

# Diplomarbeit

## Diplom I – Betriebsinformatik

Mapcube: Prototypische Implementierung und  
Evaluation einer Fokus + Kontext Technik für  
geographische Kartendarstellungen

Marcus Richter  
Matrikelnummer: 6945228

Betreuer: Dipl.Inf. Björn Werkmann

Fakultät für Mathematik und Informatik  
FernUniversität in Hagen  
Lehrgebiet Multimedia & Internetanwendungen  
Prof. Dr.-Ing. M. L. Hemmje



1.Mai 2012

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

## Kurzfassung

Diese Diplomarbeit implementiert und evaluiert die Fokus und Kontext Visualisierungstechnik Mapcube, welche geographische Karten auf Geräten mit kleiner Anzeige darstellt. Dabei verwendet die Technik eine transparente und dreidimensionale Darstellung, um zusätzliche Informationen darzustellen, ohne dabei den Benutzer bei Durchführung seiner Aktionen zu beeinträchtigen.

Eine prototypische Implementierung dieser Visualisierungstechnik wird im Kontext mehrerer etablierter Anwendungsgebiete (Navigation, Ortsbestimmung und Lokalisierung) evaluiert. Es wird sowohl eine analytische als auch eine empirische Evaluation durchgeführt, um die Stärken und die Schwachstellen der neuen Visualisierungstechnik zu ermitteln. Hierbei ist der Vergleich zu vergleichbaren Visualisierungstechniken wie das Panning und Zooming, die Überblick und Detail Anzeigen, die HALO Visualisierungstechnik, die bifokale Anzeige, die Fischaugenlinse und die transparente Linse ein wesentlicher Bestandteil der Evaluation.

In dieser Arbeit wird insbesondere gezeigt, dass sich die Mapcube-Visualisierungstechnik besonders gut eignet für die Darstellung von asynchronen Ereignissen. Konkret wird gezeigt, wie mit dem Anwendungsfall Navigation Objekte und Zusammenhänge in der Offscreen-Region angezeigt werden, ohne dabei den Benutzer bei Durchführung der Navigationsaufgabe zu beeinträchtigen. Des Weiteren wird mit dem Benutzertest Ortsbestimmung und Lokalisierung gezeigt, dass Zusammenhänge in der Offscreen-Region im Vergleich zu der Halo-Visualisierungstechnik um 44% schneller und um 50% fehlerfreier erkannt werden.

Im Abschluss wird aufgezeigt, wie die Mapcube-Visualisierungstechnik weiterentwickelt werden kann.

Zudem wurden mehrere Verbesserungen an der Technik MapCube identifiziert, welche in dieser Arbeit beschrieben werden.

Bei der Umsetzung des Prototyps wird die Technologie JOGL (Java OpenGL) für die dreidimensionale Darstellung eingesetzt. Das Evaluationsframework besteht aus einer Webanwendung und einer Datenbank, welche die Ergebnisse der empirischen Evaluation speichert. Die Mapcube Implementierung wird in Form eines Java Applets umgesetzt.

## Abstract

This master thesis implements and evaluates a focus+context visualization technique called MapCube, used for geographical map rendering on small displays. This technique employs a 3D metaphor together with transparency to display additional information while the main user task remains uninterrupted.

A prototypical implementation of this visualization technique is evaluated in context of several established use cases: navigation, orientation and localisation. Evaluation is performed analytically as well as empirically, comparing against the related visualization techniques panning and zooming, overview and detail, halo, bifocal display, fisheye lense and blending lense, to identify strength and weaknesses of the MapCube visualization technique. Use case navigation (visualizing offscreen topological relationships without interrupting the navigation task) could not be performed with any other visualization technique. Use case orientation and localisation (recognizing geographic connections in the off-screen region) was performed with the mapcube visualization technique in comparison to the halo visualization technique 44 percent faster, with an error rate decreased by 50 percent.

Additionally, several improvements to the MapCube technique have been identified and are described as part of this thesis.

The prototypical implementation of the MapCube uses JOGL (Java OpenGL) for the 3D rendering. The evaluation framework consists of a web application including a database for storing the evaluation results. The MapCube implementation is included as java applet.

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung, Beitrag und Aufbau .....	8
1.1 Einleitung .....	8
1.2 Beitrag dieser Arbeit .....	8
1.3 Aufbau dieser Arbeit .....	9
2 Related Work .....	10
2.1 Einleitung .....	10
2.2 Überblick-plus-Detail (engl. Overview-plus-Detail) .....	10
2.3 Panning und Zooming .....	11
2.4 Hinweis-basierte Techniken .....	12
2.5 Fokus-plus-Kontext .....	14
2.5.1 Transformation und Skalierungsfunktion .....	15
2.5.2 Bifokale Anzeige (engl. Bifocal Display) und Perspektivische Wand (engl. Perspective Wall) .....	15
2.5.3 Fischaugenlinse (engl. Fisheye Lense) .....	17
2.5.4 Focus + Glue + Context .....	18
2.5.5 Transparenz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext .....	19
2.6 Dreidimensionale Informationsvisualisierung .....	20
3 Anforderungsanalyse .....	24
3.1 Zielbestimmung .....	24
3.1.1 Zielbestimmung der Mapcube-Software .....	24
3.1.2 Zielbestimmung des Evaluation Framework .....	24
3.2 Mapcube Einsatzbereich .....	24
3.3 Mapcube Visualisierungstechnik .....	25
3.3.1 Umschalten der Ansicht .....	25
3.3.2 Darstellung der Kartenflächen .....	25
3.3.3 Darstellung von geographischen Informationsobjekten in den Kartenflächen .....	27
3.3.4 Darstellung von Textinformationen, Benutzerhinweise und Detailinformationen .....	28
3.3.5 Einsatz von Perception Cues .....	28
3.3.6 Panning mit der Mapcube-Visualisierungstechnik .....	28
3.3.7 Zooming mit der Mapcube-Visualisierungstechnik .....	29
3.4 Geographischen Informationsobjekte .....	29
3.4.1 Statische Objekte .....	29
3.4.2 Statische Bereiche und Flächen .....	29
3.5 Nicht-funktionale Anforderungen .....	29
3.6 Realisierung .....	29
4. Anwendungsfälle für den Mapcube .....	30
4.1 Einleitung .....	30
4.2 Grundlagen für die Aufstellung der Anwendungsfälle .....	30
4.2.1 Kontext .....	30
4.2.3 Reaktive und proaktive Dienste (engl. Push and Pull Services) .....	31
4.2.4 Benutzeraktionen (engl. User Actions) .....	31
4.3 Aufstellungen der Anwendungsfälle .....	34
4.3.1 Anwendungsfall Navigation .....	34
4.3.1.1 Ziel .....	34
4.3.1.2 Zielgruppen .....	34
4.3.1.3 Szenario .....	35
4.3.2 Anwendungsfall Ortsbestimmung und Lokalisierung im Zusammenhang mit der .....	34

Navigation.....	35
4.3.2.1 Ziel .....	35
4.3.2.1 Zielgruppe .....	35
4.3.2.2 Szenario .....	36
5 Konzeption und Modellierung .....	37
5.1 Einleitung .....	37
5.2 Konzeption der Mapcube Software .....	37
5.2.1 Vorüberlegungen .....	37
5.2.2 Geographische Informationsobjekte .....	38
5.2.3 Objekttypen für die geographischen Informationsobjekte .....	39
5.2.4 Kartographische Darstellung.....	39
5.2.4.1 Projektion .....	39
5.2.4.2 Darstellung von geographischen Informationsobjekten.....	41
5.2.4.3 Darstellung von Rasterdaten.....	42
5.2.4.4 Abbildungsprozess .....	43
5.2.4.5 Vorverarbeitungen der geographischen Informationsobjekte .....	43
5.2.4.6 Visual Mapping.....	43
5.2.4.7 View Creation.....	47
5.2.5 Sonstige Anzeigefunktionen .....	47
5.2.5.1 Texte und Beschriftungen.....	48
5.2.5.2 Beleuchtung und Schattierungen .....	49
5.2.5.3 Transparenz .....	50
5.2.5.4 Perception Cues.....	51
5.2.5.5 Hervorheben von Signaturen .....	52
5.2.6 Konzeption der Interaktionselemente .....	53
5.2.6.1 Umschalten der Ansicht .....	53
5.2.6.2 Verschieben (engl. Panning) der Karte .....	53
5.2.6.3 Zooming .....	54
5.3 Konzeption der Demonstration des Anwendungsfall Navigation .....	54
5.3.1 Grundlagen .....	54
5.3.2 Drehung der Anzeige .....	55
5.3.3 Darstellung der speziellen Objekte .....	56
6 Entwurf.....	62
6.1 Software-Architektur.....	62
6.2 Systemzerlegung.....	62
6.3 Klassenentwurf.....	63
6.3.1 Klassendiagramm Mapcube Anzeige.....	63
6.3.2 Klassendiagramm Benutzertest Ablauf .....	64
6.3.3 Klassendiagramm Mapcube Steuerung .....	64
6.4 Entwurfsmuster .....	65
6.4.1 Entwurfsmuster Singleton .....	65
6.4.2 Entwurfsmuster Beobachter .....	65
6.4.3 Entwurfsmuster Fassade .....	66
7 Umsetzung.....	67
7.1 Einleitung .....	67
7.2 JOGL, OpenGL, OpenGL ES .....	67
7.2.1 JOGL .....	67
7.2.2 OpenGL .....	67
7.2.3 OpenGL ES .....	68
7.3 Java-Applet .....	69
7.4 JTS Topology Suite .....	69
7.5 XML.....	70

7.6 Persisitierung der Messdaten.....	71
7.7 Überblick .....	71
8 Evaluation .....	72
8.1 Empirische Evaluation.....	72
8.1.1 Vorüberlegungen .....	72
8.1.2 Usability Metriken .....	72
8.1.3 Anpassung des Anwendungsfalls für die Evaluation.....	73
8.1.4 Ablauf, Aufgabenstellung und Ziele des Benutzertest.....	73
8.1.5 Aktivitätsdiagramm.....	76
8.1.6 Womit wird verglichen.....	76
8.1.7 Durchführung des Benutzertests .....	77
8.1.8 Hypothesen.....	77
8.1.9 Auswertung des Benutzertests .....	78
8.2 Analytische Evaluation .....	81
8.2.1 Aufstellung des Kriteriekatalog.....	82
8.2.2 Kriterium Einschränkungen.....	83
8.2.3 Kriterium Kognitive Komplexität.....	83
8.2.4 Kriterium Räumliche Organisation .....	84
8.2.4.1 Auffinden von Objekten .....	84
8.2.4.2 Räumliche Orientierung (engl. Spatial Orientation) .....	86
8.2.5 Kriterium Darstellungsart der Informationen .....	92
8.2.6 Kriterium Übergangszustand .....	94
8.2.7 Fazit Analytische Evaluation .....	94
9 Weiterentwicklungen.....	96
9.1 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen.....	96
9.2 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen mit Berücksichtigung von Aspekten der bifokalen Anzeige .....	98
10 Zusammenfassung und Ausblick .....	101
10.1 Zusammenfassung.....	101
10.2 Ausblick .....	101

# 1 Einleitung, Beitrag und Aufbau

## 1.1 Einleitung

In den letzten Jahren ist die Bedeutung der mobilen Geräte stark angewachsen. Dabei werden die mobilen Geräte trotz kleinerer Bauweise immer leistungsfähiger. Ebenfalls verfügen immer mehr mobile Geräte über das mobile Internet. Durch das mobile Internet gewinnen kartographische Anwendungen zunehmend an Bedeutung [Reichenbacher04]. Im Zusammenhang mit der mobilen Kartographie werden dem Benutzer ortsbezogene Dienste (engl. Location Based Services) angeboten [Steiniger06]. Unter Verwendung von ortsbezogenen Diensten kann der Benutzer zum Beispiel die nächsten Sehenswürdigkeiten finden, die Position seiner Freunde ermitteln, über besondere Ereignisse informiert werden oder sonstige Informationen abrufen, die im Zusammenhang mit seiner Position stehen. Die begrenzte Darstellungsfläche erschwert jedoch die Nutzung der kartographischen Anwendungen. Aufgrund der begrenzten Darstellungsfläche fehlen dem Benutzer Kontextinformationen, um die Inhalte der kartographischen Darstellung zu verstehen. Hier müssen Lösungen gefunden werden, wie die kartographischen Informationen verständlich dargestellt werden können. Mittlerweile existieren auch verschiedene Ansätze in Form von unterschiedlichen Visualisierungstechniken, um Kontextinformationen darzustellen. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine neue Visualisierungstechnik, der Mapcube, vorgestellt, welche gleichzeitig Detail- und Kontextinformationen von Karten darstellen kann. Hierbei ermöglichen 3D-Beschleuniger eine Umsetzung dieser Technologie auf mobile Geräte, die Objekte sowohl dreidimensional als auch transparent darstellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik aufgrund der Besonderheiten in der Darstellung für bestimmte Anwendungsgebiete gut geeignet ist und für andere Anwendungsgebiete weniger brauchbar ist. Insbesondere ermöglicht es die Mapcube-Darstellung, besondere Ereignisse oder Objekte durch Umschalten der Ansicht einzublenden.

## 1.2 Beitrag dieser Arbeit

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse und Ziele dieser Arbeit aufgelistet:

- Konzeption und Entwicklung eines Prototypen mit der Mapcube-Visualisierungstechnik
- Auffinden von Perception Cues zur Verbesserung der Wahrnehmung der räumlichen Tiefe (Perspektivlinien, Überlappungen, Größenverhältnisse, Beleuchtung und Schattierungen)
- Konzeption und Entwicklung einer demonstrativen Navigations-Anwendung, welche aufzeigt, dass sich asynchrone Ereignisse in der Offscreen-Region mit geringer Beeinträchtigung der ursprünglichen Ansicht mit Mapcube-Visualierungstechnik darstellen lassen
- Konzeption und Entwicklung eines Evaluations-Framework
- Durchführung einer empirischen Evaluation, welche belegt, dass sich Zusammenhänge in der Offscreen-Region fehlerfreier und schneller im Vergleich zu der Halo-Visualisierungstechnik erkennen lassen
- Durchführung einer analytischen Evaluation, welche die Vorteile aufzeigt, über die der Mapcube bei Ausnutzung der beschränkten Darstellungsfläche, bei der Darstellung des Übergangs von der Fokus- und Kontext-Region und bei der

Umschaltung der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung im Vergleich zu verwandten Visualisierungstechniken verfügt

- Vorstellungen von Weiterentwicklungen der Mapcube-Visualisierungstechnik, die Vorteile gegenüber der ursprünglichen Mapcube-Visualisierungstechnik bei der Darstellung der Kontext-Region aufzeigen

### **1.3 Aufbau dieser Arbeit**

Zu Beginn der Arbeit werden einige Grundlagen eingeführt, welche in Kapitel 2 beschrieben werden. Hierzu werden unterschiedliche Visualisierungstechniken beschrieben, welche zum Teil für die Darstellung von kartographischen Daten verwendet werden können. In Kapitel 3 wird eine Anforderungsanalyse vorgenommen. Hierbei werden die Anforderungen ermittelt, die zur Entwicklung und Evaluation des Prototyps notwendig sind. Das Kapitel 4 befasst sich mit der Aufstellung von Anwendungsfällen, die die Besonderheiten der Mapcube-Kartendarstellung nutzen. Anschließend erfolgt in Kapitel 5 die Konzeption der Software. Des Weiteren wird in Kapitel 6 der Softwareentwurf beschrieben und es werden in Kapitel 7 die Besonderheiten der Software-Implementierung beschrieben. Einerseits erfolgt in Kapitel 8 die empirische Evaluation anhand der Messergebnisse der Benutzertests. Andererseits wird in Kapitel 8 eine analytische Evaluation vorgenommen. In Kapitel 9 wird untersucht, wie die Mapcube-Visualisierungstechnik weiterentwickelt und welche neuen Visualisierungstechniken basierend auf der Mapcube-Visualisierungstechnik entwickelt werden könnten. Das Kapitel 10 fasst noch mal den Inhalt dieser Arbeit zusammen.

## 2 Related Work

### 2.1 Einleitung

Die Informationsvisualisierung beschäftigt sich mit der Visualisierung von Daten. Dabei ist es Ziel der Informationsvisualisierung, die Daten so darzustellen, dass die Wahrnehmung verstärkt wird. Daher ist es Aufgabe der Informationsvisualisierung, eine zweckdienliche und verständliche Darstellungsform für die Informationen zu finden [Card99]. Da im Rahmen dieser Arbeit die Darstellung von kartographischen Daten untersucht werden soll, werden im Folgenden Visualisierungstechniken vorgestellt, welche für die Wahrnehmung dieser Art von Daten zweckdienlich sind. Eine kartographische Anwendung stellt in der Regel zweidimensionale Geometrie-Daten dar, wobei in der Anzeige der Anwendung ein Kartenausschnitt abgebildet wird. Einerseits kann der Kartenausschnitt einen kleinen Bereich mit vielen Details darstellen. Andererseits kann der Kartenausschnitt einen großen Bereich mit geringen Details darstellen. Der Nutzer einer kartographischen Anwendung ist jedoch in der Regel sowohl an einer Darstellung mit vielen Details als auch einer Darstellung eines großen Bereichs interessiert. Hierbei entsteht ein Problem. Eine geeignete Visualisierungstechnik kann teilweise dieses Problem lösen.

Im Folgenden werden verschiedene Kategorien von Darstellungsformen näher beschrieben, die sich im Einzelnen aus den aufgeführten Kategorien von Visualisierungstechniken zusammensetzen:

- Fokus- und Kontext
- Panning und Zooming
- Hinweis-basierte Techniken
- Overview-plus-Detail

Des Weiteren erfolgt in Kapitel 2.6 eine kurze Zusammenfassung der dreidimensionalen Informationsvisualisierung. Hinsichtlich der Besonderheiten der Mapcube-Visualierungstechnik und Nutzung der dreidimensionalen Darstellung ist es notwendig, einen kurzen Überblick über die dreidimensionale Informationsvisualisierung darzustellen.

### 2.2 Überblick-plus-Detail (engl. Overview-plus-Detail)

Bei der Visualisierungstechnik des Überblick-plus-Details werden dem Nutzer zwei Sichten angeboten. Einerseits wird eine Sicht für die Orientierung zur Verfügung gestellt, welche den Nutzer bei der Suche und dem Erkennen von Zusammenhängen unterstützt. Andererseits wird eine detaillierte und vergrößerte Sicht auf die Daten angeboten, welche einen bestimmten Ausschnitt der Sicht des Überblicks darstellt [Card99]. Bei einer kartographischen Anwendung wird in der Regel ein kleines Fenster für den Überblick angeboten, welches das große Fenster für die detaillierte Darstellung teilweise überdeckt. In der Abbildung 2.1 wird eine kartographische Darstellung mit Überblick-plus-Detail Technik abgebildet.

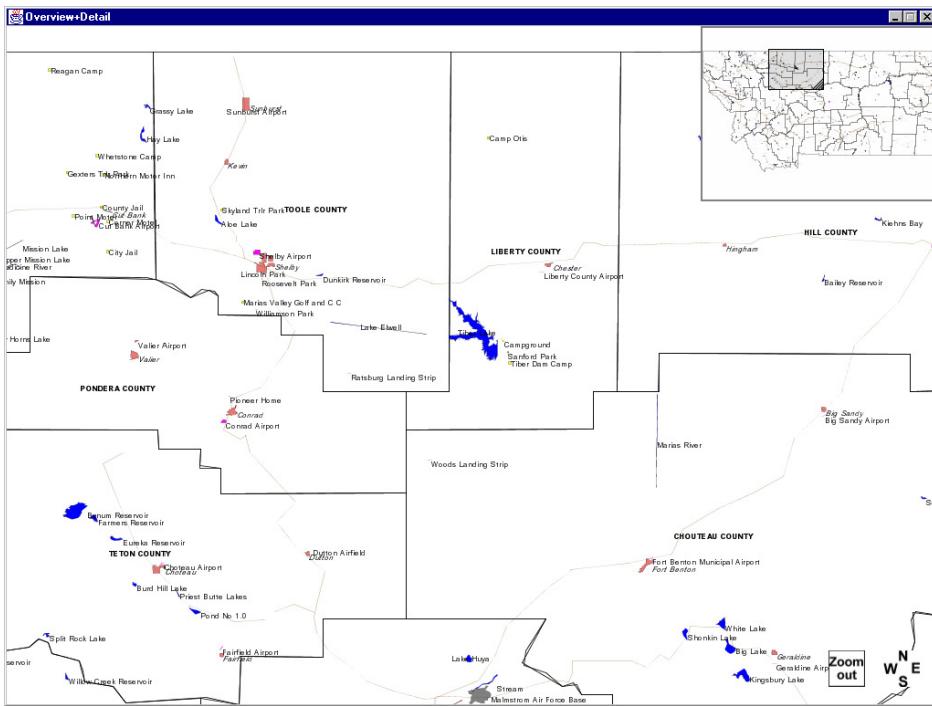


Abbildung 2.1 Karte mit Overview-plus-Detail Darstellung [Hornbaek01]

In einem solchen Fall wird die Overview-Sicht von der der Detail-Sicht räumlich getrennt. Durch die räumliche Trennung ist ein erhöhter kognitiver Aufwand notwendig, um die Zusammenhänge zwischen der Überblick- und Detailsicht zu verstehen. Bei der gleichzeitigen Darstellung von der Overview und Detail Sicht muss ein Kompromiss gefunden werden, was den Raum für die einzelnen Sichten in der Anzeige anbetrifft. Im Zusammenhang mit der Kartographie ist die Overview-plus-Detail Darstellungsform die gängigste Technik, um gleichzeitig Fokus und Kontext darzustellen.

