monat	☐ mehrmals die Woche	☐ täglich	
Nutzen Sie ein Navigationsgerät oder GPS-Handy?				
☐ selten bis nie	☐ mehrmals im Monat	☐ mehrmals die Woche	☐ täglich	

2. Nehmen sie bitte Stellung zu folgenden Aussagen!

Ich kann mich gut mit Landkarten orientieren!

☐ trifft nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ weder noch ☐ trifft eher zu ☐ trifft voll zu

Ich finde mich in einer fremden Stadt schnell zurecht!

☐ trifft nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ weder noch ☐ trifft eher zu ☐ trifft voll zu

Ich verfüge generell über einen guten Orientierungssinn!

☐ trifft nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ weder noch ☐ trifft eher zu ☐ trifft voll zu

Ich muss mich oft an Orten zurechtfinden, die ich noch nicht kenne!

☐ trifft nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ weder noch ☐ trifft eher zu ☐ trifft voll zu

Wenn ich mich in einer Umgebung nicht besonders gut auskenne verlaufe ich mich schnell!

☐ trifft nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ weder noch ☐ trifft eher zu ☐ trifft voll zu

3. Ordnen Sie bitte den acht verschiedenen Suchhinweisen Noten von 1 bis 5 zu. Die Note 1 bedeutet, dass Sie den Suchhinweis sehr hilfreich fanden. Die Note 5 bedeutet, dass Sie den Suchhinweis überhaupt nicht hilfreich fanden.

☐ unbewegter Pfeil ☐ bewegter Pfeil

☐ unbewegte Karte (Umriss) ☐ bewegte Karte (Umriss)

☐ unbewegte Karte (bunt ausgefüllt) ☐ bewegte Karte (bunt ausgefüllt)

☐ Texthinweis

4. Benoten Sie bitte, wie verständlich, exakt und angenehm Sie die verschiedenen Suchhinweise fanden. Die Note 1 bedeutet, dass Sie den Suchhinweis sehr verständlich, exakt oder angenehm fanden. Die Note 5 bedeutet, dass Sie den Suchhinweis überhaupt nicht verständlich, exakt oder angenehm fanden.

Suchhinweis	Benoten Sie die **Verständlichkeit** des Suchhinweises!	Benoten Sie die **Exaktheit** des Suchhinweises!	Benoten Sie, wie **angenehm** der Suchhinweis war!
Unbewegte Karte (Umriss)	☐	☐	☐
Unbewegte Karte (bunt ausgefüllt)	☐	☐	☐
Bewegte Karte (Umriss)	☐	☐	☐
Bewegte Karte (bunt ausgefüllt)	☐	☐	☐
Unbewegter Pfeil	☐	☐	☐
Bewegter Pfeil	☐	☐	☐
Text	☐	☐	☐

5. Nehmen Sie bitte Stellung zu folgenden Aussagen!				
Ich habe manche Zielmarkierungen (bunte Punkte) nicht gesehen	☐ja	☐nein		
Ich habe sofort verstanden, dass die bunten Punkte Zielmarkierungen sind	☐ja	☐nein		
Bei manchen Gegenständen habe ich auch ohne Suchhinweis oder Zielmarkierung gewusst, wo sie sind!	☐oft	☐manchmal	☐nie	
Ohne die Zielmarkierungen hätte ich viele Gegenstände nicht gefunden!				
☐stimme voll zu	☐stimme eher zu	☐weder noch	☐stimme eher nicht zu	☐stimme nicht zu

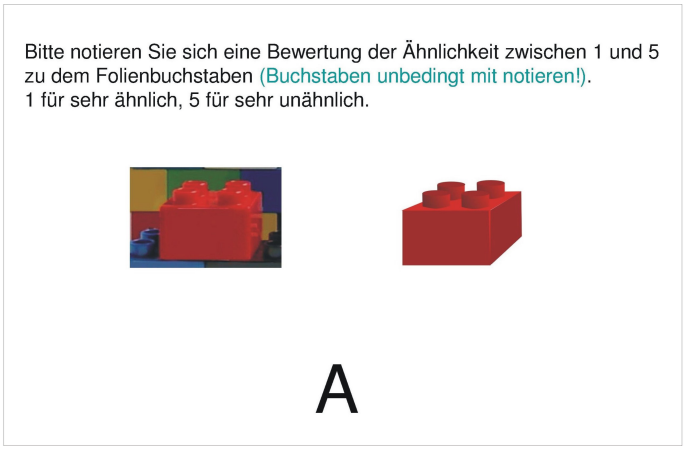
6. Was hat Ihnen mehr bei der Suche geholfen die Zielmarkierungen (bunte Punkte) oder die Suchhinweise? Bitte kreuzen Sie an, was Sie jeweils mehr genutzt haben!					
Suchhinweis	Nur Such-hinweis genutzt	Eher Such-hinweis genutzt	Beides gleich genutzt	Eher Zielmar-kierung genutzt	Nur Ziel-markierung genutzt
Unbewegte Karte (Umriss)	☐	☐	☐	☐	☐
Unbewegte Karte (bunt ausgefüllt)	☐	☐	☐	☐	☐
Bewegte Karte (Umriss)	☐	☐	☐	☐	☐
Bewegte Karte (bunt ausgefüllt)	☐	☐	☐	☐	☐
Unbewegter Pfeil	☐	☐	☐	☐	☐
Bewegter Pfeil	☐	☐	☐	☐	☐
Text	☐	☐	☐	☐	☐
Insgesamt	☐	☐	☐	☐	☐

Anhang C

Bausteinexperiment

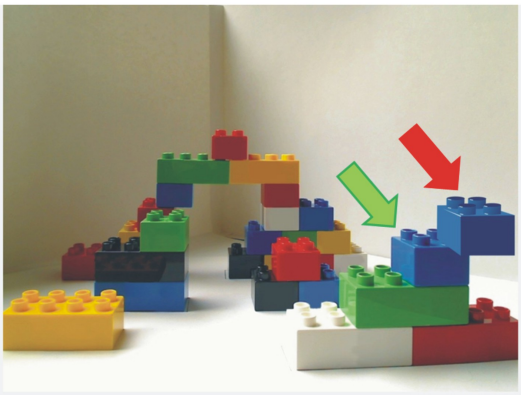
C.1 Vorbefragung Formähnlichkeit

Die Abbildung zeigt beispielhaft eine der gezeigten Powerpointfolien (hier mit Option 1). Die Ähnlichkeit sollte mit den Werten 1 (für sehr ähnlich) bis 5 (sehr unähnlich) bewertet werden. Dazu war auf einem Zettel der Buchstabe und die zugehörige Bewertung zu notieren, um später die Zuordnung für die Auswertung zu ermöglichen. Jede VErsuchsperson hat dabei die Steine in einer zufälligen Reihenfolge präsentiert bekommen, ohne dass der Versuchsleiter in der Nähe war.



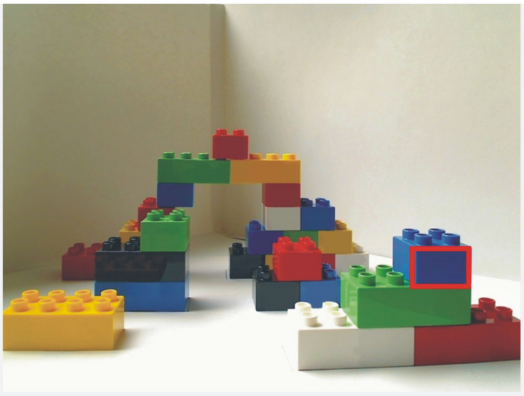
C.2 Instruktion

Die folgenden Folien wurden jeder Versuchsperson vor dem Versuch gezeigt mit dem Hinweis, alles genau zu lesen und bei Bedarf die Versuchleitung zu fragen.



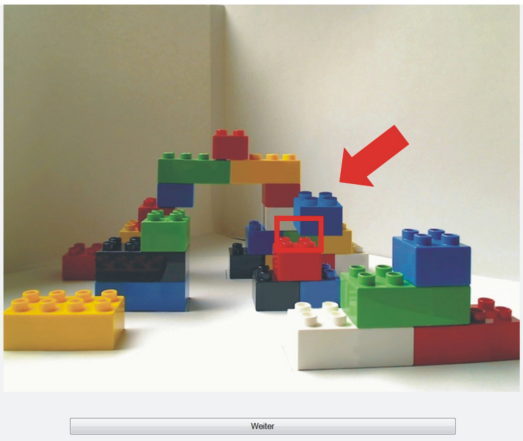
Im ersten Bild wird eine Markierung (hier: blauer Stein, siehe roter Pfeil) in eine vorgegebene Kulisse eingeblendet. Es soll herausgefunden werden, welcher Stein mit der Markierung hervorgehoben wird. In diesem Beispiel zeigt der grüne Pfeil auf den gewünschten blauen Zielstein.

Wenn deutlich ist, welcher Zielstein gemeint ist, dessen Position gut merken und auf „Weiter“ klicken.