### 2.3 Panning und Zooming

Für kartographische Anwendungen erlaubt das Zooming, den Kartenausschnitt im sichtbaren Bereich zu heraus- und hineinzuzoomen. Mittels der hineingezoomten Ansicht wird der Fokus-Bereich betrachtet. Somit werden mehr Details sichtbar. Im Gegensatz dazu wird mit dem Herauszoomen der Kontext-Bereich betrachtet. Die herausgezoomte Ansicht dient dazu, zu erkennen, wie die Objekte im Raum relativ zueinander platziert sind. Insbesondere wird hierbei deutlich, wie Objekte in der hineingezoomten Ansicht in Beziehung zu den Objekten stehen, welche in der hineingezoomten Ansicht nicht sichtbar sind. Die Fokus-Sicht ist von der Kontext-Sicht zeitlich getrennt, so dass der Benutzer nicht gleichzeitig den Fokus- und Kontext-Bereich einsehen kann. Durch das Heranzoomen und das Herauszoomen entsteht für den Nutzer ein kognitiver Aufwand, da mehr Informationen gedanklich gespeichert werden müssen. In der Regel wird das Zooming mit einer Überblick-plus-Detail-Darstellung kombiniert [Cockburn05]. Oftmals wird das Zooming auch mit dem Panning kombiniert, welches es erlaubt, den Kartenausschnitt zu verschieben, so dass Informationen außerhalb des sichtbaren Bereiches in die Fokus-Region verschoben werden können.

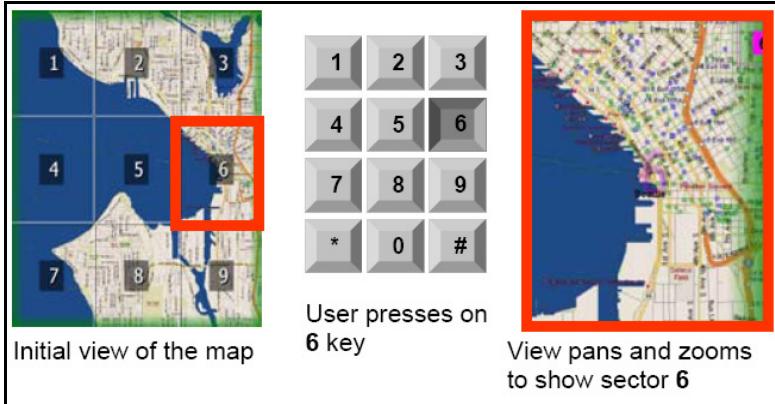


Abbildung 2.2 ZoneZoom [Robbins04]

Einen alternativen Ansatz für das Zooming verwendet die ZoneZoom-Visualisierungstechnik. Diese Art der Zoomtechnik ist für mobile Geräte optimiert. Hierbei wird ein rechteckiger Kartenausschnitt in neun gleich große rechteckige Flächen aufgeteilt. Die einzelnen Flächen werden durchnummiert. Durch einen Tastendruck auf dem mobilen Gerät kann eine der neun Flächen herangezoomt werden. Dieser Vorgang wird in Abbildung 2.2 dargestellt. Auf diese Weise wird die Panning- und Zoomming-Operation in einer Aktion miteinander kombiniert. Der Nutzer kann einen ausgewählten Teil der Karte detaillierter betrachten und anschließend zur Overview-Sicht zurückkehren [Robbins04].

## 2.4 Hinweis-basierte Techniken

Hinweise ermöglichen es dem Anwender, Informationen bezüglich der Position von Objekten außerhalb des sichtbaren Bereichs zu erhalten. Dabei werden stellvertretend für die Objekte abstrakte Formen abgebildet. Durch Veränderung von Eigenschaften der abstrakten Formen kann die Position und Lage der Objekte beschrieben werden. Hierbei können sich die Eigenschaften im Einzelnen aus der Farbe, Größe, Position, Länge, Form und Beschriftung zusammensetzen [Burigat11]. Im Folgenden werden vier Arten von Hinweis-basierten Techniken beschrieben:

- CityLights
- Pfeile
- Halo
- Wedges

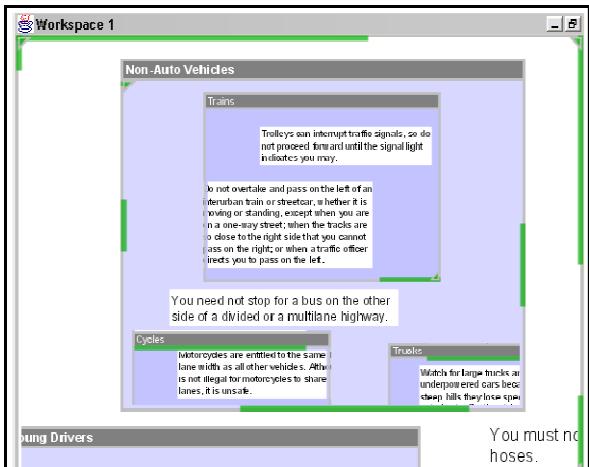


Abbildung 2.3 CityLights [Zellweger03]

CityLights sind Hinweise, die am Rand des sichtbaren Bereichs platziert werden. In Abbildung 2.3 wird ein Beispiel für diese Hinweise abgebildet. In diesem Fall werden an dem Rand des Fensters grüne Linien platziert, welche durch die Höhe und Breite die Position und die Lage von Objekten außerhalb des sichtbaren Bereichs andeuten. Die Entfernung der Objekte wird durch Variation der Farbe oder der Dicke beschrieben. Diese Hinweise haben den Nachteil, dass sich diese bei einer größeren Ansammlung gegenseitig überdecken [Zellweger03].



Abbildung 2.4 Pfeile [Burigat11]

Einen anderen Ansatz für die Darstellung von Hinweisen verwendet die Hinweis-basierte Technik mit Pfeilen. Um die Position und die Lage von Objekten außerhalb des sichtbaren Bereichs anzudeuten, werden Pfeile am Rand des sichtbaren Bereichs abgebildet, welche in Richtung des Objekts orientiert sind. Weiterhin kann die Entfernung durch verschiedene Attribute der Pfeile beschrieben werden. Dabei kann die Entfernung durch die Farbe, Länge, Größe oder Beschriftung angedeutet werden. In der Abbildung 2.4 wird die Entfernung der Objekte durch die Größe der Pfeile angedeutet. Bei der Darstellung von Pfeilen ist es vorteilhaft, dass selbst bei einer größeren Ansammlung von Objekten die Überlagerung der Pfeile relativ gering bleibt [Burigat06].



Abbildung 2.5 Halo [Baudisch03]

Bei der Halo-Darstellung von Hinweisen wird die Lage und Position der Objekte außerhalb des sichtbaren Bereichs durch Kreise angedeutet. Es werden Kreise um die Punkte in der Offscreen-Region gezogen, wobei ein kleiner Ausschnitt des Kreises in der Kartendarstellung sichtbar ist. Der Mittelpunkt des Kreises ist identisch mit der Position des Objekts. Anhand der Position und der Größe des Kreissausschnitts kann der Benutzer die Position des Objekts in der Offscreen-Region abschätzen. Im Gegensatz zu der

Darstellung mit den Pfeilen werden die Hinweise bei der Halo-Darstellung nur teilweise angezeigt. Die fehlenden Teile der Hinweise müssen gedanklich durch den Betrachter vervollständigt werden. Hierbei hilft die vertraute Form des Kreises dem Betrachter bei der gedanklichen Vervollständigung. Ein anderer wesentlicher Unterschied gegenüber der Darstellung mit Pfeilen ist die exakte Andeutung der Entfernung des Objekts in der Offscreen-Region. Ein entscheidender Nachteil bei der Halo-Darstellung entsteht dann, wenn eine größere Ansammlung von Objekten außerhalb des sichtbaren Bereichs dargestellt wird. In einem solchen Fall können sich Kreisbögen überschneiden und eine individuelle Unterscheidung der Kreise wird erschwert [Baudisch03].

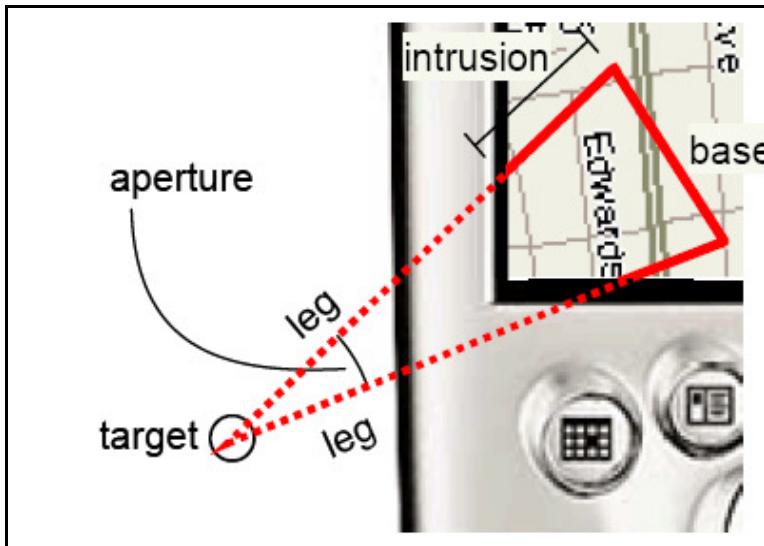


Abbildung 2.6 Wedges [Gustafson08]

In der Abbildung 2.6 wird die Darstellung von Hinweisen mit Wedges abgebildet. Ähnlich wie bei der Halo-Darstellung wird bei der Darstellung mit Wedges nur ein Teil der Hinweise abgebildet, so dass auch hier eine gedankliche Vervollständigung der Hinweise notwendig ist. Wedges sind gleichschenklige Dreiecke. Bei der Darstellung der Wedges werden die Seiten, die gleich lang sind, nur zum Teil dargestellt. Der Punkt, an dem die Seiten mit gleicher Länge zusammen treffen, entspricht der Position des Objekts in der Offscreen-Region. Die Vorteile bei der Darstellung von Hinweisen mit Wedges liegen in der geringen Überlappung der Hinweise, wenn eine größere Ansammlung von Hinweisen dargestellt wird. Darüber hinaus wird die exakte Entfernung, ähnlich wie bei Darstellung von Hinweisen mit Halo, angedeutet [Gustafson08].

## 2.5 Fokus-plus-Kontext

Ähnlich wie bei Überblick-Plus-Detail Darstellung werden bei der Fokus-plus-Kontext Darstellung sowohl der Überblick (Kontext) als auch die Details (Fokus) gleichzeitig dargestellt. Dabei wird die Darstellung für den Überblick in die Fokus Darstellung integriert. Im Gegensatz zu der Überblick-Plus-Detail Darstellung werden bei der Fokus-plus-Kontext Darstellung die beiden Sichten nicht räumlich getrennt. In der Regel ist der Übergang zwischen Fokus- und Kontextregion nahtlos. Somit verringert sich der kognitive Aufwand, um die Zusammenhänge der Überblick- und Detailsicht zu verstehen. Ein Ansatz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext ist die Verwendung einer Verzerrungstechnik [Card99]. Erstmals wurde von Spence eine Verzerrungstechnik beschrieben, um den Fokus-plus-Kontext darzustellen. In diesem Fall wird mittels eines bifokalen Display eine Fokus-plus-Kontext Darstellung erzeugt, wobei die Region, die von besonderem Interesse ist, vergrößert und mit maximalen Details dargestellt wird und die umliegenden Regionen

verkleinert und mit weniger Details dargestellt werden [Spence82]. Im Zusammenhang mit der Fokus-plus-Kontext Darstellung sind die Transformations- und Skalierungsfunktionen von Bedeutung, welche in dem Kapitel näher beschrieben werden.

In den Kapiteln 2.5.2, 2.5.3 und 2.5.3 werden verschiedene Visualisierungstechniken beschrieben, die mittels Verzerrung eine Fokus-plus-Kontext Darstellung erzeugen. Ein weiterer Ansatz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext ist die Verwendung von Transparenz. Hierzu wird in Kapitel 2.5.4 eine Visualisierungstechnik näher beschrieben.

### 2.5.1 Transformation und Skalierungsfunktion

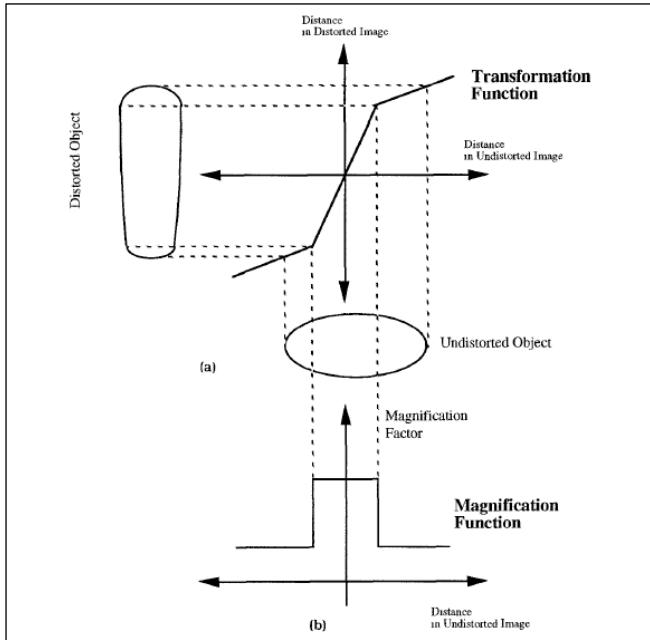


Abbildung 2.7 Transformation- und Skalierungsfunktion [Leung94]

Die Transformationsfunktion beschreibt, wie ein unverzerrtes Bild auf eine verzerrte Sicht projiziert wird. In der Abbildung 2.7 wird dargestellt, wie die Transformationsfunktion auf ein unverzerrtes Bild angewendet wird, um eine bifokale Anzeige zu erzeugen. Des Weiteren beschreibt die Skalierungsfunktion, wie das unverzerrte Bild bei der Projektion vergrößert oder verkleinert wird. Dabei ist die Skalierungsfunktion die erste Ableitung der Transformationsfunktion [Leung94]

### 2.5.2 Bifokale Anzeige (engl. Bifocal Display) und Perspektivische Wand (engl. Perspective Wall)



Abbildung 2.8 Bifokales Display [Youtube11] Abbildung 2.9 Regionen [Leung94]

Demagnification in both X and Y dimensions	Demagnification in Y dimension	Demagnification in both X and Y dimensions
Demagnification in X dimension	<b>Central 'Focus' Region</b>	Demagnification in X dimension
Demagnification in both X and Y dimensions	no demagnification	Demagnification in both X and Y dimensions

Bei der bifokalen Darstellung wird die Projektion in der Fokus-Region gleichmäßig vergrößert und die Projektion in der Kontext-Region wird gleichmäßig verkleinert. Die Skalierung ist sowohl bei der Projektion auf die Fokus-Region als auch bei der Projektion auf die Kontext-Region konstant. Dadurch entsteht der Nachteil, dass der Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region abrupt ist. Erstmals wurde die bifokale Darstellung in einer eindimensionalen Form angewendet, wobei eine unverzerrte Detail-Sicht und zwei verzerrte Kontext-Sichten dargestellt wurden. Hierbei sind die beiden Kontext-Sichten gleichmäßig in horizontaler Richtung gestaucht [Leung94]. Um die bifokale Darstellung auf einer Kartendarstellung anzuwenden, muss eine zweidimensionale Form der bifokalen Darstellung gefunden werden. Dazu wird ein Kartenausschnitt in neun Regionen aufgeteilt. In der Abbildung 2.9 wird die Aufteilung der Regionen dargestellt. Ebenfalls wird in der Abbildung dargestellt, wie die einzelnen Regionen verzerrt werden. Die einzelnen Regionen im Kontext werden in horizontaler, vertikaler oder beiden Richtungen gestaucht. Weiterhin wird in der Abbildung 2.8 eine kartographische Anwendung mit einer bifokalen Darstellung abgebildet.

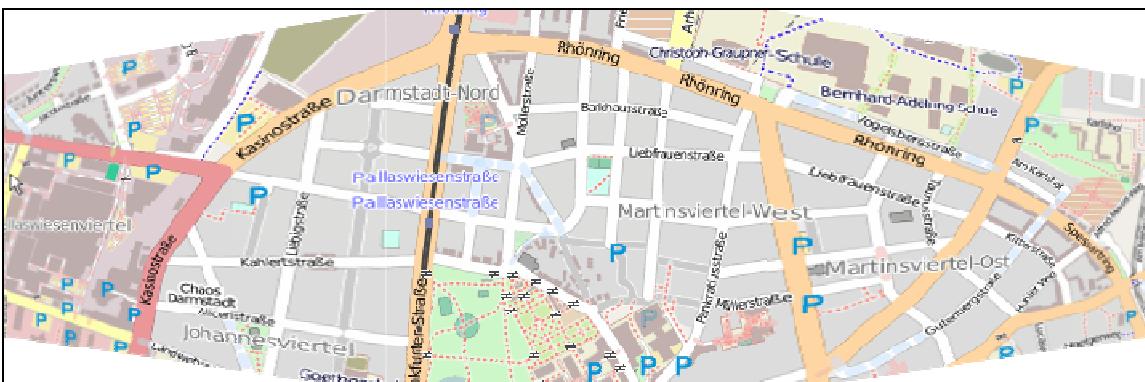


Abbildung 2.10 Kartographische Darstellung Perspektivische Wand [Werkmann09]

Die perspektivische Wand ist eine Weiterentwicklung der bifokalen Darstellung [Leung94..

Im Gegensatz zu der biofokalen Darstellung verwendet die perspektivische Wand eine dreidimensionale Darstellung. Die Vorteile bei der der dreidimensionalen Darstellung liegen sowohl in dem weichen Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region als auch in der intuitiveren Darstellung. Hierbei ist die Darstellung einer dreidimensionalen Wand im Vergleich zu den gestauchten Flächen der bifokalen Anzeige für den Betrachter besser verständlich. Die perspektivische Wand besteht aus drei Teilen. Es wird eine Fläche für die Darstellung der Fokus-Region unverzerrt dargestellt. Des Weiteren werden zwei Flächen für die Darstellung der Kontext-Region verzerrt dargestellt, wobei diese Flächen nicht gleichmäßig verzerrt werden. Diese Art der Darstellung entspricht einer zweidimensionalen Wand, deren Seiten nach hinten abgeknickt werden [Mackinlay92]. In der Abbildung 2.10 wird eine perspektivische Wand mit einem projizierten Kartenausschnitt abgebildet. Ein wesentlicher Nachteil bei dieser Art der Darstellung ist die unvollständige Ausnutzung der Darstellungsfläche.

### 2.5.3 Fischaugenlinse (engl. Fisheye Lense)

Durch die Verwendung einer Fischaugenlinse werden Objekte nahe dem Fokuspunkt vergrößert dargestellt. Mit steigender Entfernung von dem Fokuspunkt nimmt der Grad der Vergrößerung kontinuierlich ab, so dass Objekte entfernt von dem Fokuspunkt verkleinert dargestellt werden. Um eine Fischaugen-Verzerrung zu realisieren, muss jede Koordinate eines unverzerrten Bildes in eine Koordinate für die verzerrte Darstellung transformiert werden.

$$P_{f\text{eye}} = \left\langle G\left(\frac{D_{norm_x}}{D_{max_x}}\right) D_{max_x} + P_{focus_x}, G\left(\frac{D_{norm_y}}{D_{max_y}}\right) D_{max_y} + P_{focus_y} \right\rangle$$

$$G(x) = \frac{(d+1)x}{dx+1}$$

Abbildung 2.11 Berechnung der Fischaugen-Verzerrung [Sarkar92]

In der Abbildung 2.11 wird eine Gleichung zur Berechnung der Fischaugen-Verzerrung definiert. Mittels der Gleichung werden für die X- und Y-Koordinaten der unverzerrten Darstellung die transformierten Koordinaten für die Fischaugen-Verzerrung berechnet. Hierbei ist  $D(max_x)$  die Breite der Sicht und  $D(max_y)$  ist die Höhe der Sicht. Mit den Variablen  $D(norm_x)$  und  $D(norm_y)$  wird der Abstand in horizontaler und vertikaler Richtung von dem Fokuspunkt festgelegt. Des Weiteren bezeichnen die Variablen  $P(focus_x)$  und  $P(focus_y)$  die Koordinaten des Fokuspunkts. Zudem wird für die Berechnung die Hilfsgleichung  $G$  verwendet, wobei in dieser Gleichung mit der Variable  $d$  der Grad der Verzerrung festgelegt wird [Sarkar92].

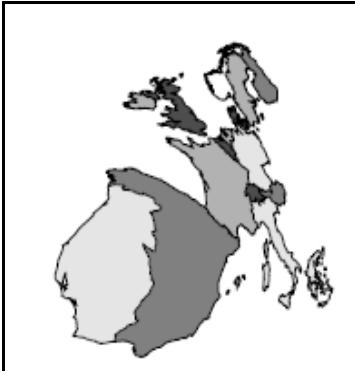


Abbildung 2.12 Kartographische Darstellung Fischaugenlinse [Rase97]

In der Abbildung 2.12 wird ein Kartenausschnitt dargestellt, welcher mittels einer Fischaugen-Verzerrung transformiert wurde. Der Fokuspunkt befindet sich in dem Land Portugal, so dass das Land vergrößert dargestellt wird. Hierbei ermöglicht es die Fischaugenverzerrung dem Benutzer, den Bereich um den Fokuspunkt mit detaillierten Informationen zu betrachten. Weiterhin sind die Bereiche verkleinert und mit verringerten Details sichtbar, welche weiter entfernt von dem Fokuspunkt sind. Bei der Darstellung mit der Fischaugenverzerrung entfällt die Trennung zwischen Fokus- und Kontext-Region, so dass kein abrupter Übergang zwischen den Regionen notwendig ist. Einerseits bleiben die visuellen Zusammenhänge der Karte bei dieser Art der Darstellung erhalten. Andererseits werden durch die nichtlineare Verzerrung die Entferungen zwischen den einzelnen Punkten verfälscht, so dass der Betrachter die Entferungen nicht richtig abschätzen kann [Rase97]. Ein wesentlicher Nachteil ist der hohe Rechenaufwand bei einer Realisierung dieser Visualisierungstechnik. Der hohe Rechenaufwand entsteht dadurch, dass bei der Projektion für jeden Pixel die Verzerrung neu berechnet werden muss.