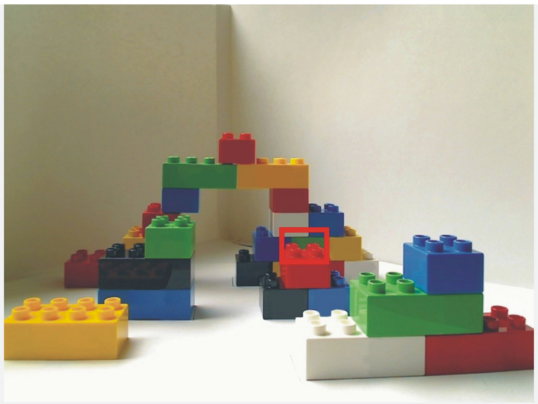
Als zweites wird die Kulisse ohne Markierung angezeigt. Jetzt ist der gemerkte Zielstein wiederzufinden (blauer Stein).

Anzuklicken ist immer die Vorderseite des gewünschten Zielsteines (im Beispiel rot hervorgehoben).



Als drittes wird die Kulisse angezeigt, wobei die bekannte Markierung (siehe roter Pfeil) verschoben wurde und auf eine andere Position deutet. Wichtig: Zu merken ist die Zielposition des Steines (rote Umrandung), wobei diese nicht der verschobenen Markierung entsprechen muss (siehe nächste Folien).

Wenn deutlich ist, welche Zielposition gemeint ist, diese gut merken und auf „Weiter“ klicken.



Als letztes wird erneut die Kulisse ohne Markierung angezeigt.

Jetzt ist die gemerkte Zielposition anzuklicken (im Beispiel rote Umrandung).

Es gibt vier verschiedene Darstellungen der Markierung:

1. Die Markierung befindet sich AUF dem gewünschten Stein bzw. der gewünschten Zielposition.

oder

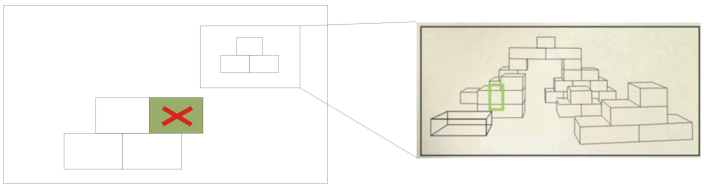
2. Die Markierung befindet sich NEBEN dem gewünschten Stein bzw. der gewünschten Zielposition und wird durch eine Verbindungslinie hervorgehoben.

oder

3. Die Markierung befindet sich NEBEN dem gewünschten Stein bzw. der gewünschten Zielposition, wird jedoch NICHT durch eine Verbindungslinie hervorgehoben.

oder

4. siehe nächste Folie



4. Es gibt redundante Markierungen, bei der in der rechten oberen Ecke eine Skizze mit den Markierungen der gewünschten Zielsteine bzw. Zielpositionen angezeigt wird.

Bei weiteren Fragen bzw. Zum Start des Experiments bitte an die Versuchsleiterin wenden!

Anhang D

FuzzyJ Toolkit Code

```
//Variablendeklaration
FuzzyRule similar = new FuzzyRule();
FuzzyRule medSimilar = new FuzzyRule();
FuzzyRule disSimilar = new FuzzyRule();
FuzzyValueVector colorValue =null;
FuzzyValue globalColorValue
        =null, globalShapeValue=null, currentSimilarity=null;
FuzzyVariable color=null, shape=null, simRating=null;
RightLinearFunction rlf = new RightLinearFunction();
LeftLinearFunction llf = new LeftLinearFunction();
try{
//Fuzzifizierung
simRating = new FuzzyVariable("Similarity",0.0,5.0,"Einheit");
simRating.addTerm("sim",new RFuzzySet(0.0,2.0,rlf));
simRating.addTerm("medSim",new TriangleFuzzySet(1.5,3.5,4.0));
simRating.addTerm("dissSim",new LFuzzySet(3.0,5.0,llf));

color = new FuzzyVariable("Color",0.0,2.0,"Einheit");
//die Verteilungsfunktionsart und Zahlenwerte entstammen Abb.x
color.addTerm("noDist",new RFuzzySet(0.0, 0.4, rlf));
color.addTerm("barelyDist",new TriangleFuzzySet(0.3,0.6,1.0));
color.addTerm("defDist",new LFuzzySet(0.5,2.0,llf));

shape = new FuzzyVariable("Shape",0.0,5.0,"Einheit");
//die Verteilungsfunktionsart und Zahlenwerte entstammen Abb.x
shape.addTerm("sim",new RFuzzySet(0.0,3.0,rlf));
shape.addTerm("medSim",new GaussianFuzzySet(3.0,0.5));
```

```
shape.addTerm("disSim",new LFuzzySet(3.5,5.0,llf));

//Regelerstellung
similar.addAntecedent(new FuzzyValue(simRating,"sim"));
similar.addConclusion(new FuzzyValue(color,"noDist"));
similar.addConclusion(new FuzzyValue(shape,"sim"));

medSimilar.addAntecedent(new FuzzyValue(simRating,"medSim"));
medSimilar.addConclusion(new FuzzyValue(color,"barelyDist"));
medSimilar.addConclusion(new FuzzyValue(shape,"medSim"));

disSimilar.addAntecedent(new FuzzyValue(simRating,"dissSim"));
disSimilar.addConclusion (new FuzzyValue(color,"defDist"));
disSimilar.addConclusion(new FuzzyValue(shape,"disSim"));  }
```

Listing 1. Regelsatzerstellung mit Antezedensen simRating und Sukzedensen Farbe und Form.

Es folgt die Ausführung der Regeln bei jeweiliger Erfüllung der Antezedensen-Bedingung.

```
/*
* In der Schleife werden anhand einfacher Wertzuweisungen für t,
* Reaktionen der Regelanwendung getestet. Im späteren Küchensystem
* liefert die KnowledgeSource des Kontextmodells den jeweiligen
* Wert für t.
*/

for (double t=0.0; t<=5.0; t=t+0.2)
{
globalColorValue=null;
globalShapeValue=null;
similar.removeAllInputs();
medSimilar.removeAllInputs();
disSimilar.removeAllInputs();
try {
//Fuzzifizierung
currentSimilarity = new FuzzyValue(simRating,
new TriangleFuzzySet(t,t,t));
similar.addInput(currentSimilarity);
medSimilar.addInput(currentSimilarity);
```

```
disSimilar.addInput(currentSimilarity);
/*
* Ausführen jeder Regel und festlegen der globalen Farb- und /
* Formwerte; jede Regel testet, ob Regelinput den Antezen-
* densen matcht, wenn ja, wird die Regel ausgeführt; wird eine
* Regel ausgeführt, so werden die Sukzedensen zu den globalen
* Farb- und Formwerten hinzugefügt durch eine FuzzyUnion
*/
if (similar.testRuleMatching()){
colorValue = similar.execute();
if (globalColorValue==null){
globalColorValue=colorValue.fuzzyValueAt(0);
globalShapeValue=colorValue.fuzzyValueAt(1);
System.out.println("=similar");
}else
globalColorValue
      =globalColorValue.fuzzyUnion(colorValue.fuzzyValueAt(0));
}

if (medSimilar.testRuleMatching()) {
colorValue = medSimilar.execute();
if (globalColorValue==null){
globalColorValue=colorValue.fuzzyValueAt(0);
globalShapeValue=colorValue.fuzzyValueAt(1);
System.out.println("=medsimilar");
}else
globalColorValue
        =globalColorValue.fuzzyUnion(colorValue.fuzzyValueAt(0));
}

if (disSimilar.testRuleMatching()){
colorValue = disSimilar.execute();
if (globalColorValue==null){
globalColorValue=colorValue.fuzzyValueAt(0);
globalShapeValue=colorValue.fuzzyValueAt(1);
System.out.println("=disSimilar");
} else
globalColorValue
```

```
        =globalColorValue.fuzzyUnion(colorValue.fuzzyValueAt(0));
}

System.out.println("ColorValue: "+globalColorValue.momentDefuzzify());
System.out.println("ShapeType: " +globalShapeValue.momentDefuzzify());
}
```

Listing 2. Regelausführungstest anhand von Schleifenwerten für alle möglichen Ähnlichkeiten.

Es folgt die Ausgabe der Beispielabfrage durch die Schleife. Sie zeigt, bei welchem Ausgangswert der Ähnlichkeit, welche Farbwerte und Formtypen berechnet werden.

```
=similar
ColorValue: 0.13333333333333333
ShapeType: 1.0
=similar
ColorValue: 0.13454545454545455
ShapeType: 1.009090909090909
\ldots
=similar
ColorValue: 0.5266618075801747
ShapeType: 1.4263157894736842

=medsimilar
ColorValue: 0.6440476190476191
ShapeType: 3.0000000000000004
=medsimilar
ColorValue: 0.6418686868686869
ShapeType: 3.000000000000001
\ldots
=medsimilar
ColorValue: 1.1861767812240491
ShapeType: 3.000000000000001

=disSimilar
ColorValue: 1.416666666666667
ShapeType: 4.416666666666667
=disSimilar
```

```
ColorValue: 1.4428571428571428
ShapeType: 4.442857142857143
\ldots
=disSimilar
ColorValue: 1.4954545454545456
ShapeType: 4.495454545454546
```

Listing 3. Ausgabe der Inferenzmaschine. Für die Ähnlichkeitswerte der Schleife wird entschieden, welchem Variablenwert die Ergebnisse zugeordnet werden (ßimilar", "medSimilaröder "disSimilar") und welche Werte sich für Farbe und Form durch die Defuzzifizierung ergeben. ("... ßteht für ausgelassene Werte, um die Lesbarkeit zu verbessern.)