#### 2.5.4 Focus + Glue + Context



Abbildung 2.13 Focus + Glue + Context [Yamamoto10]

Yamato, Hukuhara und Takahashi entwarfen eine Fokus-plus-Kontext Visualisierungstechnik, welche die Fokus- und Kontext-Region gleichmäßig verzerrt und einen weichen Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region gewährleistet. Neben der Fokus- und Kontext-Region wird eine dritte Region (Glue) dargestellt, welche zwischen der Fokus- und Kontext-Region positioniert ist. Ähnlich wie bei der Fischaugen-Verzerrung wird diese Region nichtlinear verzerrt. Während die Fokus-Region die detaillierten Informationen darstellt und die Kontext-Region den Betrachter dabei unterstützt, die

Zusammenhänge zwischen Fokus-Region und der Umgebung zu verstehen, ist es Aufgabe der dritten Region, die Verbindungen zwischen Fokus- und Kontext-Region hervorzuheben. In der Abbildung 2.13 wird die Anwendung dieser Visualisierungstechnik auf einer Karte dargestellt. Insbesondere sind hier die Verbindungen der Schienen und Strassen zwischen Fokus- und Kontext-Region erkennbar. Die Größe der einzelnen Regionen ist frei wählbar, wobei eine Vergrößerung einer Region die Verkleinerung einer anderen Region zur Folge hat. Gegenüber der Fischaugen-Verzerrung bietet diese Visualisierungstechnik den Vorteil, dass der Rechenaufwand bei einer Realisierung geringer ist und die Entfernung besser abgeschätzt werden können [Yamamoto10].

## 2.5.5 Transparenz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext

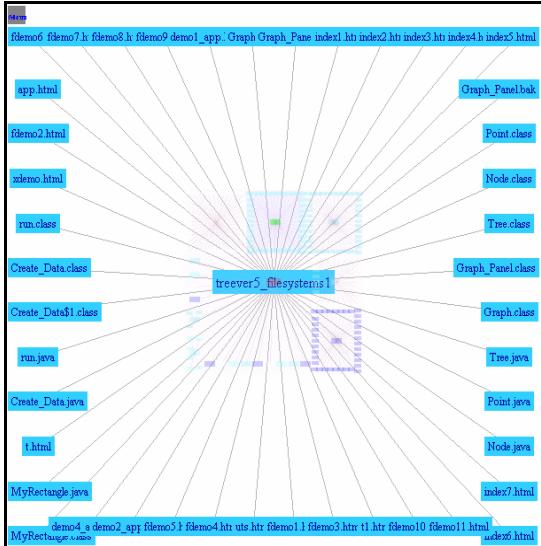


Abbildung 2.14 [Nguyen04]

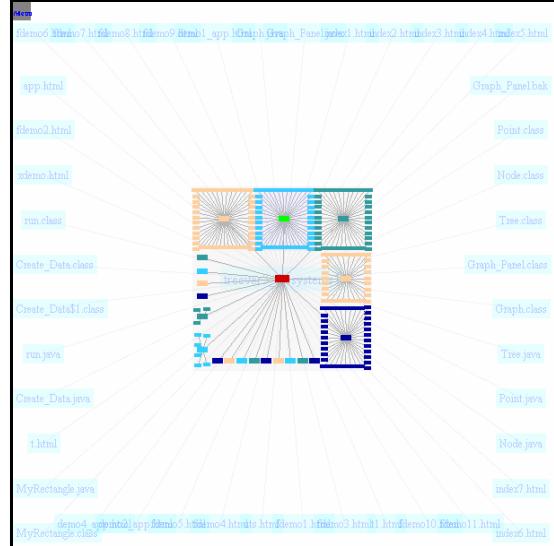


Abbildung 2.15 [Nguyen04]

In der Abbildung 2.14 und 2.15 wird eine Fokus-plus-Kontext Visualisierungstechnik dargestellt. Diese Variante verwendet Transparenz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext. Es wird eine Dateisystemhierarchie abgebildet, wobei die Kontext-Sicht mehrere Dateiebenen mit geringen Details und die Fokus-Sicht eine Dateiebene mit detaillierten Informationen darstellt. Die Fokus-Region füllt die gesamte Darstellungsfläche aus. Dabei überlappt die Kontext-Region einen Teil der Fokus-Region. Die Größe der Kontext-Region ist veränderbar. Allerdings sollte die Kontext-Region eine bestimmte Größe nicht überschreiten, um eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Elementen der Fokus- und der Kontext-Region noch zu ermöglichen. Zum Einen kann die Kontext-Region hervorgehoben werden, indem die Fokus-Region transparent und mit geringerer Helligkeit dargestellt wird (Abbildung 2.14). Zum Anderen kann die Fokus-Region hervorgehoben werden, indem die Kontext-Region transparent und mit geringerer Helligkeit dargestellt wird (Abbildung 2.15).



Abbildung 2.16 Blending Lense [Pietriga08]

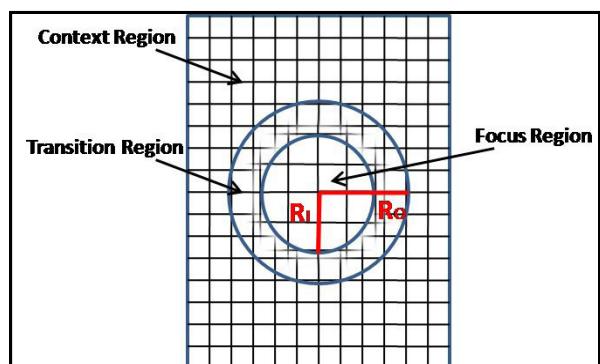


Abbildung 2.17 Blending Lense [Pattatha09]

Ebenfalls hat Pietriga mit den transparenten Linsen (engl. Blending Lenses) eine Visualisierungstechnik vorgestellt, welche Transparenz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext verwendet. Hierbei wird eine Linse über die Kontext-Region gelegt, die die Fokus-Region vergrößert und transparent darstellt. Die Fokus-Region ist ein kreisförmiger Ausschnitt, wobei dieser Ausschnitt in Abbildung 2.17 dargestellt wird. Neben der Fokus- und Kontext-Region entsteht eine dritte Region. Die Übergangsregion (engl. Transition Region) überdeckt die Kontext-Region und stellt dabei Informationen transparent aus der Fokus-Region dar. In der Abbildung 2.17 wird die Übergangsregion dargestellt. Um einen gleichmäßigen Übergang von der transparenten und vergrößerten Fokus-Region zu der Kontext-Region zu erreichen, wird die Intensität der Transparenz mit steigender Entfernung von dem Mittelpunkt der Fokus-Region sukzessive vergrößert. In der Abbildung 2.16 wird die Anwendung dieser Visualisierungstechnik auf einer kartographischen Abbildung dargestellt [Pietriga08].

Die Vorteile bei der Darstellung mit der transparenten Linse liegen in der verzerrungsfreien Darstellung der Fokus-Region und der vollständigen Ausnutzung des Darstellungsbereichs für die Anzeige der Kontext-Region. Pattatha entwickelte eine Variante der transparenten Linsen für mobile Geräte [Pattatha09]. Hierbei kann der Benutzer die transparente Linse über den gesamten Kontext-Bereich verschieben, so dass ein bestimmter Ausschnitt des Kontexts in den Fokus verschoben und vergrößert dargestellt wird. Bei Ansteuerung eines bestimmten Zielgebiets können Probleme auftreten, welche Pattha als „Hunting Effects“ bezeichnet. Gutwin hat diese Probleme im Zusammenhang mit den Fischaugenlinsen untersucht. In diesem Fall wird eine exakte Annäherung des Zielpunkts durch Verschieben der Fischaugenlinse dadurch erschwert, dass die Verzerrung eine unnatürliche Bewegung des Zielpunkts verursacht [Gutwin02]. Ähnliche Probleme treten bei der transparenten Linse auf. Um diese Probleme zu vermeiden, werden in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Verschiebung die Vergrößerung der Fokus-Region und die Intensität der Transparenz verringert.

## 2.6 Dreidimensionale Informationsvisualisierung

Die dreidimensionale Darstellung von Informationen hat sowohl Vorteile als auch Nachteile im Vergleich zu der zweidimensionalen Darstellung von Informationen. In einer Studie verglich Cockburn eine Dokumentenverwaltung mit zwei- und dreidimensionaler Darstellung. Dabei wurde festgestellt, dass die Unterschiede hinsichtlich der Effizienz nicht signifikant sind. In der Regel bevorzugten jedoch die Probanden die dreidimensionale Darstellung [Cockburn01]. Ein wesentlicher Vorteil bei der dreidimensionalen Darstellung liegt darin, dass zusätzliche Informationen dargestellt werden können. Durch die Verwendung von dreidimensionalen Objekten können mehr Daten im Vergleich zu den

zweidimensionalen Objekten auf den visuellen Strukturen abgebildet werden.

Bei einer dreidimensionalen Darstellung können folgende Probleme auftreten:

- Erhöhter Rechenaufwand
- Erhöhter kognitiver Aufwand für das Verständnis der Darstellung
- Verdeckung von Objekten
- Falsche Wahrnehmung der räumlichen Tiefe
- Fehlende räumliche Wahrnehmung der Objekte

Eine dreidimensionale Darstellung ist in der Regel mit einem erhöhten Rechenaufwand verbunden. Diesem Umstand kommt jedoch eine geringere Bedeutung bei dem aktuellen Stand der Technik zu, da viele Desktop- und mobile Systeme über 3D Beschleuniger verfügen. Des Weiteren ist ein erhöhter kognitiver Aufwand nötig, um eine dreidimensionale Darstellung zu verstehen [Chen06].

Die Verdeckung von Objekten im Hintergrund durch Objekte, welche sich näher am Blickpunkt befinden, hat zur Folge, dass dem Benutzer in der Ansicht Informationen verloren gehen. Einerseits kann dieser Nachteil kompensiert werden, indem die dreidimensionale Darstellung verschoben oder gedreht werden kann. Andererseits kann dieser Nachteil kompensiert werden, indem Objekte transparent dargestellt werden. Die Visualisierungstechniken Cone Tree [Roberston91] und Information Cube [Rekimoto93], welche im Folgenden beschrieben werden, zeigen diese Lösungen auf. Die Darstellung des Mapcubes kann verschoben (vergl. Kapitel 5.2.6.2) und gedreht (vergl. Kapitel 5.3.2) werden und es werden Objekte transparent dargestellt (vergl. Kapitel 5.2.5.3).

Eine falsche Wahrnehmung der räumlichen Tiefe führt dazu, dass die Positionen und die Größen der Objekte falsch wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe ist abhängig von der Verwendung von Tiefenhinweisen (engl. depth cues). Hierzu ist ein Tiefenhinweis die Verdeckung von Objekten, wobei Objekte im Vordergrund Objekte im Hintergrund überdecken. Ein weiterer Tiefenhinweis ist die Verwendung von Unschärfe. Dabei erscheinen dem Betrachter weiter entfernte Objekte unschärfer als näher liegende. Die Bewegungsparallaxe (engl motion parallax) ist ein Tiefenhinweis, welcher abhängig von der Bewegung der Objekte oder des Betrachters ist. So bewegen sich weiter entfernte Objekte langsamer als näher liegende [Ware04].

Die fehlende räumliche Wahrnehmung der Objekte hat zur Folge, dass der Betrachter die dreidimensionale Darstellung nicht richtig versteht. Die fehlende räumliche Wahrnehmung kann durch die Verwendung von Hinweisen wie Schatten und Schattierungsverfahren verbessert werden. Die Verwendung von Schatten hilft insbesondere dabei, die Höhe eines schwebenden Objekts abzuschätzen. Durch die Verwendung von Schattierungsverfahren werden in Abhängigkeit von der Lichtquelle Farbverläufe in den Flächen der Objekte abgebildet, so dass die Objekte dem Betrachter nicht mehr flach erscheinen [Ware04]. Die Mapcube Software verwendet Schattierungen, um die räumliche Wahrnehmung zu verbessern. Es wird jedoch aufgrund der fehlenden schwebenden Objekte auf die Verwendung von Schatten verzichtet.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden drei Beispiele für die dreidimensionale Informationsvisualisierung beschrieben.

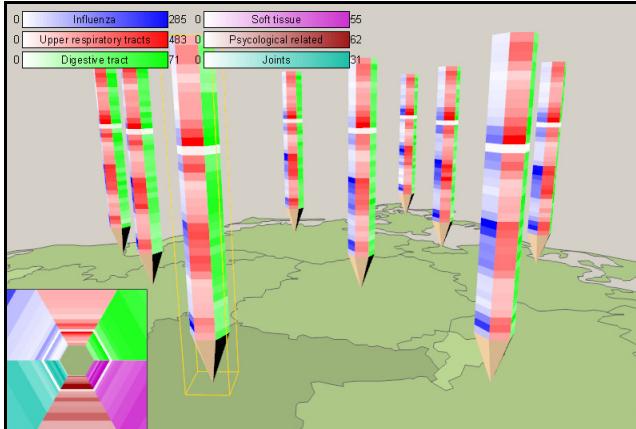


Abbildung 2.18 Darstellung von 3D Objekten auf einer Karte [Tominski05]

In der Abbildung 2.18 wird dargestellt, wie dreidimensionale Objekte in Form eines Stiftes auf eine dreidimensionale Karte platziert werden. Die dreidimensionalen Stifte verfügen über mehrere Flächen. Auf den Flächen werden Informationen durch farbliche Kodierungen eingefügt. Auf diese Weise können umfangreiche Informationen zusammen mit ihrem geographischen Bezug dargestellt werden [Tominski05].

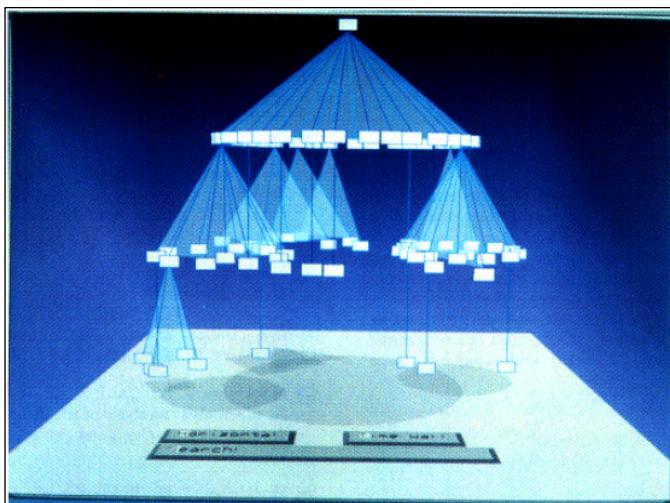


Abbildung 2.19 Cone Tree [Robertson91]

Grundsätzlich lässt sich mit einer dreidimensionalen Abbildung der verfügbare Darstellungsbereich im Vergleich zu einer zweidimensionalen Abbildung effektiver nutzen. Aus diesem Grund hat Robertson die Visualierungstechnik „Cone Tree“ entworfen, um aufwendige Baumstrukturen abzubilden. In der Abbildung 2.19 wird ein Cone Tree dargestellt, der in einen dreidimensionalen Raum platziert wurde. Hierbei werden die einzelnen Knoten des Baums in Kartenform dargestellt. An der Oberseite des Raums wird die Wurzel des Baums platziert. Die Kinder der Wurzel werden unterhalb der Wurzel so angeordnet, dass die Wurzel zusammen mit den Kindern eine Kegelform bildet. Ebenfalls bilden die Kinder zusammen mit ihren Kindern eine Kegelform. Die einzelnen Kegel werden transparent dargestellt, so dass verdeckte Kegel erkennbar bleiben. Der Benutzer kann einzelne Knoten auswählen. Dabei wird der ganze Baum mittels einer Animation so gedreht, dass der ausgewählte Knoten in den Vordergrund verschoben wird. Die Animation trägt zur kognitiven Entlastung des Benutzers bei. Bei einer Drehung ohne Animation würde der Benutzer längere Zeit benötigen, die veränderte Position des Baums zu verstehen. Des Weiteren werden Schatten an der Unterseite des Raums dargestellt, die ebenfalls zur kognitiven Entlastung des Betrachters beitragen. Kurz zusammengefasst ermöglicht diese Darstellung aufwendige Baumstrukturen darzustellen, die bei einer

zweidimensionalen Darstellung nicht abgebildet werden können [Roberston91].

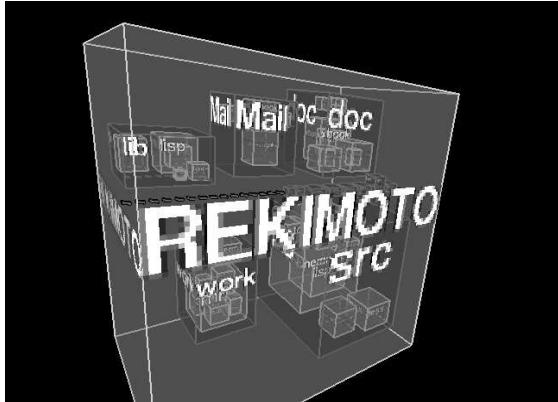


Abbildung 2.20 [Rekimoto93]

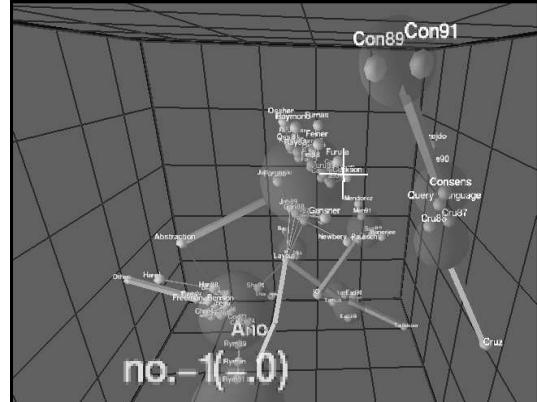


Abbildung 2.21 [Rekimoto93]

Einen anderen Ansatz zur Darstellung von Baumstrukturen verwendet die Visualisierungstechnik „Information Cube“. Neben der dreidimensionalen Darstellung ist die Verwendung von Transparenz von besonderer Bedeutung. In der Abbildung 2.20 wird dargestellt, wie mittels der Visualisierungstechnik „Information Cube“ eine Ordnerstruktur abgebildet wird. Einzelne Ordner werden in Form von dreidimensionalen Würfeln dargestellt, welche transparent sind. Für das Verständnis der Darstellung ist insbesondere die vertraute Form des Würfels von Vorteil, der die Funktion eines Behälters übernimmt. Mittels der transparenten Darstellung kann der Betrachter in die Würfel hineinsehen und somit verschachtelte Würfel erkennen, welche Unterordner darstellen. In Abhängigkeit von der Schachtelungstiefe werden Objekte durch Addition der Transparenz sukzessive unscheinbarer, womit eine Reduzierung der Komplexität der Darstellung erreicht wird. Zudem kann ein Würfel auch beliebige andere dreidimensionale Objekte enthalten. In der Abbildung 2.21 wird dargestellt, wie ein dreidimensionaler Graph innerhalb eines Würfels abgebildet wird. Hierbei kann der Benutzer in den Würfel hineinsehen und den Graphen erkennen, ohne dabei den Überblick auf die Baumstruktur zu verlieren [Rekimoto93].

## **3 Anforderungsanalyse**

Die Anforderungsanalyse gliedert sich in sechs Teile. Zuerst wird in Kapitel 3.1 die Zielbestimmung für die Mapcube-Software und des Evaluation Framework der Mapcube-Software festgelegt. Im folgenden Kapitel 3.2 „Einsatzbereich“ wird festgelegt, wie und wo die Software eingesetzt wird. In dem Kapitel 3.3 werden die Produktfunktionen beschrieben. Diese setzen sich zusammen aus den Benutzerfunktionen und Anzeigefunktionen. In dem vierten Kapitel werden Gruppen von geographischen Informationsobjekten festgelegt. Diese geographischen Informationsobjekte werden in der Anzeige des Mapcube dargestellt. Das fünfte Kapitel legt die Qualitätsanforderungen fest und das letzte Kapitel beschreibt die Technologien, die für die Entwicklung des Mapcube eingesetzt werden.

### **3.1 Zielbestimmung**

#### **3.1.1 Zielbestimmung der Mapcube-Software**

Die Mapcube-Software ist eine Fokus+Kontext Informationsvisualisierungstechnik, die für Geräte mit beschränkter Darstellungsfläche bestimmt ist. Grundsätzlich sind die Darstellungsmöglichkeiten auf mobilen Geräten begrenzt, weil der Anzeigebereich durch die kleine Displaygrösse beschränkt ist. Deshalb bietet die Anwendung dem Benutzer eine Kartendarstellung, die für den kleinen Anzeigebereich optimiert ist. Durch diese Form der Darstellung soll es dem Benutzer ermöglicht werden, bestimmte Aufgaben trotz des kleinen Anzeigebereichs effektiver und effizienter zu lösen. Der Benutzer kann durch Umschaltung von einer Fokus- in eine Fokus+Kontext Darstellung Informationen über die Umgebung einsehen. Dabei wird der Detailgrad der Fokus-Darstellung nicht verringert und die Darstellung der Fokus-Region wird nicht verzerrt. Dadurch wird bei der Umschaltung der Ansicht ein nahtloser Übergang von der Fokus- zu der Fokus+Kontext-Darstellung ermöglicht [Werkmann09].

#### **3.1.2 Zielbestimmung des Evaluation Framework**

Das Ziel des Evaluation Framework ist es, die Besonderheiten der Mapcube-Software zu untersuchen. Dabei soll insbesondere untersucht werden, wie bestimmte Aufgaben durch die spezielle Darstellung im Vergleich zu alternativer Software effizienter gelöst werden können. Um eine Beurteilung vornehmen zu können, müssen Messungen durchgeführt werden. Hierzu muss festgelegt werden, welche Aspekte der Benutzbarkeit gemessen werden [Tulis08]. Anschließend werden Benutzertests angelegt, die bestimmte Aspekte der Benutzbarkeit anhand von Benutzereingaben messen. Bei der Analyse der Messdaten wird dann eine Beurteilung durchgeführt und es werden bei der Beurteilung die Faktoren Effektivität und Effizienz berücksichtigt.

### **3.2 Mapcube Einsatzbereich**

Die Zielgruppen für die Mapcube Software sind Benutzer von mobilen Geräten wie zum Beispiel Handys und Handhelds, die ausreichend leistungsfähig für die Mapcube Software sind und die 3D Schnittstelle OpenGL unterstützen. Die Software soll insbesondere den Benutzer bei der Lösung von Aufgaben unterstützen, die sich im mobilen Umfeld ergeben. Das betrifft Aufgaben wie zum Beispiel Routenplanung, Auffinden bestimmter Gebäude oder die Orientierung in unbekannter Umgebung. Da im Rahmen dieser Arbeit nur ein Prototyp, der zur Erprobung von Eigenschaften dient, entwickelt werden soll, wird eine Anwendung entwickelt, die mit einem Webbrowser aufgerufen werden kann. Diese Art der

Anwendung hat den Vorteil, dass eine Weitergabe der Software durch Bekanntgabe einer Adresse im Internet ( URL ) möglich ist und aufwendige Installationen entfallen. Bei der Realisierung soll jedoch weiterhin berücksichtigt werden, daß die Software ursprünglich für mobile Geräte vorgesehen ist.

### **3.3 Mapcube Visualisierungstechnik**

#### **3.3.1 Umschalten der Ansicht**

Die Mapcube-Software verfügt über zwei Varianten der Darstellung. Der Benutzer kann in Abhängigkeit von dem ausgewählten Anwendungsfall zwischen den zwei Darstellungsvarianten manuell wechseln. In bestimmten Anwendungsfällen wird dagegen die Umschaltung automatisch von der Software vorgenommen und der Benutzer kann die Umschaltung nicht manuell vornehmen. Hierbei sind asynchrone Ereignisse von Bedeutung. Diese Ereignisse können bei der Durchführung einer Aufgabe auftreten, wenn der Benutzer sich einem Ort von Interesse (engl. Point Of Interest) annähert [Werkmann09].

#### **3.3.2 Darstellung der Kartenflächen**

Die Anwendung verfügt in der Anzeige über zwei verschiedene Varianten der Kartendarstellung. In der ersten Variante wird dem Benutzer ein rechteckiger Kartenausschnitt angezeigt. In der zweiten Variante ist der rechteckige Kartenausschnitt transparent und es sind hinter der transparenten Fläche vier umliegende Kartenflächen sichtbar. Hierzu beschreibt Werkmann, wie die geographischen Informationen in der Anzeige dargestellt werden.

*„With the MapCube we start from the premise that the conventional geographic map rendering as focus view, occupying the complete screen real estate, is the desired view in many situations, in particular while the user is performing a task. The MapCube technique provides a way to seamlessly transition between focus only and focus+context view without changing the visual transfer function used to embed the focused geographical information space into the 2D plane of the screen, i.e. without introducing geometrical distortions that might undermine development of a stable mental model [4]. As depicted in Figure 7, the context information space is mapped into the screen area by means of a perspective visual transfer function, mapping the respective areas onto the inner faces of a cube in three dimensions that are visible through the top most face, the focus area.“*

[Werkmann09]

Bei der ersten Variante der Anzeige wird eine Kartenfläche angezeigt, die den kompletten Bereich der Anzeige auf dem Bildschirm ausfüllt (Abbildung 3.1). Diese Kartenfläche wird unverzerrt dargestellt und agiert als Fokus-Region der Anzeige.

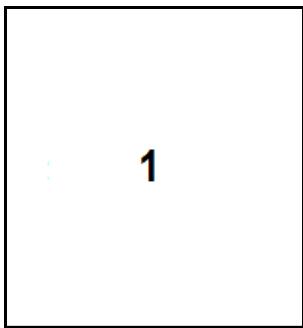


Abbildung 3.1

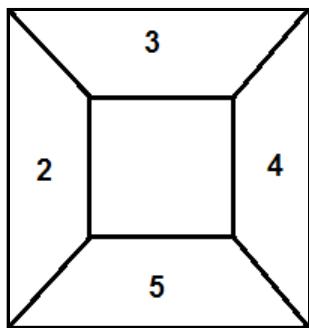


Abbildung 3.2

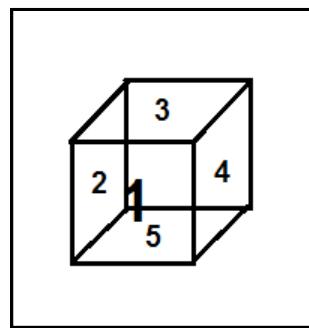


Abbildung 3.3

Bei der zweiten Variante der Darstellung ist die Kartenfläche in der Fokus-Region transparent. Unterhalb der transparenten Kartenfläche werden vier Kartenflächen dargestellt. Dabei werden die vier Kartenfläche mittels einer perspektivischen visuellen Transferfunktion auf die Flächen 2 bis 5 in der Anzeige abgebildet (Abbildung 3.2).

Die Flächen 2 bis 5 agieren als Kontext-Region der Anzeige. Ein Unterschied der Darstellung der Fokus-Region gegenüber der Darstellung der Kontext-Region ist die verzerrte Darstellung der Kartenflächen. Die zweite Variante der Darstellung entspricht der Betrachtung eines Würfels, wo die Frontfläche dem Betrachter zugewandt und transparent ist (Abbildung 3.3). Dabei kann der Betrachter durch die transparente Frontfläche in den Würfel hineinsehen und die Flächen 2 bis 5 erkennen. Hierbei kann eine Würfelfläche mit einer Fläche in der Anzeige gleichgesetzt werden.

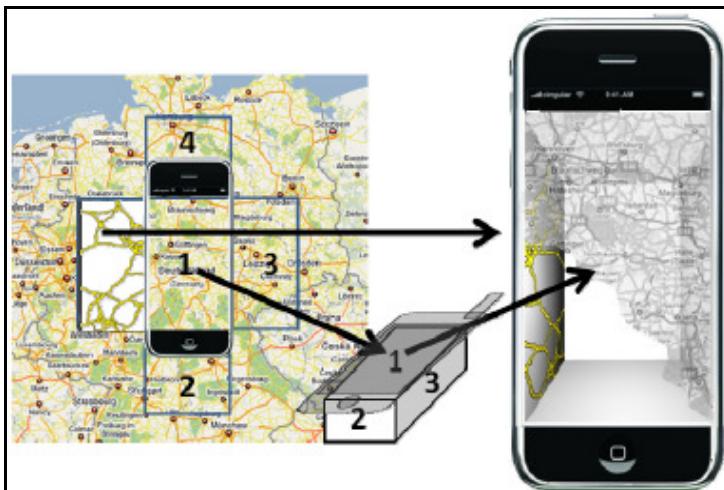


Abbildung 3.4 Mapping der Kartenflächen [Werkmann09]

In der Abbildung 3.4 wird dargestellt, wie die Teile einer Karte auf die Würfelflächen abgebildet (engl. Mapping) werden. Dazu werden fünf Regionen aus einer Karte entnommen, die sich jeweils eine Kante mit einer anderen Region teilen. Eine Ausnahme bildet die Region 1, die sich mit allen Regionen eine gemeinsame Kante teilt. Eine Region wird jeweils auf eine Fläche der Anzeige projiziert.

### 3.3.3 Darstellung von geographischen Informationsobjekten in den Kartenflächen

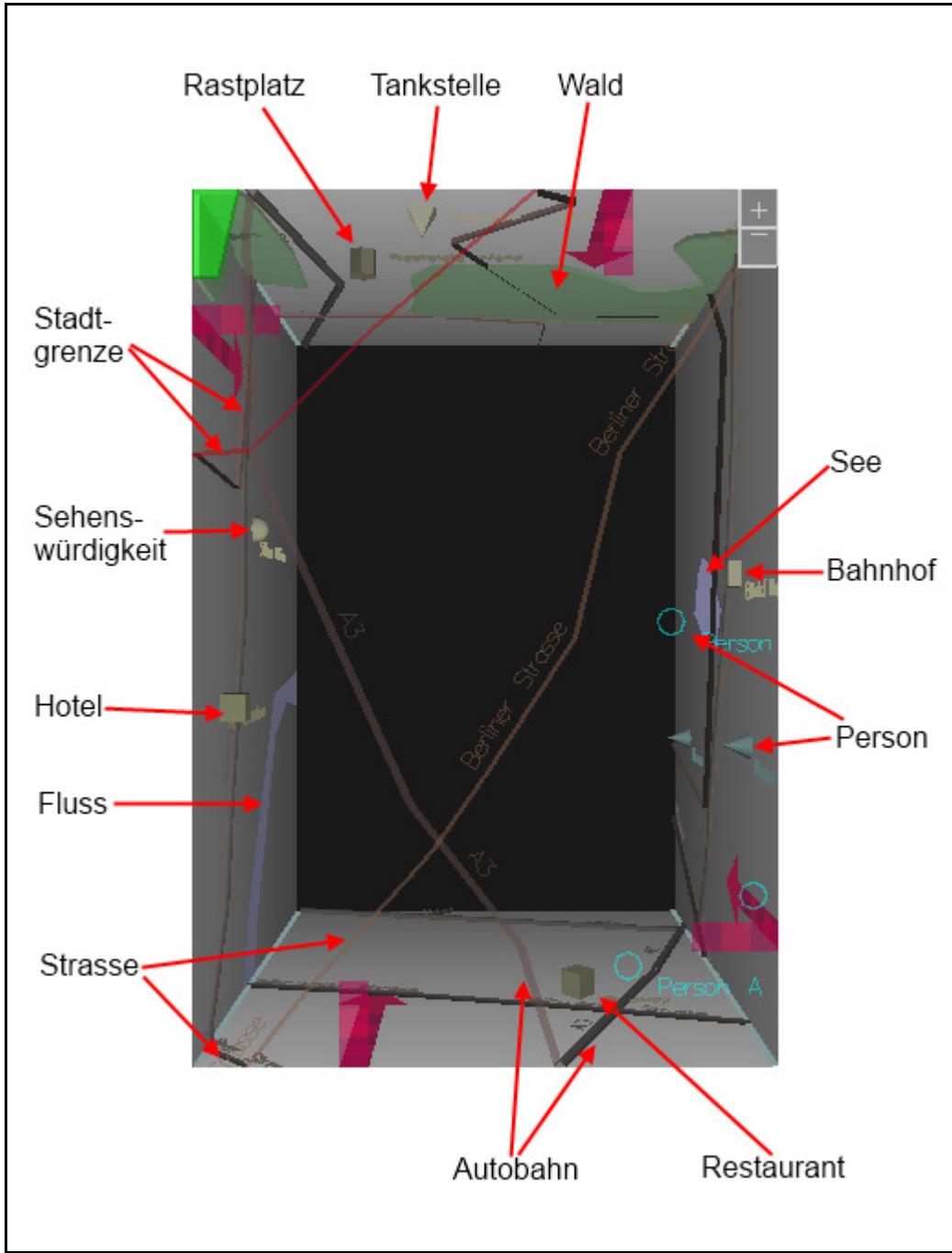


Abbildung 3.5 Darstellung von geographischen Informationsobjekten

In den Kartenflächen werden geographische Informationsobjekte abgebildet, die reale Objekte wie zum Beispiel Gebäude, Personen und Flächen darstellen. Die geographischen Informationsobjekte werden durch zweidimensionale und dreidimensionale graphische Objekte dargestellt. In der Kartenfläche, die in der Fokus-Region abgebildet wird, werden zweidimensionale graphische Objekte wie Punkte, Linien und Flächen dargestellt. In den Kartenflächen, die in der Kontext-Region abgebildet werden, neben den zweidimensionalen graphischen Objekten dreidimensionale graphische Objekte wie Würfel, Zylinder, Kugeln und komplexere dreidimensionale Formen dargestellt. In der Abbildung 3.5 wird dargestellt, wie die geographischen Objekte mit dem Mapcube dargestellt werden. Die graphischen Objekte sind durch verschiedene Attribute veränderbar. Die veränderbaren Attribute setzen sich aus den Eigenschaften

Farbe und den Abmessungen in Breite, Höhe und Tiefe zusammen.

### 3.3.4 Darstellung von Textinformationen, Benutzerhinweise und Detailinformationen

Durch Verwendung von Textinformationen sollen verschiedene Ziele verfolgt werden. Die Textinformationen bezeichnen geographische Informationsobjekte, die Textinformationen stellen Detailinformation dar, und die Textinformationen geben Hinweise zur Bedienung der Software.

### 3.3.5 Einsatz von Perception Cues

Um Probleme bei der Wahrnehmung der 3D-Darstellung zu kompensieren, müssen Hilfsmittel (Perception Cues) gefunden werden, welche die Wahrnehmung verbessern. Bei der Darstellung der Flächen in der Kontext-Region können folgende Probleme auftreten.

- Falsche Raumwahrnehmung / Tiefenwahrnehmung
- Falsche Wahrnehmung der Übergänge von der Fokus-Region in die Kontext-Region

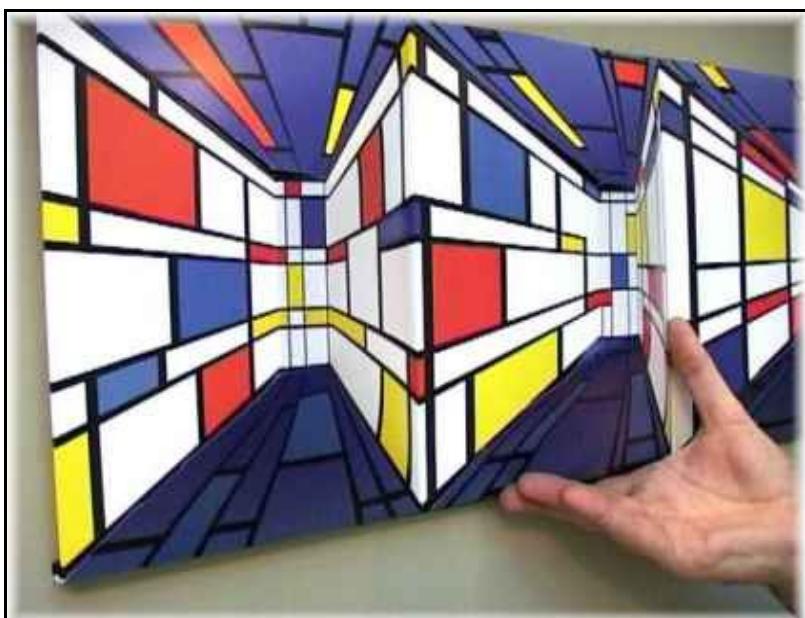


Abbildung 3.6 Perception Cues (<http://www.eruptingmind.com/depth-perception-cues>)

In der Abbildung 3.6 wird ein Beispiel dargestellt, wie mittels Hinweisen (engl. cues) die fehlende Raumwahrnehmung bei der Darstellung von zweidimensionalen Bildern aufgehoben werden kann.

### 3.3.6 Panning mit der Mapcube-Visualisierungstechnik

Der Benutzer soll den sichtbaren Kartenausschnitt verschieben können. Durch horizontale oder vertikale Verschiebungen werden Kartenflächen, die bisher unsichtbar waren, in den sichtbaren Bereich verschoben und es werden andere Kartenflächen, die bisher sichtbar waren, aus dem sichtbaren Bereich heraus verschoben. In der transparenten Darstellung, wo der Fokus- und Kontext-Bereich sichtbar sind, ist das Verhalten des Panning geringfügig unterschiedlich. Hierbei werden bisher unsichtbare Kartenflächen in den Kontext Bereich verschoben und Kartenflächen von dem Kontext-Bereich in den Fokus-

Bereich verschoben. Zudem werden Kartenflächen von dem Fokus-Bereich in den Kontext-Bereich und von dem Kontext-Bereich in den nicht mehr sichtbaren Bereich verschoben.

### **3.3.7 Zooming mit der Mapcube-Visualisierungstechnik**

Der Benutzer kann den Kartenausschnitt heranzoomen und herauszoomen. Dabei werden zwei Varianten des Zoomens angewandt. Zum Einen wird ein geometrisches Zoomen angewandt. Hierbei werden Kartenfläche und geographische Informationsobjekte in Abhängigkeit von der Zoomstufe um einen bestimmten Prozentsatz verkleinert oder vergrößert. Zum Anderen wird ein semantisches Zoomen angewandt. Dabei werden geographische Informationsobjekte in Abhängigkeit von der Zoomstufe ein- oder ausgeblendet. Es wird eine maximale und minimale Zoomstufe festgelegt. Das geometrische und semantische Zoomen wird im selben Maße auf die Flächen in der Kontext- und Fokus-Region angewandt.

## **3.4 Geographischen Informationsobjekte**

Die im Kapitel 3.2.2 erwähnten geographischen Informationsobjekte werden in diesem Kapitel anhand ihrer spezifischen Eigenschaften gruppiert und kurz beschrieben. Es werden Beispiele zu den jeweiligen Gruppen aufgeführt.

### **3.4.1 Statische Objekte**

Statische Objekte haben eine feste Position. Das sind zum Beispiel Gebäude (Restaurants, Einkaufscenter, Tankstellen, Sehenswürdigkeiten, Museen, ...), Verkehrsnetze (Straßen, Autobahnen) und Bushaltestellen und (U-) Bahnhaltestellen.

### **3.4.2 Statische Bereiche und Flächen**

Statische Bereiche und Flächen haben eine feste Position und Form. Das sind zum Beispiel Städte, Gefahrenzonen, historische Stätten und Strände.

## **3.5 Nicht-funktionale Anforderungen**

Eine Qualitätsanforderung soll bei der Entwicklung des Mapcube berücksichtigt werden. Die Benutzerinteraktionen sollen nicht durch Nachladen von Kartenteilen und Informationsobjekten gestört werden.

## **3.6 Realisierung**

Für die Entwicklung der Software wird die Programmiersprache Java verwendet. Zudem wird Java-OpenGL eingesetzt für die Darstellung. Bei dem Einsatz von OpenGL soll berücksichtigt werden, daß die Software portierbar auf mobile Geräte bleibt und deshalb sollen hier die Spezifikationen von OpenGL ES beachtet werden. Die Software wurde als Java-Applet mit Hilfe des Swing Framework entwickelt.

## 4. Anwendungsfälle für den Mapcube

### 4.1 Einleitung

Das Kapitel „Anwendungsfälle für den Mapcube“ befasst sich mit der Aufstellung von Anwendungsfällen, die die Besonderheiten der Mapcube-Kartendarstellung nutzen. Diese Anwendungsfälle sollen insbesondere Anwendungen aufzeigen, die bei der Evaluation untersucht werden können. Im Zusammenhang mit der Aufstellung der Anwendungsfälle werden zuerst die Grundlagen vorgestellt, die für die Erstellung der Anwendungsfälle notwendig sind. Diese Grundlagen setzen sich zusammen aus den Themen „Location Based Service“ [Steiniger06], „reaktive und proaktive Dienste“ [Steiniger06], „Kontext“ [Dey99] und „Benutzeraktionen“ [Reichenbacher04] zusammen.

### 4.2 Grundlagen für die Aufstellung der Anwendungsfälle

#### 4.2.1 Kontext

In der Publikation [Dey99] wird für den Begriff Kontext eine Definition vorgegeben.

*„Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves.“*

In dieser Definition ist der Kontext die Menge der Informationen (Kontextinformationen), die die Situation einer Entität beschreibt. Im konkreten Fall der mobilen Kartographie lässt sich die Entität gleichsetzen mit dem Anwender der mobilen Kartographie und die Kontextinformationen beschreiben die Benutzungssituation der Anwender. Nivala und Sarjakovski beschreiben verschiedene Kategorien von Kontextinformationen, die im Zusammenhang mit mobiler Kartographie relevant sind [Nivala03]. Einige dieser Kategorien sind bei der Erstellung der Anwendungsfälle von Bedeutung:

- Position
- Zeit
- Orientierung
- Navigationsverlauf
- Verwendungszweck

Der Kontext Position ist gekennzeichnet durch die aktuelle Position des Benutzers. In Abhängigkeit von der Position gestaltet sich die Umgebung des Benutzers. Je nach Position ergeben sich unterschiedliche Umgebungen und damit variieren die Objekte, die sich in der Nähe zur Position befinden. Der Kontext Zeit ergibt sich durch den Zeitpunkt der Nutzung. Je nach Zeitpunkt sind nur bestimmte Objekte in der Umgebung des Benutzers verfügbar. Zum Beispiel ist ein Geschäft nur zu bestimmten Zeitpunkten geöffnet. Der Kontext Orientierung ist gekennzeichnet durch die Bewegungsrichtung des Benutzers. Weiterhin ergibt sich der Kontext Navigationsverlauf durch den bereits zurückgelegten Teil einer Route. Der Kontext Verwendungszweck setzt sich aus den Zielen des Benutzers zusammen. Die Ziele werden in Kapitel 4.2.4 genauer beschrieben.

#### 4.2.2 Location Based Service

Location Based Services sind ortsbezogene Dienste, die bezogen auf die Position des Benutzers Informationen zur Verfügung stellen. Diese ortsbezogenen Dienste werden bei der Verwendung von Kartographie Software auf mobilen Geräten zur Verfügung gestellt. Dabei kann die Positionsbestimmung automatisch durch ein Global Positioning System oder durch manuelle Eingabe des Benutzer vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung der Position werden den Benutzern Dienste und Informationen zu den Objekten angeboten, die sich in der näheren Umgebung befinden. Bei den Diensten wird zwischen den reaktiven und den proaktiven Diensten unterschieden, die im folgenden Kapitel beschrieben werden [Steiniger06] .

#### **4.2.3 Reaktive und proaktive Dienste (engl. Push and Pull Services)**

Reaktive Dienste werden durch Anforderung des Benutzers ausgelöst. Ein möglicher reaktiver Dienst ist die Suche nach der nächstgelegen Bushaltestelle. Ein weiterer möglicher Dienst ist die angeforderte Anzeige von in der Nähe befindlichen Freunden. Proaktive Dienste werden dagegen ohne Anfrage des Benutzers aktiviert. Diese werden aktiv, wenn ein bestimmtes Ereignis eintritt. Das Ereignis kann zum Beispiel das Betreten einer bestimmten Zone oder das Eintreten eines bestimmten Zeitpunkts sein[Steiniger06] .

#### **4.2.4 Benutzeraktionen (engl. User Actions)**

Reichenbacher konnte fünf verschiedene Aktionen identifizieren, die ein Benutzer in der Regel in mobilen Situationen bei einer kartographischen Anwendung ausführt [Reichenbacher04]. Hierbei sind folgende Aktionen möglich:

- Ortsbestimmung und Lokalisierung (engl. orientation and localisation)
- Navigation (engl. navigation)
- Suche (engl. search)
- Identifizierung (engl. identification)
- Überprüfen (engl. checking)



Abbildung 4.1 Aktion Ortsbestimmung [Reichenbacher04]

Die Ziele der Ortsbestimmung und Lokalisierung sind das Auffinden der eigenen Position und die Ermittlung, wie die eigene Position in Beziehung zu den Positionen der umliegenden Objekte steht. In der Abbildung 4.1 wird abgebildet, wie eine mobile kartographische Anwendung die Position des Benutzers darstellt. Hierbei wird die Position durch einen roten Punkt markiert. Weiterhin kann der Benutzer erkennen, wie die umliegenden Objekte in Beziehung zu seiner eigenen Position stehen. Die umliegenden Objekte werden durch ein „M“ markiert [Reichenbacher04].