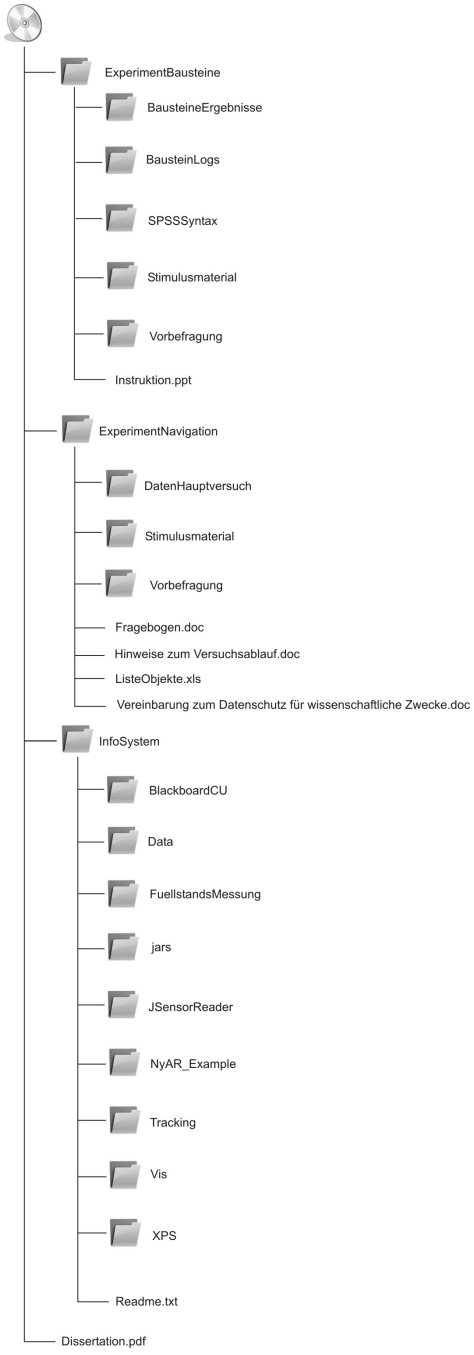
Die Ausgabewerte für ßimilar"liegen für die Farbdistanz zwischen 0,13 und 0,53 und für den Formtypen zwischen 1,0 und 1,4. Die Farbdistanz entspricht so der nicht unterscheidbaren und damit sehr realistischen Farbgebung. Ebenso wird die Form auf eine sehr ähnliche zurückgeführt. Diese Variante ist hilfreich, wenn ein hoher Immersionsgrad gefordert ist und die Detektionszeit der AR Information nicht oder nur wenig relevant ist.

Für die Anforderung "medSimilar", also mittel ähnlich, ergeben sich Farbdistanzwerte zwischen 0,64 und 1,19. Der Formtyp bleibt bei 3. Damit wird eine mittel ähnliche Form mit einer geringfügigen aber erkennbaren Farbabweichung erstellt. Diese Variante ist aus anderen und vor allem aus den hier durchgeführten Versuchen als die Effektivste hervorgegangen. Mit ihrer Hilfe ist die AR Information schnell zu detektieren und kann dem realen Objekt gut zugeordnet werden. Sie wird innerhalb der Küchenanwendung die am meisten genutzte Darstellungsvariante ausmachen.

Die Ähnlichkeitsstufe "disSimilar", also unähnlich, ergibt Farbdistanzwerte ab 1,42. Der Formtyp wird auf mindestens 4,42 gesetzt. Unähnliche Darstellungen dienen der sehr schnellen Detektion einer AR Information und erfüllen selten den Zweck der ebenso schnellen Zuordenbarkeit. Ein deutlicher Farbunterschied und die sehr abstrahierte Formgebung unterstützen eine solche Aufgabe sehr gut. Dennoch kann das aufgeblendete Objekt dem realen Partner zugeordnet werden, da die Farbdistanz keinen anderen Grundfarbton ergibt und die Form zumindest in ihren Ausmaßen dem gemeinten Gegenstand entspricht.

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken wurden als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum: Unterschrift:

CD Inhaltsverzeichnis