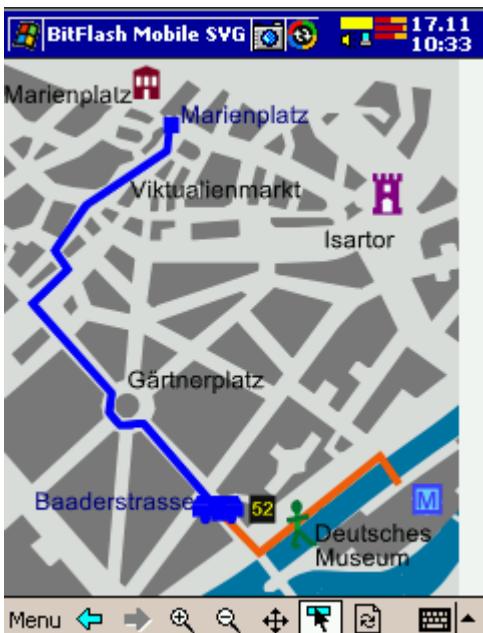


Abbildung 4.2 Aktion Navigation [Reichenbacher04]

Das Ziel der Navigation ist es, eine Route von einem Ausgangspunkt zu einem Zielpunkt zu finden. In der Abbildung 4.2 wird dargestellt, wie eine mobile kartographische Anwendung den Routenverlauf darstellt [Reichenbacher04].

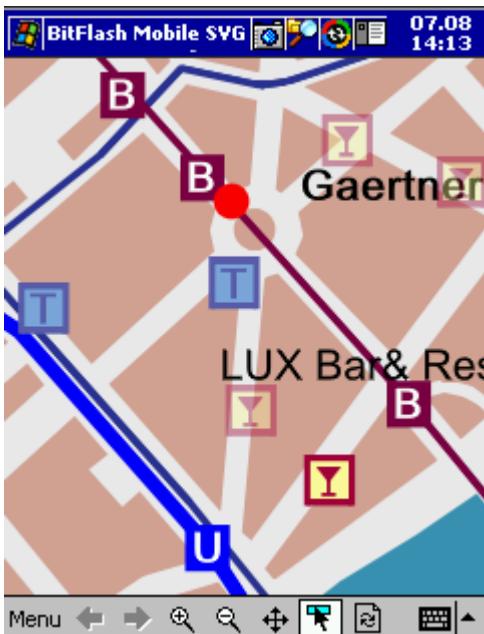


Abbildung 4.3 Aktion Suche  
[Reichenbacher04]

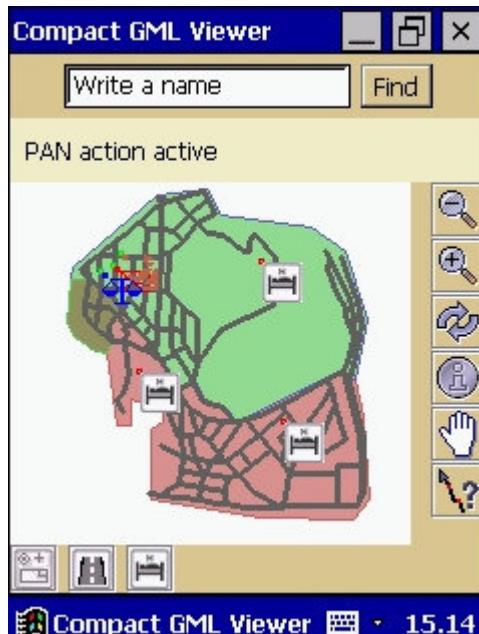


Abbildung 4.4 Eingabe Suchtext  
[Piras04]

Bei der Suche wird das Ziel verfolgt, ein Objekt mit bestimmten Eigenschaften oder eine Gruppe von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften aufzufinden. Die Suchparameter können von dem Benutzer über die graphische Benutzeroberfläche eingegeben werden. In der Abbildung 4.3 wird abgebildet, wie eine mobile kartographische Anwendung die Ergebnisse einer Suche darstellt. Des Weiteren wird in der Abbildung 4.4 dargestellt, wie ein Suchtext in eine mobile kartographische Anwendung eingegeben wird.



Abbildung 4.5 Aktion Identifizierung [Reichenbacher04]

Das Ziel der Identifizierung ist die Ermittlung der Eigenschaften und Merkmale eines Objekts. Dabei sind die Eigenschaften und Merkmale zum Beispiel Bezeichnungen, Beschreibungen und Bilder [Steiniger06]. In der Abbildung wird abgebildet, wie eine mobile kartographische Anwendung die Eigenschaften, Merkmale und ein Bild des Objekts darstellt [Reichenbacher04].



Abbildung 4.6 Aktion Überprüfung [Reichenbacher04]

Bei der Überprüfung ist der Benutzer an dem Auffinden bestimmter Ereignisse interessiert. Zudem ist der Benutzer an dem Zustand bestimmter Objekte interessiert. In der Abbildung 4.6 zeigt eine mobile kartographische Anwendung verschiedene Bürohochhäuser an. Dabei werden Bürohochhäuser mit vielen leerstehenden Büros transparent und Bürohochhäuser ohne leerstehende Büros nicht transparent dargestellt [Reichenbacher04].

### 4.3 Aufstellungen der Anwendungsfälle

Im Folgenden werden Anwendungsfälle beschrieben, wobei jeder Anwendungsfall aufzeigt, wie der Benutzer eine bestimmte Aufgabe verfolgt. Daher bilden die vier Aufgaben, die in Kapitel 4.2.3 beschrieben wurden, teilweise die Grundlage für die Erstellung der Anwendungsfälle. Daraus ergeben sich die Anwendungsfälle „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ und „Navigation“. Ebenfalls werden zum Teil die proaktiven Dienste berücksichtigt. Durch die spezielle Darstellung des Mapcubes soll es möglich sein, asynchrone Ereignisse ohne Unterbrechung des aktuellen Vorgangs des Benutzers darzustellen. Deshalb werden die proaktiven Dienste bei der Aufstellung des Anwendungsfalls „Navigation“ berücksichtigt.

#### 4.3.1 Anwendungsfall Navigation

##### 4.3.1.1 Ziel

Das Ziel der Navigation ist die Wegfindung von einem Ausgangspunkt zu einem Zielpunkt. Ein weiteres Ziel der Navigation ist es, dem Benutzer die aktuelle Position auf der Route anzuzeigen. Hierbei wird unter Berücksichtigung des Kontexts „Navigationsverlauf“ den zurückgelegten Teil der Route und den noch anstehenden Teil der Route gekennzeichnet.

##### 4.3.1.2 Zielgruppen

Das können zum Beispiel Touristen sein, die eine Reiseroute in unbekannte Umgebung planen.

### **4.3.1.3 Szenario**

Der Anwendungsfall beginnt mit der Planung einer Reiseroute, indem der Benutzer seine Aktivitäten festlegt. Hierbei können sich die Aktivitäten beispielsweise im Einzelnen aus Museumsbesuchen, Shopping-Aktivitäten und Restaurantbesuchen zusammensetzen. Nachdem die Aktivitäten festgelegt wurden, schlägt das System eine Route vor. Des Weiteren wird der Nutzer mit Hilfe der Location Based Services auf interessante Punkte (engl. point of interest) in der Umgebung aufmerksam gemacht, die in Zusammenhang mit seinen Aktivitäten stehen [Nie09]. Falls sich der Benutzer einem interessanten Punkt annähert, wird automatisch in die transparente Ansicht umgeschaltet. Der interessante Punkt wird sichtbar in der Kontext-Region der Anzeige. Dabei werden Details sichtbar, die Information wie Lage, Entfernung und Name des interessanten Punkts beschreiben und andeuten. Weiterhin bleibt die Ansicht der Route in Maßstab und Detail unverändert, so dass der Benutzer seine eigentliche Aufgabe der Navigation fortsetzen kann. Hierbei wird ein proaktiver Dienst umgesetzt, welcher in Kapitel 4.2.2 beschrieben wurde.

### **4.3.2 Anwendungsfall Ortsbestimmung und Lokalisierung im Zusammenhang mit der Navigation**

#### **4.3.2.1 Ziel**

Ein Ziel, das für den Benutzer bei der Ortsbestimmung und Lokalisierung von besonderem Interesse ist, betrifft das Erkennen, wie die eigene Position in Beziehung zu anderen Objekten steht. Insbesondere sind solche Objekte relevant, die in Zusammenhang mit der Durchführung der Aufgabe stehen. Oftmals können diese Objekte nicht erkannt werden, da diese Objekte sich außerhalb des sichtbaren Bereichs befinden. Anhand von bestimmten Visualisierungstechniken können die Objekte in der Offscreen-Region sichtbar gemacht werden.

Die Objekte in der Offscreen-Region können mit Hilfe von unterschiedlichen Visualisierungstechniken dargestellt werden. Das Zooming erlaubt es, den Kartenausschnitt herauszuzoomen, so dass die Objekte in der Offscreen-Region sichtbar werden. Durch das Herauszoomen entsteht ein hoher kognitiver Aufwand, um die neue Darstellung zu verstehen. Zudem sind durch die herausgezoomte Ansicht weniger Details sichtbar. Im Kontext der Navigation verändert sich die Sicht auf die Route, so dass der Benutzer seine Navigationsaufgabe nicht weiter durchführen kann. Die Überblick-plus-Detail Darstellung erlaubt es, die Objekte in der Offscreen-Region ohne Verlust der Detail-Ansicht in der Überblick-Sicht anzuzeigen. Eine Überblick-plus-Detail-Darstellung ist jedoch nicht für mobile Geräte mit geringer Darstellungsfläche geeignet, da die Überblick-Sicht einen Großteil der Detail-Sicht überdecken würde [Jones05]. Ebenfalls kann eine Halo-Visualisierungstechnik die Objekte in der Offscreen-Region ohne Verlust der Detailansicht darstellen. Die Halo-Visualisierungstechnik hat jedoch den Nachteil, dass viele Hinweise sich gegenseitig überlappen [Baudisch03]. Da mit einer Mapcube-Visualisierungstechnik diese Nachteile nicht eintreten, kann angenommen werden, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik auf mobilen Geräten mit geringer Darstellungsfläche die beste Lösung für den Anwendungsfall im Zusammenhang mit der Navigation bietet.

#### **4.3.2.1 Zielgruppe**

Die Zielgruppe setzt sich in diesem Fall aus Benutzern zusammen, die sich in unbekannter Umgebung befinden und ihre Position relativ zu den umliegenden Objekten bestimmen wollen. Das können zum Beispiel Touristen sein, die sich in einer fremden Stadt befinden

und auf der Suche nach dem nächstgelegen Hotel, Restaurant oder Bahnhof sind.

#### 4.3.2.2 Szenario

Der Benutzer verfolgt seine Position auf einem mobilen Navigationssystem, wobei seine Position besonders gekennzeichnet ist. Unter Berücksichtigung der Location Based Service wird der Benutzer auf interessante Objekte in der Umgebung durch die Anzeige eines Symbols hingewiesen. Das Symbol wird in einer Ecke der Anzeige abgebildet, wobei die Farbe des Symbols identisch mit der Farbe der interessanten Objekte ist (, um manuell oder automatisch von der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung zu wechseln

). Im Kontext der Navigation wäre auch eine Sprachausgabe und Sprachsteuerung denkbar. Dann könnte mittels eines bestimmten Kommandos in die transparente Ansicht umgeschaltet werden, um sich die interessanten Objekte anzeigen zu lassen. Die transparente Ansicht dient in diesem Anwendungsfall dazu, einen größeren Einblick in die Umgebung zu erhalten, wobei die bereits dargestellte Kartenfläche in Maßstab und Details nicht verändert wird. So kann der Benutzer seine eigentliche Aufgabe der Navigation fortsetzen und zudem ermitteln, wie die eigene Position in Beziehung zu den Positionen der umliegenden Objekte in der Offscreen-Region steht. In diesem Fall wird ein reaktiver Dienst umgesetzt, welcher in Kapitel 4.2.2 beschrieben wurde.

# 5 Konzeption und Modellierung

## 5.1 Einleitung

In den Kapiteln 5.2 und 5.3 wird die Konzeption des Mapcube-Prototyp und die Konzeption des Evaluationsframework für den Mapcube beschrieben. Der Prototyp soll dem Benutzer einen ersten Eindruck vermitteln, welche Möglichkeiten mit der neuen Visualisierungstechnik im Rahmen der mobilen Kartographie entstehen. Die implementierten Anwendungsfälle werden bestimmte Einsatzgebiete deutlich machen. Darüber hinaus werden ein Anwendungsfall und die Mapcube-Software so angepasst, dass diese für die Evaluation genutzt werden können. Für die Evaluation und Demonstration ist es nicht notwendig, die gesamte Weltkarte darzustellen. Daher wird ein Testgebiet festgelegt. Die Kartendaten des Testgebiets werden dazu benutzt, um die Karte für den Mapcube zu erstellen.

## 5.2 Konzeption der Mapcube Software

Im folgenden Kapitel wird der Prototyp des Mapcube konzipiert. Dazu wird in Kapitel 5.2.1 eine Überlegung hinsichtlich der Darstellung angestellt. In den Kapiteln 5.2.3 und 5.2.4 wird das Datenmodell für den Mapcube erstellt. Anschließend wird in Kapitel 5.2.4 beschrieben, wie die kartographische Darstellung realisiert wird. Des Weiteren werden in Kapitel 5.2.5 die sonstigen Anzeigefunktionen wie Texte und Beschriftungen, Beleuchtung und Schattierungen, Transparenz, Perception Cues und Hervorheben von Signaturen beschrieben, die für die Darstellung des Mapcubes notwendig sind. In dem letzten Kapitel 5.2.6 werden die Interaktionselemente des Mapcubes konzipiert.

### 5.2.1 Vorüberlegungen

Die Darstellungsgröße wird auf 320 x 480 Pixel festgelegt, wobei hiermit auch ein Seitenverhältnis von 2 zu 3 festgelegt wird. Diese Darstellungsgröße entspricht im Durchschnitt der Auflösung aktueller mobiler Geräte. Zudem ist es mit dieser Auflösung möglich, die Anwendung in eine Webseite zu integrieren. Karten können in Vektordarstellung oder Rasterdarstellung abgebildet werden. Bei der Vektordarstellung werden die Grundelemente Punkt, Linie und Fläche abgebildet. Bei der Rasterdarstellung werden Rasterbilder abgebildet. Die Rasterbilder setzen sich aus Pixel zusammen, die zeilen- und spaltenweise in einer Matrix angeordnet sind.



Abbildung 5.1 Rasterdarstellung

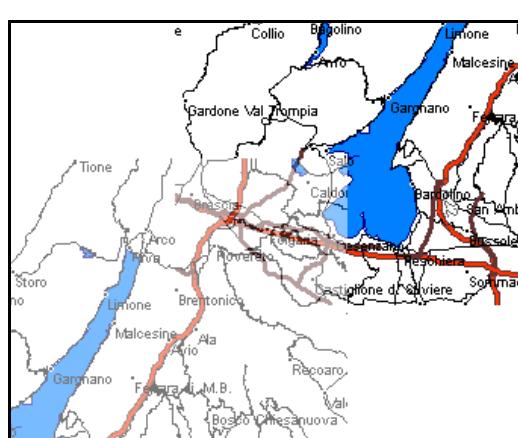


Abbildung 5.2 Vektordarstellung

In Abbildung 5.1 wird ein transparenter Kartenausschnitt in Rasterdarstellung dargestellt, der einen anderen Kartenausschnitt in Rasterdarstellung überlappt. Dagegen wird in Abbildung 5.2 ein transparenter Kartenausschnitt in Vektordarstellung dargestellt, der einen anderen Kartenausschnitt in Vektordarstellung überlappt. Bei der transparenten Überlagerung von zwei Kartenausschnitten sind Probleme bei der Wahrnehmung möglich. Wenn die überlappenden Kartenausschnitte große Ähnlichkeiten wie gleiche Farben und ähnliche Formen aufweisen, werden vermutlich die zwei verschiedenen Kartenausschnitte als ein zusammenhängender Kartenausschnitt wahrgenommen [Watanabe95]. Klar abgegrenzte Flächen und Formen verbessern die Wahrnehmung der Transparenz. Daher ist die Vektordarstellung für die Wahrnehmung der Transparenz vorteilhaft, wie es in der Abbildung 2 sichtbar ist. Wegen der Vorteile bei der transparenten Darstellung wird bei der Entwicklung des Mapcubes neben der Rasterdarstellung auch die Vektordarstellung verwendet.

## 5.2.2 Geographische Informationsobjekte

Wie in der Anforderungsanalyse beschrieben, sollen geographische Informationsobjekte reale Objekte wie zum Beispiel Gebäude, Personen und Flächen repräsentieren. Im Folgenden wird eine Datenstruktur für die geographischen Informationsobjekte festgelegt. Die Eigenschaften des geographischen Informationsobjekts setzen sich aus der räumlichen Lage (Geometrie), seiner fachlich relevanten Eigenschaften (Thematik) und seiner zeitlichen Veränderung (Dynamik) zusammen [Streit10].

Weil die Vektordarstellung verwendet wird, wird die räumliche Lage der geographischen Informationsobjekte durch Vektordaten beschrieben. Die Vektordaten setzen sich aus den Elementen Punkt, Linie und Fläche zusammen. Die Eckpunkte der Elemente werden durch geographische Koordinaten beschrieben. Hierbei ist das geographische Koordinatensystem das Bezugssystem für die geographischen Koordinaten. Mit diesem Bezugssystem kann jeder Ort der Welt durch die Angabe der Winkel Breitengrad und Längengrad beschrieben werden. Die Thematik legt die inhaltliche Bedeutung des geographischen Informationsobjekts fest. Zur Beschreibung der inhaltlichen Bedeutung werden für die Datenstruktur geeignete Attribute aufgestellt. Die Attribute setzen sich im Einzelnen aus der Bezeichnung, der Beschreibung und dem Objekttyp zusammen. Objekttypen sind zum Beispiel eine bestimmte Gruppe von Personen, Gebäuden oder Straßen. Eine Reihe von Objekttypen wurde bereits in der Anforderungsanalyse beschrieben und die Objekttypen wurden in Gruppen eingeteilt. Die Abbildung 5.3 verdeutlicht die Datenstruktur für die geographischen Informationsobjekte und die Beziehung zu der Datenstruktur für die Vektordaten.

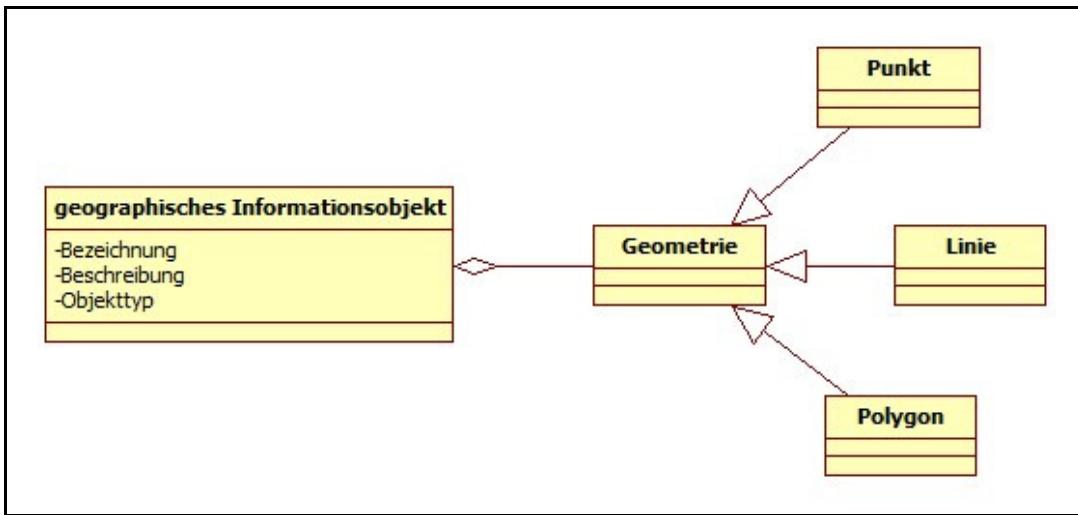


Abbildung 5.3 Datenmodell

### 5.2.3 Objekttypen für die geographischen Informationsobjekte

Es wird eine Reihe von Objekttypen festgelegt. Dabei werden zwei Anforderungen berücksichtigt. Die erste Anforderung betrifft die Orientierung des Benutzers. Für die Orientierung des Benutzers müssen ausreichend geographische Informationsobjekte vorhanden sein, die markante Objekte der realen Welt repräsentieren. Deshalb werden die Objekttypen Strasse, Autobahn, Fluss, See, Park, Wald und Ortschaft festgelegt. Die zweite Anforderung betrifft die Aufgaben des Benutzers. In Abhängigkeit von der Aufgabe des Benutzers müssen geographische Informationsobjekte mit bestimmtem Objekttypen vorhanden sein. Diese Objekttypen setzen sich im Einzelnen aus Sehenswürdigkeit, touristisches Gebiet, Bahnhof, Hotel, Tankstelle, Rastplatz, Restaurant und Person zusammen.

### 5.2.4 Kartographische Darstellung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Kartenflächen mit dem Mapcube dargestellt werden. Dazu wird in Kapitel 5.2.4.1 beschrieben, wie geographische Punkte auf die fünf Darstellungsf lächen des Mapcubes projiziert werden. In Kapitel 5.2.4.2 wird eine Darstellungsform für die geographischen Informationsobjekte festgelegt. Hierbei werden die geographischen Informationsobjekte in Form von zweidimensionalen und dreidimensionalen Signaturen abgebildet. Die Kapitel 5.2.4.3 bis 5.2.4.6 beschreiben, wie die geographischen Informationsobjekte auf dem Darstellungsbereich des Mapcube Applet abgebildet werden.

#### 5.2.4.1 Projektion

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, wie ein Kartenausschnitt auf die Darstellungsf lächen abgebildet wird. Eine Darstellungsf läche ist eine Würfelfl äche, auf die eine Kartenfläche projiziert wird. Der Kartenausschnitt ist definiert durch vier geographische Koordinaten a, b, c und d, wie in der Abbildung 5.4 dargestellt.

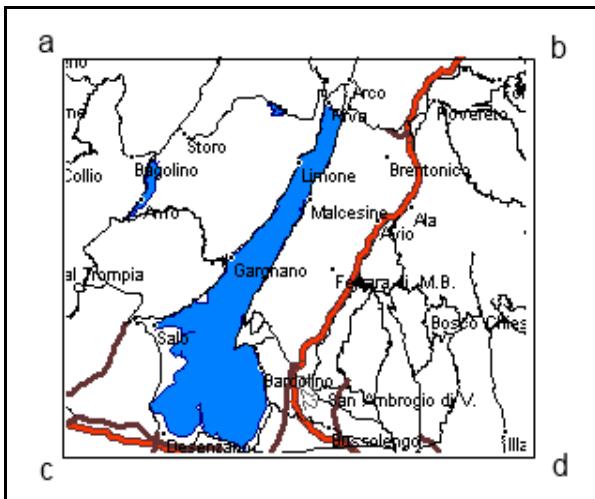


Abbildung 5.4 Kartenausschnitt mit 4 Eckpunkten

Wie in der Anforderungsanalyse beschrieben, existieren fünf Flächen in der Darstellung zur Abbildung von Kartenflächen. Die Anordnung der einzelnen Kartenflächen im Bezugsrahmen des geographischen Koordinatensystems wird in Abbildung 5.5 und 5.6 dargestellt. Der rechteckige Kartenausschnitt wird in neun gleich große rechteckige Flächen aufgeteilt. Die Flächen A, B, C, D und E werden für die Darstellung verwendet.

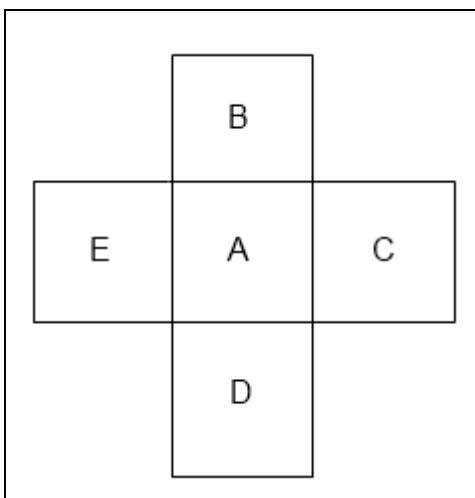


Abbildung 5.5 Anordnung

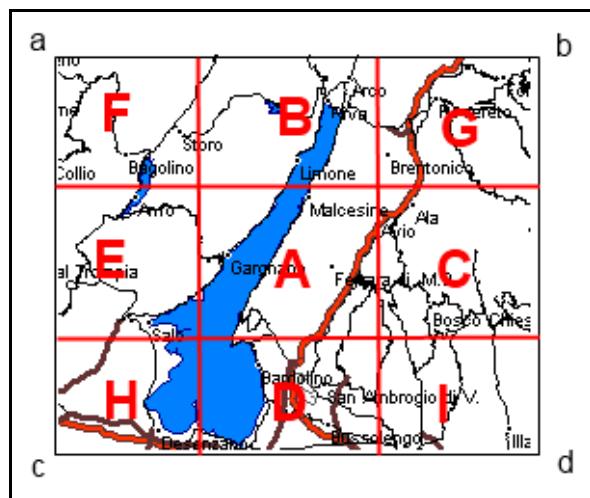


Abbildung 5.6 Anordnung

Für jede Fläche in der Darstellung wird ein 2-dimensionales kartesisches Koordinatensystem festgelegt. Die vertikale Achse ist die y-Achse und die horizontale Achse ist die x-Achse. Jede Koordinate ( $x,y$ ) lässt sich durch Angabe eines x-Achsenabschnitts und y-Achsenabschnitts beschreiben. Geographische Koordinaten werden mit Hilfe der Mercator-Projektion auf die Flächen in der Darstellung projiziert. Die Mercator-Projektion ist ein Verfahren, welches die Projektion von geographischen Koordinaten, die einen Punkt auf einer Kugeloberfläche beschreiben, auf eine ebene Fläche definiert. Im konkreten Fall Mapcube Software werden die ebenen Flächen durch die kartesischen Koordinatensysteme beschrieben. Hierbei wird jeweils eine Kartenfläche auf eine Region in dem kartesischen Koordinatensystem projiziert, welche durch die Koordinaten (0,0), (1,0), (1,1) und (0,1) definiert ist.

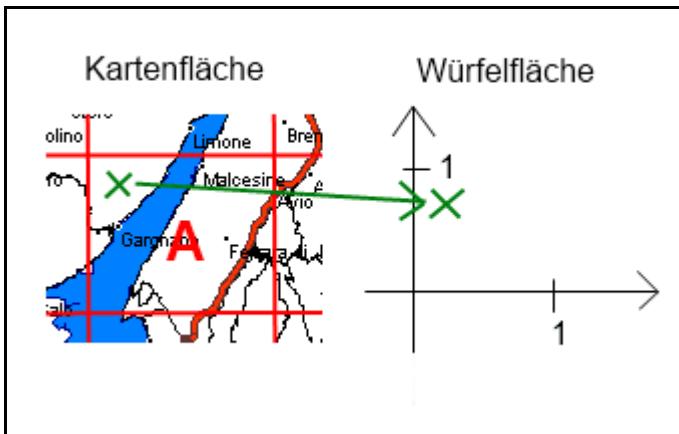


Abbildung 5.7 Projektion

In der Abbildung 5.7 wird die Zuordnung von der Kartenfläche A im Bezugsrahmen des geographischen Koordinatensystems zu der Darstellungsfläche A des Würfels im Bezugsrahmen des kartesischen Koordinatensystems dargestellt. Für die Kartenflächen B bis E können die gleichen Zuordnungen aufgestellt werden. Eine geographische Koordinate, welche sich innerhalb der Kartenfläche A befindet, wird auf die Darstellungsfläche A in dem kartesischen Koordinatensystem projiziert. Dagegen wird eine geographische Koordinate, welche sich nicht innerhalb der Kartenfläche A befindet, nicht auf die Darstellungsfläche A projiziert. Weiterhin werden die Darstellungsflächen durch Verschiebung und Rotation auf ein euklidisches Koordinatensystem projiziert. Dieser Projektionsschritt wird in Kapitel 5.2.4.6 detaillierter beschrieben.

#### 5.2.4.2 Darstellung von geographischen Informationsobjekten

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die geographischen Informationsobjekte in den Kartenflächen dargestellt werden. Zur Darstellung der geographischen Informationsobjekte wird eine Reihe von Signaturen festgelegt. Signaturen sind graphische Darstellungen, die Objekte der realen Welt abstrahieren und symbolisieren [Barthelme05]. Dabei wird zwischen drei Gruppen von Signaturen unterschieden. Wie in Abbildung 5.8 dargestellt, können in der Kartographie Punkt-, Linien- und Flächensignaturen verwendet werden.

punkthaft	linear	flächenhaft
○ ■ (•)	---	
⌂ ♚ ☘	Ω Ω Ω Ω	Ω Ω Ω Ω
⌚ ✕ ⊕	→ → → → → →	↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓
● ● ☓	· · · · · · · · ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	 

Abbildung 5.8 zweidimensionale Punkt-, Linien- und Flächensignaturen [deLange06]

In der Regel werden zweidimensionale Signaturen verwendet. Da die Flächen B, C, D und E eine perspektivische Darstellung ermöglichen, werden hier nach Möglichkeit auch dreidimensionale Signaturen verwendet. In der Abbildung 5.9 werden Beispiele für dreidimensionale Signaturen aufgezeigt. Mit der Verwendung von dreidimensionalen Signaturen werden zwei Ziele verfolgt. Zum einen werden durch die plastische Darstellung räumliche Informationen besser verdeutlicht [deLange06]. Zum anderen wird durch die plastische Darstellung der geographischen Informationsobjekte die Wahrnehmung der dreidimensionalen Darstellung der Flächen B bis E verbessert.

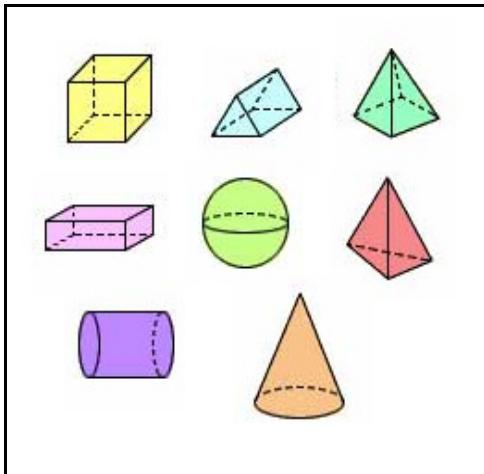


Abbildung 5.9 dreidimensionale Signaturen

#### 5.2.4.3 Darstellung von Rasterdaten

Der Mapcube ermöglicht neben der Darstellung von zwei- und dreidimensionalen Signaturen auch die Abbildung von Rasterdaten in den Würfelflächen. Hierzu werden Kacheln von einem Server (z.B. Google Maps) geladen und in Texturen umgewandelt. Die Kacheln stellen einen Teil einer Karte dar. Ausgehend von der Berücksichtigung der Einschränkungen mobiler Geräte, was Speicherplatz und Bandbreite betrifft, muss der Mapcube-Prototyp bestimmte Anforderungen erfüllen. Dabei werden folgende Anforderungen berücksichtigt:

- Vorverarbeiten und Zwischenspeichern (engl. Caching) der Texturen
- Indizierung der Texturen
- Entfernen von überflüssigen Texturen

Bei dem Vorverarbeiten und Zwischenspeichern der Texturen wird der Kartenausschnitt berücksichtigt, welcher durch den Mapcube dargestellt wird. Aus diesem Grund werden die Kacheln von dem Server geladen, die sich im geographischen Bezugsrahmen innerhalb des Kartenausschnitts befinden oder den Kartenausschnitt schneiden. Des Weiteren wird berücksichtigt, dass der Kartenausschnitt verschoben werden kann. Um möglichst eine unterbrechungsfreie Darstellung der Kacheln zu erreichen, werden auch die Kacheln in Form von Texturen zwischengespeichert, welche den Kartenausschnitt zwar nicht schneiden, jedoch in geographischer Nähe zu dem Kartenausschnitt befinden. Damit die Texturen durch die Darstellungs-Komponente des Mapcubes abgerufen werden können, werden die Texturen mittels eines Index in dem Zwischenspeicher (engl. Cache) geladen. Der Index setzt sich sowohl aus einer Längengrad- und Breitengradkoordinate als auch der Zoomstufe zusammen. Eine Änderung des Zwischenspeichers ergibt sich im Falle einer Verschiebung des dargestellten Kartenausschnitts oder der Änderungen der

Zoomstufe. Nach einer solchen Änderung werden die Kacheln in dem Zwischenspeicher geladen, welche die eingangs beschriebenen Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus werden im Falle einer hohen Speicherauslastung die Texturen entfernt, welche nicht der aktuellen Zoomstufe entsprechen oder sich nicht in geographischer Nähe zu dem dargestellten Kartenausschnitt befinden [Dong08].

#### 5.2.4.4 Abbildungsprozess

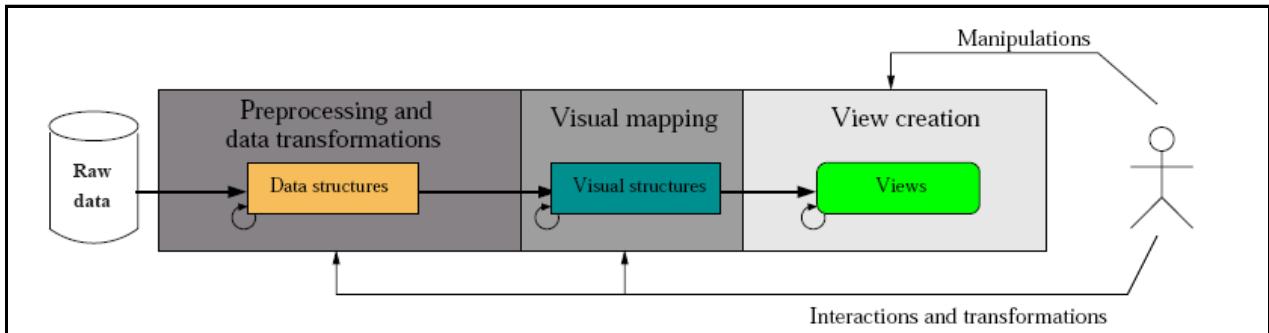


Abbildung 5.10 Visualisierungs-Pipeline [Mazza09]

Wie in Abbildung 5.10 dargestellt, werden Daten mittels einer Visualisierungs-Pipeline in Bilder überführt. Die Prozesskette der Visualisierungs-Pipeline umfasst in der Regel drei Phasen. In der ersten Phase werden die Daten bereitgestellt, die abgebildet werden sollen. Dabei werden die Daten aus einer Datenquelle geladen und es werden die Daten aufbereitet und gefiltert [Mazza09]. Im konkreten Fall der Mapcube-Software sind die Daten die geographischen Informationsobjekte und die Filterung ist abhängig von dem ausgewählten Kartenausschnitt, der Zoomstufe und dem ausgewählten Anwendungsfall. Der Vorgang wird in Kapitel 5.2.4.4 detaillierter beschrieben. In der zweiten Phase werden die aufbereiteten Daten auf visuelle Strukturen abgebildet [Mazza09]. Das Ziel der Mapcube-Software in dieser Phase besteht darin, den geographischen Informationsobjekten Signaturen zuzuordnen und die Position in der Darstellung zu ermitteln. In der letzten Phase werden die visuellen Strukturen auf die Anzeige projiziert. Hierbei ist die Anzeige der Darstellungsbereich des Mapcube-Applets.

In den folgenden Kapiteln werden die drei Phasen des Abbildungsprozesses beschrieben.

#### 5.2.4.5 Vorverarbeitungen der geographischen Informationsobjekte

Das Ziel der Vorverarbeitung ist die Auswahl einer Teilmenge aus der Gesamtmenge der geographischen Informationsobjekte. Dazu wird die Gesamtmenge anhand von Kriterien gefiltert. Ein Kriterium ist der ausgewählte Kartenausschnitt im Bezugsrahmen des geographischen Koordinatensystems. Hierbei werden nur die geographischen Informationsobjekte ausgewählt, deren Geometrie innerhalb des Kartenausschnitts liegt oder eine Kante des Kartenausschnitts schneidet. Ein weiteres Kriterium ist die Zoomstufe. Neben dem räumlichen Zoomen, das die Skalierung der Darstellung vergrößert oder verkleinert, wird auch das semantische Zoomen angewandt. Hierbei werden in Abhängigkeit von der Zoomstufe geographische Informationsobjekte und Details sichtbar oder unsichtbar [Hemmje09]. Die Funktionsweise des räumlichen und semantischen Zoomens wird in 5.2.6.3 Zooming detaillierter beschrieben.

#### 5.2.4.6 Visual Mapping

Im Folgenden werden nur die geographischen Informationsobjekte berücksichtigt, die in der Phase der Vorverarbeitung herausgefiltert wurden. Um die geographischen

Informationsobjekte abbilden zu können, muss zuerst die Position in der Darstellung ermittelt werden. Wie in Kapitel 5.2.4.1 beschrieben, sind für die Darstellung von geographischen Informationsobjekten die fünf Kartenflächen A, B, C, D und E vorgesehen, die jeweils auf eine Darstellungsfläche projiziert werden. Jede dieser Kartenflächen definiert eine rechteckige Fläche im Bezugsrahmen des geographischen Koordinatensystems. Wenn die Geometrie eines geographischen Informationsobjekts in einer dieser rechteckigen Flächen enthalten ist oder diese schneidet, wird das geographische Informationsobjekt auf die zugehörige Darstellungsfläche projiziert. Die Geometrie eines geographischen Informationsobjekts kann auch mehrere Kartenflächen gleichzeitig schneiden.

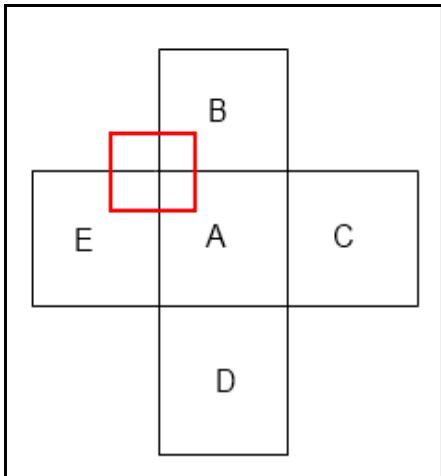


Abbildung 5.11 gleichzeitiger Schnitt von mehreren Flächen

Das Beispiel in Abbildung 5.11 zeigt einen solchen Fall. In diesem Fall wird ein geographisches Informationsobjekt auf mehrere Darstellungsflächen projiziert. In dem Fall wäre zum Beispiel eine Strasse in mehreren Darstellungsflächen sichtbar, wobei der Übergang in den Kanten der Darstellungsflächen erkennbar wäre. Die genaue Position der Projektion wird nach dem Verfahren berechnet, welches in Kapitel 5.2.4.1 beschrieben wurde. Hierbei wird jeder Eckpunkt einer Geometrie in eine kartesische Koordinate umgerechnet.

Des Weiteren müssen Signaturen für die geographischen Informationsobjekte gefunden werden, um diese in den Darstellungsflächen abbilden zu können. Signaturen sind im Rahmen der Informationsvisualisierung graphische Elemente, die in vier Kategorien unterteilt werden können. Die Kategorien sind im Einzelnen Punkte, Linien, Flächen und dreidimensionale Körper [Mazza09]. Eine Übersicht der Kategorien wird in Abbildung 5.12 aufgezeigt.

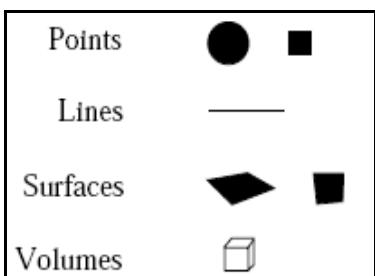


Abbildung 5.12 Kategorien grafische Elemente [Mazza09]

Für die Gestaltung von Signaturen stehen verschiedene graphische Variablen zur Verfügung. Die graphischen Variablen sind im Einzelnen die Größe, der Helligkeitswert, das Muster, die Farbe, die Richtung und die Form [deLange06]. Mit der Variation der

graphischen Variablen können verschiedene Wirkungen erzielt werden.

Farben verfügen über eine assoziative Wirkung. Im Rahmen der Kartographie lassen sich bestimmte Farben mit Objekten der realen Welt assoziieren. Zum Beispiel wird Blau assoziiert mit Gewässern, Kaminrot mit Siedlungen, Gelbgrün mit Wiesen, Blaugrün mit Wald und Grau mit bestimmten Bodenbedeckungen [deLange06]. Deshalb kann für die Signaturen für die geographischen Informationsobjekte mit dem Objekttyp Park, Wald, Strasse, Autobahn, Fluss und See eine treffende Farbe festgelegt werden. Für den Objekttyp Park wird die Farbe grün, für den Objekttyp Wald die Farbe Blaugrün, für den Objekttyp Strasse und Autobahn die Farbe Grau und für den Objekttyp Ortschaft die Farbe Kaminrot festgelegt. Hiermit wird eine Zuordnung für Anwendungsfall-abhängige Objekttypen getroffen. Die Anzahl der verwendeten Farben im Rahmen der Informationsvisualisierung sollten jedoch eine bestimmte obere Grenze nicht überschreiten. Ware empfiehlt die Verwendung von maximal sechs Farben [Ware04]. Deshalb werden für die Objekttypen, die im Zusammenhang mit der Aufgabe des Benutzers auftreten, möglichst wenige Farben verwendet. Diesen Objekttypen werden die Farben Gelb, Rot und Orange zugeordnet. Dabei werden unterschiedliche Objekttypen mit gleicher Farbe durch unterschiedliche Helligkeiten und Formen variiert.

Für jeden Objekttyp muss eine Form festgelegt werden. Die Signaturen sollten möglichst einfache und leicht unterscheidbare Formen verwenden [Imhof72]. Aus diesem Grund werden für die Darstellung der Signaturen in der Fläche A die einfachen zweidimensionalen Formen Linie, Polygon, Quadrat, Kreis, Hexagon und Dreieck verwendet. Des Weiteren werden für die Darstellung der Signaturen in den Flächen B, C, D und E neben den zweidimensionalen Formen die einfachen dreidimensionalen Formen Würfel, Quader, Zylinder, Kegel, Pyramide und Kugel verwendet. Bei Verwendung einer zweidimensionalen Form und einer dreidimensionalen Form für die Darstellung eines bestimmten Objekttyps werden die zwei Formen so gewählt, dass die Assoziation zwischen den zwei Formen erkennbar ist. Ein Beispiel ist die Verwendung von den Formen Würfel und Quadrat zur Darstellung von dem Objekttyp Restaurant.

In der Tabelle 5.1 wird die Zuordnung von Objekttyp zu Form, Farbe und Helligkeit aufgezeigt, wenn der Objekttyp in der Fläche A abgebildet wird. Dagegen wird in der Tabelle 5.2 die Zuordnung von Objekttyp zu Form, Farbe und Helligkeit aufgezeigt, wenn der Objekttyp in der Fläche B, C, D, E oder F abgebildet wird.

<b>Objekttyp</b>	<b>Form</b>	<b>Farbe</b>	<b>Helligkeit</b>
Strasse	Linie	Grau	Mittel
Autobahn	Breite Linie	Grau	Dunkel
Ortschaft	Polygon	Kaminrot	Mittel
Park	Ausgefülltes Polygon	Grün	Mittel
See	Ausgefülltes Polygon	Blau	Mittel
Fluss	Breite Linie	Blau	Dunkel
Sehenswürdigkeit	Ausgefüllter Kreis	Gelb	Hell
Bahnhof	Rechteck	Gelb	Mittel
Touristisches Gebiet	Ausgefülltes Polygon	Gelb	Mittel
Hotel	Dreieck	Gelb	Dunkel
Tankstelle	Ausgefülltes Quadrat	Orange	Hell
Rastplatz	Ausgefülltes Hexagon	Orange	Mittel

Person	Kreis	Rot	Mittel
--------	-------	-----	--------

Tabelle 5.1 Signaturbeschreibungen für Objekttyp bei Darstellung in den Flächen A

Objekttyp	Form	Farbe	Helligkeit
Strasse	Ein oder mehrere dreiseitige Prismen	Grau	Mittel
Autobahn	Ein oder mehrere Zylinder	Grau	Dunkel
Ortschaft	Polygon	Kaminrot	Mittel
Park	Ausgefülltes Polygon	Grün	Mittel
See	Ausgefülltes Polygon	Blau	Mittel
Fluss	Breite Linie	Blau	Dunkel
Sehenswürdigkeit	Kegel	Gelb	Hell
Bahnhof	Quader	Gelb	Mittel
Touristisches Gebiet	Polyeder	Gelb	Mittel
Hotel	Würfel	Gelb	Dunkel
Tankstelle	Sechsseitigen Prisma	Orange	Hell
Rastplatz	Pyramide	Orange	Mittel
Person	Kegel	Rot	Mittel

Tabelle 5.2 Signaturbeschreibungen für Objekttyp bei Darstellung in den Flächen B, C, D und E

Jedem geographischen Informationsobjekt werden anhand des Objekttyps entweder zwei zweidimensionale Signaturen oder eine zweidimensionale und eine dreidimensionale Signatur zugeordnet. Das Datenmodell wird um die zweidimensionalen und dreidimensionalen Signaturen erweitert. In Abbildung 5.13 wird das neue Datenmodell dargestellt.

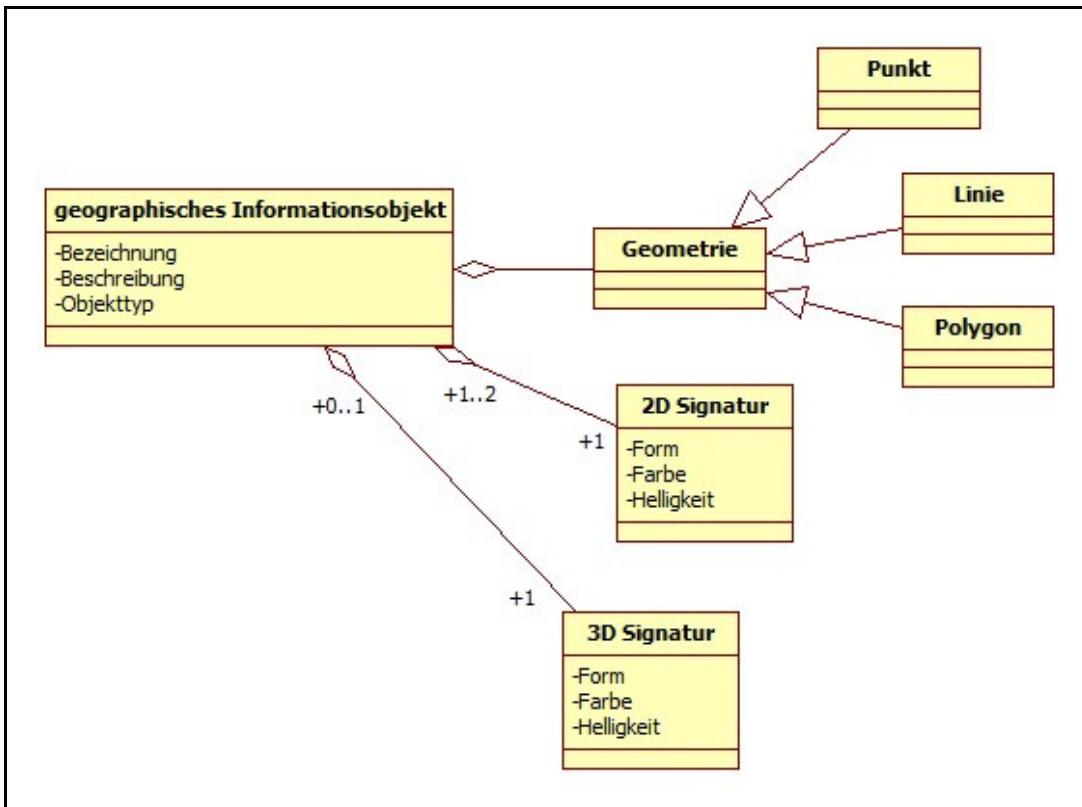


Abbildung 5.13 erweitertes Datenmodell

#### 5.2.4.7 View Creation

In dieser Phase des Abbildungsprozesses werden die fünf Darstellungsflächen, welche die fünf Würfelflächen beschreiben, zusammen mit den Signaturen auf die Ansicht (engl. View) projiziert, wobei die Ansicht der Darstellungsbereich des Mapcube-Applets ist. Die Signaturen werden von einem zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem in ein dreidimensionales euklidisches Koordinatensystem projiziert. Weiter werden die Signaturen in dem dreidimensionalen euklidischen Koordinatensystem durch mehrere Transformationsschritte in Bildschirmpixel umgewandelt, die dann in dem Darstellungsbereich des Mapcube-Applets auf dem Bildschirm sichtbar werden. Für diese Transformationen ist die 3D Schnittstelle OpenGL verantwortlich.

#### 5.2.5 Sonstige Anzeigefunktionen

In diesem Kapitel werden die sonstigen Funktionen beschrieben, welche notwendig für die Darstellung des Mapcubes sind. Dabei werden folgende Funktionen beschrieben:

- Texte und Beschriftungen für die geographischen Informationsobjekte, die den Namen darstellen (Kapitel 5.2.5.1)
- Beleuchtung und Schattierungen, welche einen dreidimensionalen Eindruck der dreidimensionalen Signaturen erzeugen und die räumliche Wahrnehmung der Objekte verbessert (Kapitel 5.2.5.2)
- Transparenz, die den Übergang von der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung ermöglicht, und Fading-Effekt und greying out, welche die Wahrnehmbarkeit der Transparenz verbessern (Kapitel 5.2.5.3)
- Perception Cues, die die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe verbessern und Hinweise auf den Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region geben (Kapitel 5.2.5.3)

- Hervorhebungen von Signaturen, die die Aufmerksamkeit des Benutzers auf bestimmte Objekte lenken (Kapitel 5.2.5.5)

### 5.2.5.1 Texte und Beschriftungen



Abbildung 5.14 Beschriftungen

Texte werden eingesetzt, um Objekte zu beschriften. De Lange empfiehlt, Texte sparsam einzusetzen. Außerdem wird vorgeschlagen, dass eine Schriftart ausreichend ist [deLange06]. Daher werden nur bestimmte Objekttypen beschriftet, wobei nur eine Schriftart verwendet wird. Die Objekttypen Ortschaft, Strasse und Autobahn werden in Abhängigkeit von der Zoomstufe beschriftet. Die Farbe der Beschriftung ist identisch mit der Farbe, die dem Objekttyp zugeordnet ist. Für die Beschriftung der Objekttypen Strasse und Autobahnen wird die Schriftart parallel zur den Liniensegmenten der Signatur eingefügt. Die Beschriftung der Ortschaft wird im Mittelpunkt der Fläche positioniert. In der Abbildung 5.14 wird dargestellt, wie Objekte beschriftet werden.

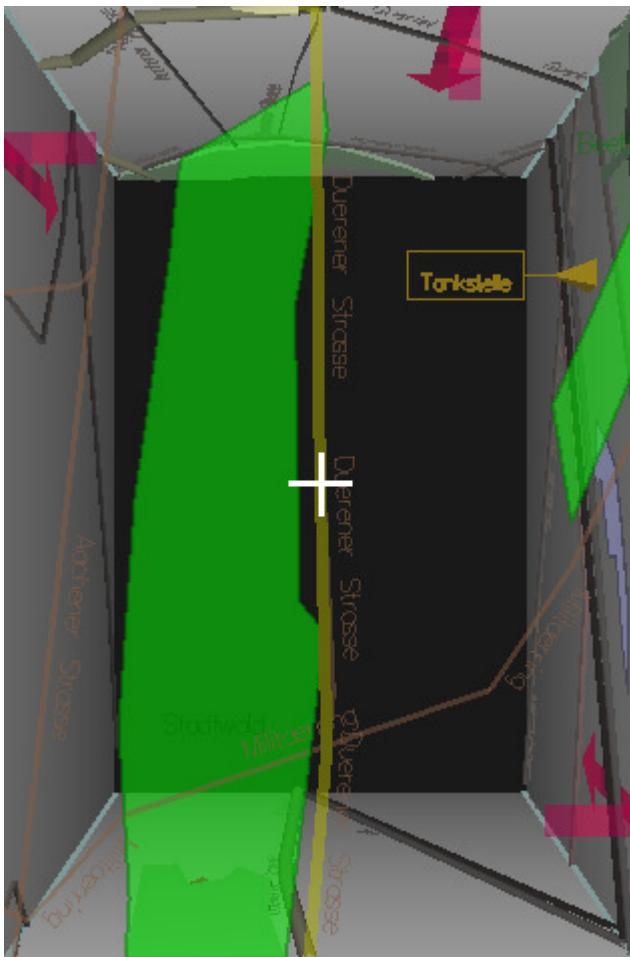


Abbildung 5.15 Beschriftung mittels Schildern

Um die Lesbarkeit zu gewährleisten, werden die Beschriftungen von Objekten, die von Bedeutung für den Anwendungsfall sind, in Form von Schildern dargestellt. Die Schilder stehen senkrecht zur Blickrichtung des Betrachters, so dass die Lesbarkeit nicht durch die perspektivische Verzerrung beeinträchtigt wird. In Abbildung 5.15 wird dargestellt, wie das Objekt „Poller Wiesen“ mit einem Schild beschriftet wird.

### 5.2.5.2 Beleuchtung und Schattierungen

Um einen 3-dimensionalen Eindruck der 3-dimensionalen Signaturen zu gewinnen, sind Effekte wie Beleuchtung (engl. lighting) und Schattierung (engl. shading) notwendig. Ramachadran beschreibt dieses Verfahren wie folgt:

*“Shading produces a compelling perception of three-dimensional shape. One way the brain simplifies the task of interpreting shading is by assuming a single light source.”*  
[Rama88]

In der Regel kann erst durch Abschattung die 3-dimensionale Form eines Objektes erkannt werden. Für den Mapcube wird das Schattierungsverfahren „Gouraud Shading“ verwendet, welches von OpenGL implementiert wird. Hierbei werden stetige Farbverläufe innerhalb der Flächen erzeugt. Die Art des Farbverlaufes ist abhängig von der Orientierung der Fläche zu der Lichtquelle. Daher muss für den Mapcube eine Punktlichtquelle festgelegt werden, die diffuses Licht erzeugt. Eine Punktlichtquelle mit diffusem Licht ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Licht ausgehend von einem Punkt gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet. Die Punktlichtquelle wird im

Bezugrahmen des 3-dimensionalen euklidischen Koordinatensystems so positioniert, dass der Abstand zwischen Lichtquelle und jeder Darstellungsfläche B bis E identisch ist [Nischwitz07].

### 5.2.5.3 Transparenz

Für die Realisierung der Transparenz wird das Alpha-Blending verwendet. Mit Hilfe des Alpha-Blending werden die Farbinformationen zweier Bilder vermischt, die sich überlagern. Hierbei wird der Farbwert jedes Pixels von dem Bild im Vordergrund mit dem Farbwert jedes Pixels von dem Bild im Hintergrund verknüpft. Dadurch erscheint dem Betrachter das Bild im Vordergrund transparent. Im Falle des Mapcubes ist das Bild im Vordergrund die Kartenfläche in der Fokus-Region und das Bild im Hintergrund setzt sich aus den Kartenflächen in der Kontext-Region zusammen. Der verknüpfte Farbwert wird mit folgender Gleichung berechnet.

$$C = B \times \alpha + A \times (1 - \alpha) \quad \text{Berechnung Alpha Blending [Porter84]}$$

In der Gleichung wird der Farbwert A mit dem Farbwert B verknüpft, wobei mit  $\alpha$  die Intensität der Transparenz angegeben wird. Im Zusammenhang mit dem Mapcube ist der Farbwert A der Farbwert jeden Pixels in der Fokus-Region und der Farbwert B ist der Farbwert jeden Pixels in der Kontext-Region. Das Ergebnis der Verknüpfung ist der neue Farbwert C. Im ungünstigsten Fall werden die zwei überlappenden Bilder als ein zusammenhängendes Bild wahrgenommen und die Transparenz wird nicht erkannt. Wenn die überlappenden Bilder große Ähnlichkeiten wie gleiche Farben und ähnliche Formen aufweisen, ist in der Regel die Wahrnehmung der Transparenz beeinträchtigt [Watanabe95]. Es werden mit dem Mapcube Kartenflächen übereinandergelegt, die große Ähnlichkeiten aufweisen. Daher können hier auch Probleme bei der Wahrnehmung der Transparenz vermutet werden.

Eine Alternative zu dem Alpha-Blending wäre das Multi-Blending, welches von Baudisch vorgeschlagen wird. Das Multi-Blending verwendet im Gegensatz zu dem Alpha-Blending nicht nur einen Transparenzwert. Daher kann das Multi-Blending die relevanten Inhalte des Bildes im Vordergrund und des Bildes im Hintergrund besser erhalten. Insbesondere ist die Lesbarkeit von Schriften bei der Verwendung des Multi-Blending im Vergleich zu der Verwendung des Alpha-Blending besser. Auf Grund des hohen Aufwands der Implementierung wird bei der Umsetzung des Mapcube-Prototypen auf die Verwendung von Multi-Blending verzichtet [Baudisch04].

Für das Umschalten in die transparente Ansicht wird ein Fading-Effekt eingesetzt. Nguyen hat ein Fokus-Kontext Visualisierungstechnik entwickelt, welche entweder die Fokus-Ansicht oder die Kontext-Ansicht hervorhebt. Dabei kann der Benutzer zwischen der Hervorhebung der Fokus- und Kontext-Region umschalten. Bei der Umschaltung wird eine Fading-Animation verwendet, so dass der Benutzer die Umschaltung besser versteht. Eine ähnliche Lösung wird auch bei dem Mapcube vorgenommen [Nguyen04]. Mit Hilfe des Fading-Effekts wird ein fließender Übergang von der Darstellung mit der Fokus-Region zu der Darstellung mit der Fokus- und Kontext-Region hergestellt. Durch den Fading Effekt wird die Farbintensität der Fläche im Vordergrund allmählich verringert und die Farbintensität der Fläche im Hintergrund allmählich vergrößert. Hierbei können die überlagernden Flächen besser voneinander unterschieden werden. Der Fading-Effekt wird realisiert, indem der  $\alpha$  Wert allmählich und gleichmäßig verringert wird, bis er den Wert 0,5 annimmt. Wird die transparente Ansicht aufgehoben, wird der  $\alpha$  Wert allmählich und gleichmäßig vergrößert, bis er den Wert 1,0 annimmt.

Des Weiteren soll die Wahrnehmung der Transparenz verbessert werden, indem die Objekte im Hintergrund bis zu einem gewissen Grad ausgegraunt (engl. greying out)

werden. Dadurch heben sich die Objekte in der Fokus-Region von den Objekten in der Kontext-Region ab. Zudem werden die Objekte in der Fokus-Region hervorgehoben.

#### 5.2.5.4 Perception Cues

Bei der perspektivischen Darstellung der Kartenflächen in der Kontext-Region können zwei Wahrnehmbarkeitsprobleme auftreten. Zum Einen könnte die räumliche Tiefe in der Darstellung nicht erkannt werden. Zum Anderen könnte die Verbindung von der Kartenfläche in der Fokus-Region zu den Kartenflächen in der Kontext-Region nicht erkannt werden.

Hinweise auf räumliche Tiefe (engl. Depth Cues) können die Wahrnehmbarkeitsprobleme verringern. Die Wahrnehmung der räumliche Tiefe durch die Verwendung von Hinweisen verbessert werden. Mikkola nennt folgende Punkte, von denen die Punkte 1,3 und 4 bei der Umsetzung des Prototyps eingesetzt werden [Mikkola10]:

1. Perspektivlinien
2. Schatten
3. Größenverhältnisse
4. Überlappungen
5. Bewegungsparallaxe
6. Texturen

Durch die perspektivische Projektion können dreidimensionale Formen in den Seitenflächen des Würfels andere Formen überlappen. Wie bereits in Kapitel 5.2.4.2 beschrieben, werden in diesen Flächen nach Möglichkeit dreidimensionale Signaturen dargestellt. Diese dreidimensionalen Signaturen können Hinweise auf räumliche Tiefe wie Überlappungen erzeugen. Die Berechnung und Darstellung der Überlappungen wird von 3D Schnittstelle übernommen [Nischwitz07]. Mit dem Einbau von Perspektivlinien, die in einem Punkt zusammenlaufen, wird die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe verbessert. Deshalb werden die Ränder der Kartenflächen in der Anzeige mit Linien dargestellt. Durch die perspektivische Projektion entstehen vier Linien, die von den Eckpunkten der Anzeige in Richtung des Mittelpunkts der Anzeige verlaufen.

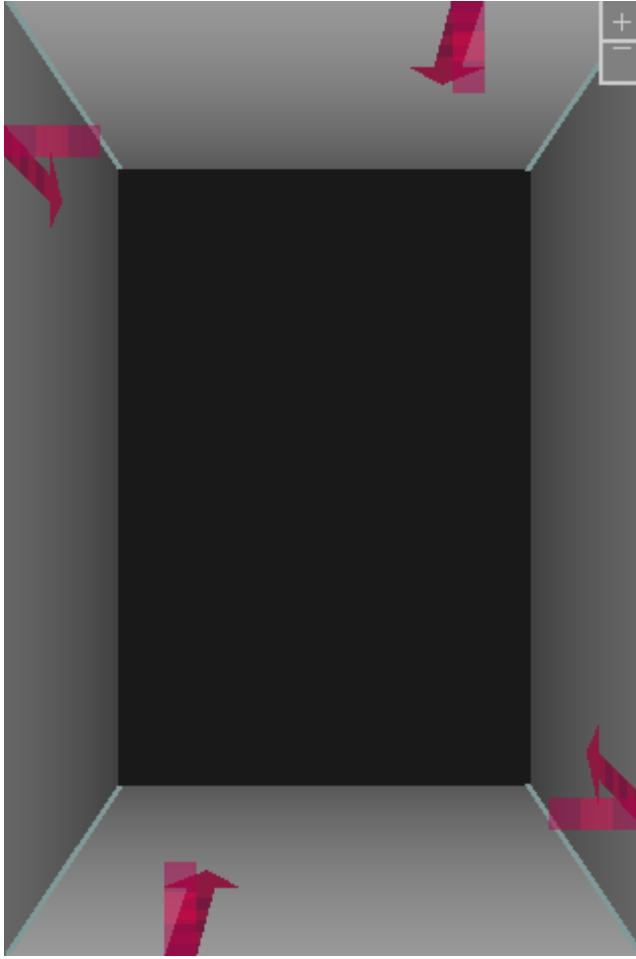


Abbildung 5.16 gekachelte Pfeile zur Wahrnehmung der Übergänge

Um die Verbindung von der Kartenfläche in der Fokus-Region zu den Kartenflächen in der Kontext-Region zu verdeutlichen, werden gekachelte Pfeile eingesetzt, die durch den Übergang von Fokus- und Kontext-Region verlaufen. Bei einer Umschaltung von der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung wachsen die Pfeile allmählich in die Kontext-Region hinein. Die eingesetzten Pfeile werden in Abbildung 5.16 dargestellt. Dabei wird der Teil des Balkens, der innerhalb der Kontext-Region verläuft, perspektivisch verzerrt. Dagegen bleibt der Teil des Balkens, der innerhalb der Fokus-Region verläuft, frei von Verzerrungen. Durch den gleichzeitigen Einsatz von Transparenz und der perspektivischen Verzerrung können beide Teile des Balkens trotz Überlappung erkannt werden. Anhand dieser Balken kann der Benutzer erkennen, dass die Kartenfläche in der Fokus-Region außerhalb der Begrenzung der Fokus-Region in der Kontext-Region fortgesetzt wird.

#### 5.2.5.5 Hervorheben von Signaturen

Um die Aufmerksamkeit des Benutzers auf bestimmte Signaturen zu lenken, werden diese besonders hervorgehoben. Dabei werden zwei Anforderungen von Ware berücksichtigt, die bei Verwendung von Signalen beachtet werden sollten. Einerseits sollte das Signal einfach wahrgenommen werden, auch wenn es nicht in der Fokus-Region dargestellt wird. Andererseits sollte das Signal den Benutzer nicht in dem Maße stören, so dass man die Anwendung nicht mehr angenehm nutzen kann [Ware04]. Ware schlägt die Verwendung von blinkenden und sich bewegenden Icons vor. Da die Position der Signaturen wegen dem geographischen Bezug nicht verändert werden kann, werden zur Hervorhebung

blinkende und sich vergrößernde Signaturen verwendet. Diese können sowohl in der Fokus-Region als auch in der Kontext-Region einfach wahrgenommen werden.

### 5.2.6 Konzeption der Interaktionselemente

In diesem Kapitel werden die Interaktionselemente beschrieben, welche notwendig für die Bedienung des Mapcubes sind. Dabei werden folgende Funktionen beschrieben:

- Umschalten der Ansicht, um manuell oder automatisch von der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung zu wechseln
- Verschieben der Karte, um Objekte von der Kontext- in die Fokus-Region und von der Fokus- in die Kontext-Region zu verschieben
- Zooming, um den Kartenausschnitt heran- und herauszuzoomen

#### 5.2.6.1 Umschalten der Ansicht

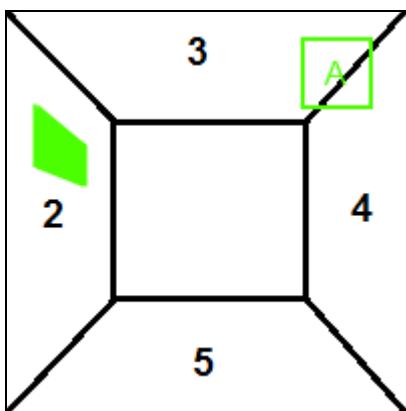


Abbildung 5.17 Verknüpfung und Einfärbung

Der Benutzer kann manuell in die transparente Darstellung umschalten. Einerseits wird das Umschalten in die transparente Ansicht zeitgleich mit dem Verschieben der Karte ausgelöst. Wenn der Benutzer die linke Maustaste betätigt, wird in die transparente Ansicht umgeschaltet. Wenn der Benutzer die linke Maustaste loslässt, wird wieder in die normale Ansicht umgeschaltet. Andererseits wird für den Anwendungsfall Ortsbestimmung und Lokalisierung eine andere Vorgehensweise festgelegt. Wenn Objekte von besonderem Interesse in der näheren Umgebung außerhalb des sichtbaren Bereichs vorhanden sind, werden dem Benutzer Symbole angezeigt, deren Farbe identisch mit der Farbe der Signaturen der Objekte ist. In der Abbildung 5.17 wird dargestellt, wie das Symbol und die Objekte in gleicher Farbe abgebildet werden. Durch einen Mausklick auf das Symbol wird in die transparente Ansicht umgeschaltet. Diese Vorgehensweise wird im Rahmen der Informationsvisualisierung als Verknüpfung und Einfärbung (engl. Linking and Brushing) beschrieben. Hierbei werden Informationen mit gleichem Inhalt in mehreren Ansichten unterschiedlich dargestellt und durch gleiche Einfärbung miteinander verknüpft [Card02]. In diesem Fall sind Informationen die Suchergebnisse, die durch gleichfarbige Symbole und Signaturen in mehreren Ansichten dargestellt werden.

#### 5.2.6.2 Verschieben (engl. Panning) der Karte

Zum Verschieben der Karte kann der Benutzer mit dem Festhalten der linken Maustaste und Bewegung der Maus den Kartenausschnitt in eine beliebige Richtung verschieben. Dabei werden die geographischen Koordinaten, die die Eckpunkte des Kartenausschnitts K definieren, gleichmäßig verschoben. Es werden jeweils der Breitengrad und der

Längengrad der geographischen Koordinaten um einen bestimmten Winkel verschoben. Beim Verschieben des Kartenausschnitts findet eine Neuberechnung der Eckpunkte der Kartenflächen A bis E statt. Hierbei werden die verschobenen Eckpunkte des Kartenausschnitts K berücksichtigt.

### 5.2.6.3 Zooming

Mit Betätigung des Mausrads kann der Benutzer den Kartenausschnitt heranzoomen oder herauszoomen. Beim Heranzoomen wird der Kartenausschnitt um 50% verkleinert und die Zoomstufe um eins erhöht. Dagegen wird der Kartenausschnitt beim Herauszoomen um 100% vergrößert und die Zoomstufe um eins verringert. Mit diesen Interaktionen werden die Eckpunkte a, b, c und d des Kartenausschnitts K geändert. Um den Kartenausschnitts um 100 % zu vergrößern, wird der Winkelabstand zwischen dem Längengrad von alpha und beta, der Winkelabstand zwischen dem Längengrad von gamma und delta, der Winkelabstand zwischen dem Breitengrad von alpha und gamma und der Winkelabstand zwischen dem Breitengrad von beta und delta um 100% vergrößert. Beim Heranzoomen werden diese Winkelabstände um 50% verkleinert. Sowohl beim Heranzoomen als auch beim Herauszoomen bleibt die geographische Koordinate des Mittelpunkts des Kartenausschnitts K gleich. Zu Berücksichtigen ist ebenfalls die Neuberechnung der Eckpunkte der Kartenflächen A bis E.

Neben dem räumlichen Zoomen wird auch ein semantisches Zoomen eingesetzt, um Details und Signaturen ein- und auszublenden. Dazu werden die Zoomstufen in drei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe umfasst die Zoomstufe 1 bis 5, die zweite Gruppe umfasst die Zoomstufen 6 bis 10 und die dritte Gruppe die Zoomstufe 11-15. Wenn die aktive Zoomstufe in der ersten Gruppe enthalten ist, weist die Ansicht die geringste Menge an unterschiedlichen Signaturen und Details auf. Es werden die Signaturen ausgeblendet, die dem Objekttyp Strasse, Park oder Wald zugeordnet sind. Zudem werden alle Textdetails bis auf die Bezeichnungen für die Ortschaften ausgeblendet. Falls die aktive Zoomstufe in der zweiten Gruppe enthalten ist, werden alle Signaturen dargestellt und es werden die Textdetails für Straßen und Objekte, die im Zusammenhang mit der Aufgabe des Benutzers auftreten, ausgeblendet. Wenn die aktive Zoomstufe in der dritten Gruppe enthalten ist, werden alle Signaturen und alle Textdetails dargestellt.

## 5.3 Konzeption der Demonstration des Anwendungsfall Navigation

In diesem Kapitel wird die Demonstration des Anwendungsfalls Navigation konzipiert. Wie in Kapitel 4.3.2.3 beschrieben, werden im Verlauf des Anwendungsfalls spezielle Objekte durch die transparente Ansicht eingeblendet und in der Kontext-Region dargestellt, welche im Zusammenhang mit der Aktivität Navigation stehen. Zu Beginn werden in Kapitel 5.4.1 die Grundlagen vorgestellt, die für die Konzeption notwendig sind. Anschließend wird in Kapitel 5.4.2 beschrieben, wie die Anzeige in Abhängigkeit von der Position des Benutzers gedreht wird. In Kapitel 5.4.3 werden die speziellen Objekte beschrieben, welche mit Hilfe der Mapcube-Visualisierungstechnik eingeblendet werden.

### 5.3.1 Grundlagen

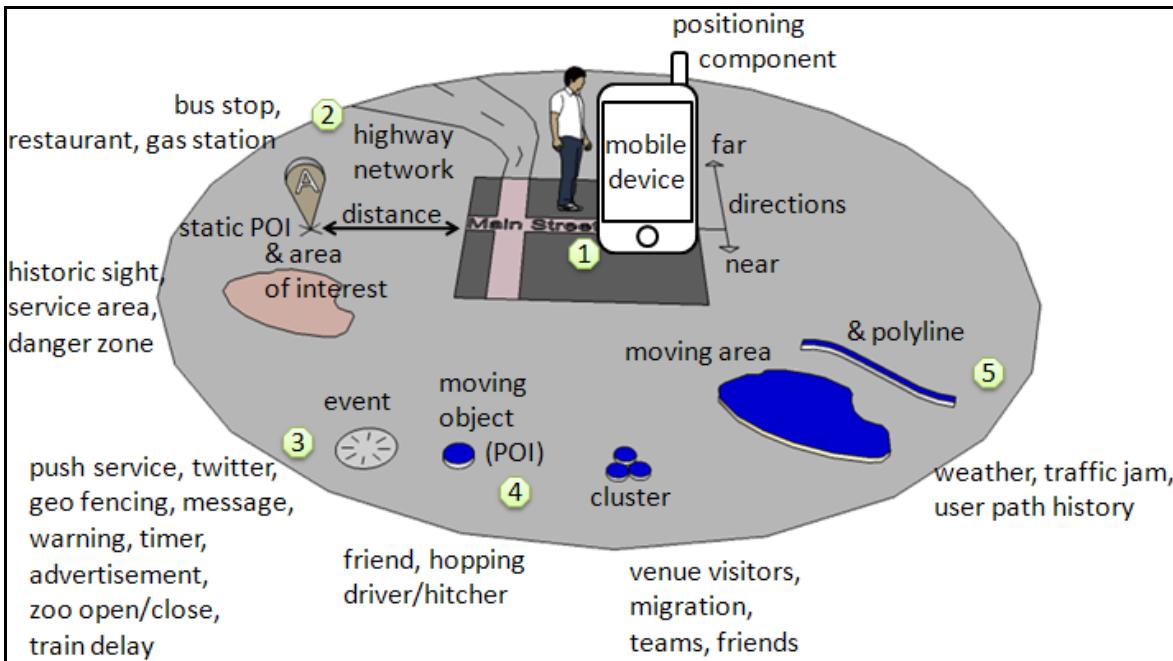


Abbildung 5.18 Kategorien von Objekten [Werkmann09]

Die speziellen Objekte lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen. In der Abbildung 5.18 werden fünf Kategorien dargestellt. Dabei bezieht sich die Kategorie 1 auf Objekte, welche sich in unmittelbarer Nähe zu der Position des Benutzers befinden und in der Fokus-Region dargestellt werden können. Es werden Straßen und bestimmte interessante Punkte dargestellt. Im Zusammenhang mit dem Anwendungsfall Navigation wird auch eine Markierung angezeigt, welche die aktuelle Position des Benutzers verdeutlicht. Des Weiteren bezieht sich die Kategorie 2 auf unbewegliche Objekte, welche weiter entfernt sind und nicht mehr in der Fokus-Region angezeigt werden können. Das können zum Beispiel Autobahnverbindungen, Sehenswürdigkeiten oder Parks sein. Die Kategorie 3 bezieht sich auf zeitabhängige und unbewegliche Objekte. Das können zum Beispiel Ereignisse sein, welche zu bestimmten Zeitpunkten eintreten und von Bedeutung sind, wenn der Benutzer sich in einem bestimmten Gebiet befindet. Weiterhin bezieht sich die Kategorie 4 auf bewegliche Objekte. Die Kategorie 5 bezieht sich ebenfalls auf bewegliche Objekte, wobei diese Objekte im Laufe der Zeit ihre Form verändern [Werkmann09].

Bei der Konzeption der Demonstration des Anwendungsfalls Navigation werden die fünf Kategorien teilweise berücksichtigt. Außerdem werden die verschiedenen Kategorien von Kontextinformationen berücksichtigt, welche Nivala und Sarjakovsk beschreiben und die in Kapitel 4.2.2 zum Teil dargestellt wurden [Nivala03]. Nivala empfiehlt in mobilen Situationen die Verwendung einer intelligenten kartographischen Anwendung, welche sich flexibel an die Situation des Benutzers anpasst. Dabei ist sich die intelligente kartographische Anwendung der verschiedenen Kontextinformationen wie Verwendungszweck, Zeit, Position des Benutzers, Orientierung, Navigationsverlauf und sozialer Elemente bewusst. Somit wird die Benutzbarkeit der mobilen Anwendung verbessert [Nivala03]. Im Zusammenhang mit der intelligenten kartographischen Anwendung demonstriert der Anwendungsfall Navigation, wie mit Hilfe der Mapcube-Visualisierungstechnik die Darstellung an die Situation des Benutzers angepasst werden kann.

### 5.3.2 Drehung der Anzeige

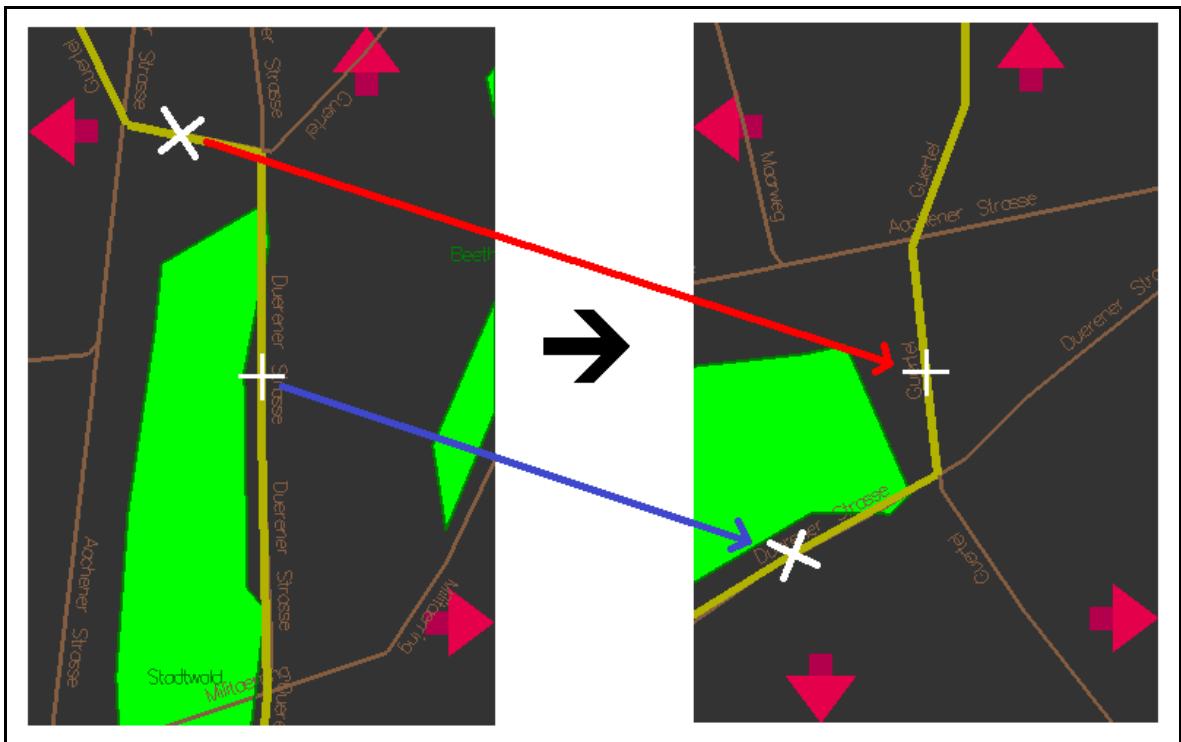


Abbildung 5.19 Drehung der Anzeige

Zur Berücksichtigung der Kontextinformation Orientierung wird die Anzeige so gedreht, dass der künftige Routenverlauf in der Anzeige nach oben verläuft. Dabei wird die Drehung immer dann angepasst, wenn sich die Position des Benutzers auf der Route ändert. In der Abbildung 5.19 wird dargestellt, wie sich die Drehung der Anzeige in Abhängigkeit von der Position des Benutzers ändert. In der Abbildung 5.19 symbolisiert der blaue Pfeil die Änderung der zukünftigen Position und der rote Pfeil die Änderung der aktuellen Position des Benutzers.

### 5.3.3 Darstellung der speziellen Objekte

Im Folgenden wird beschrieben, wie Objekte im Kontextbereich, die bezüglich der Navigationsaufgabe von Bedeutung sind, mit Hilfe der Mapcube-Visualisierungstechnik dargestellt werden. Hierbei werden folgende Objekte dargestellt.

1. Tankstelle
2. Restaurant mit einer alternativen Route
3. Hotel und Sehenswürdigkeiten
4. Park

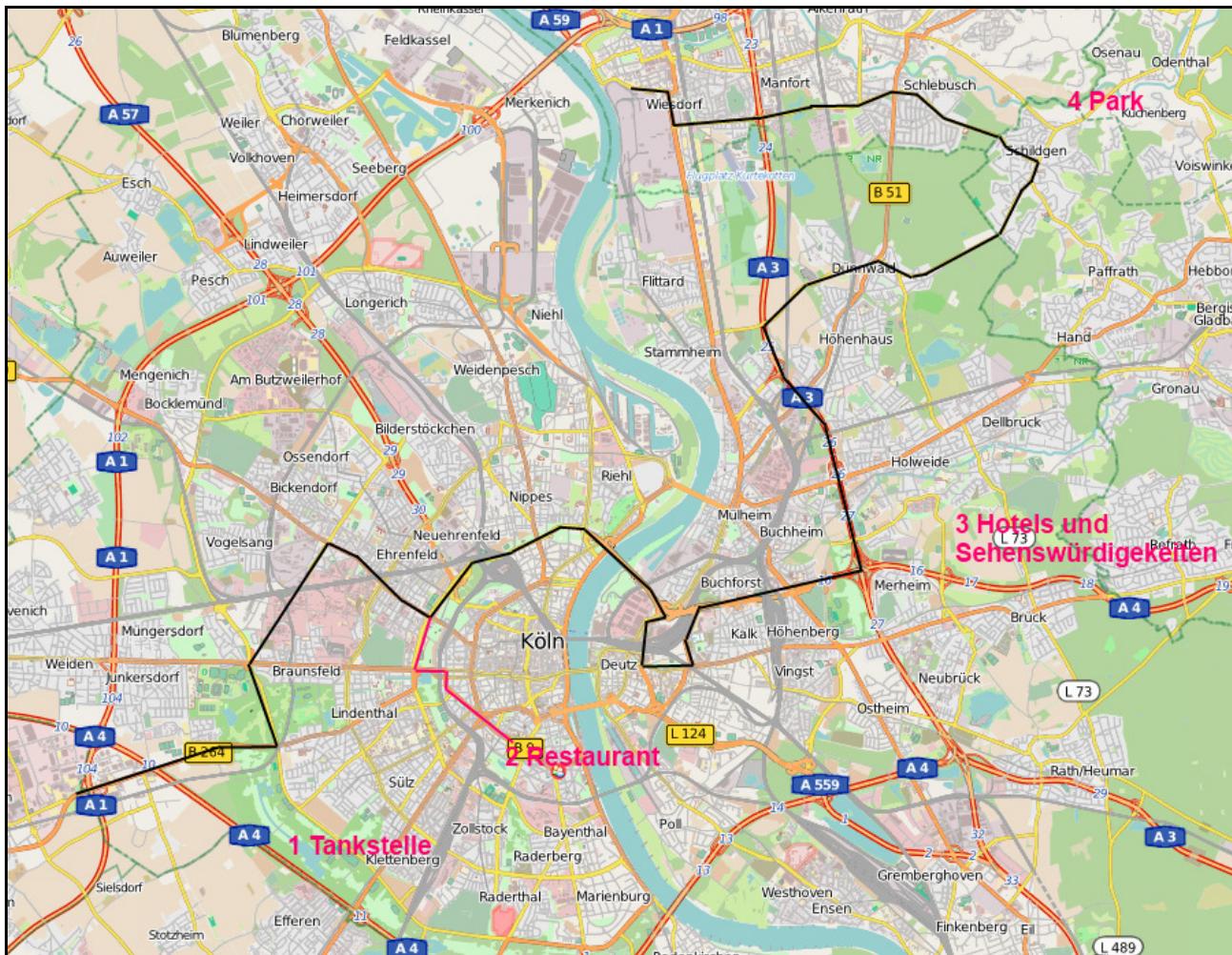


Abbildung 5.20 Übersicht der Route und der speziellen Objekte

In der Abbildung 5.20 wird dargestellt, wie die speziellen Objekte in Bezug auf die Route positioniert sind. Bei der Darstellung der speziellen Objekte werden mit Hilfe der Mapcube-Visualisierungstechnik Formen, Veränderungen von geographischen Informationsobjekten und Beziehungen zwischen geographischen Informationsobjekten angezeigt, welche durch eine Hinweis-basierte Technik nicht angezeigt werden können. Aus der Sichtweise der Geometrie gibt es mehrere Kategorien von geometrischen Elementen, welche in der Kontext-Region die speziellen Objekte darstellen. Diese geometrischen Elemente stehen in Beziehung zu der Linie, welche die Route darstellt. Im Einzelnen werden ein Punkt, ein Punkt mit einer Verbindungsline, eine Gruppe von Punkten, ein Polygon und eine sich verändernde Linie dargestellt.

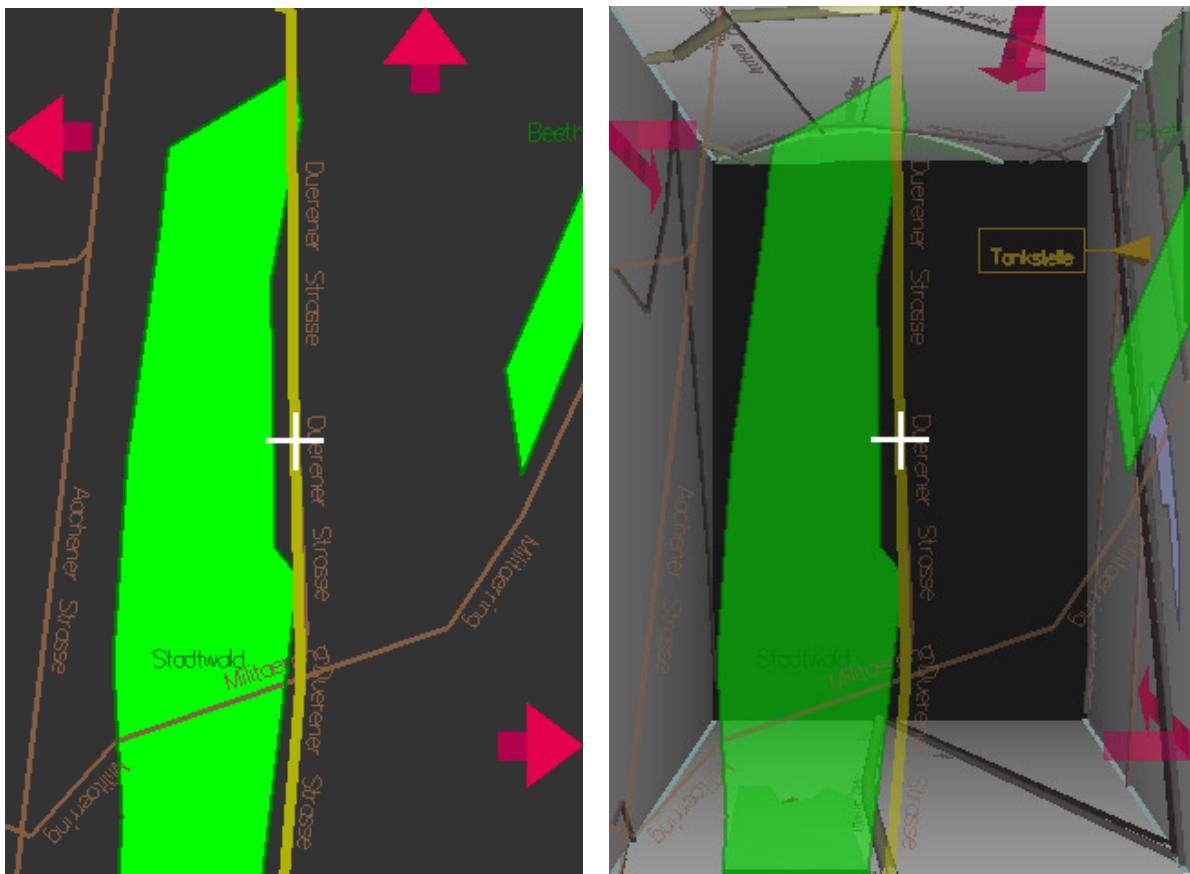


Abbildung 5.21 Darstellung einer Tankstelle in der Kontext-Region

Zu Beginn der Demonstration wird in die transparente Ansicht umgeschaltet, um eine Tankstelle in der Kontext-Region anzuzeigen. Hierbei ist die Tankstelle ein interessanter Punkt für den Benutzer, welcher in Zusammenhang mit der Navigationsaufgabe steht. In der Abbildung 5.21 wird dargestellt, wie der Park in der Kontext-Region dargestellt wird. Die transparente Anzeige wird aufgehoben, sobald der Park nicht mehr in der Kontext-Region dargestellt werden kann.

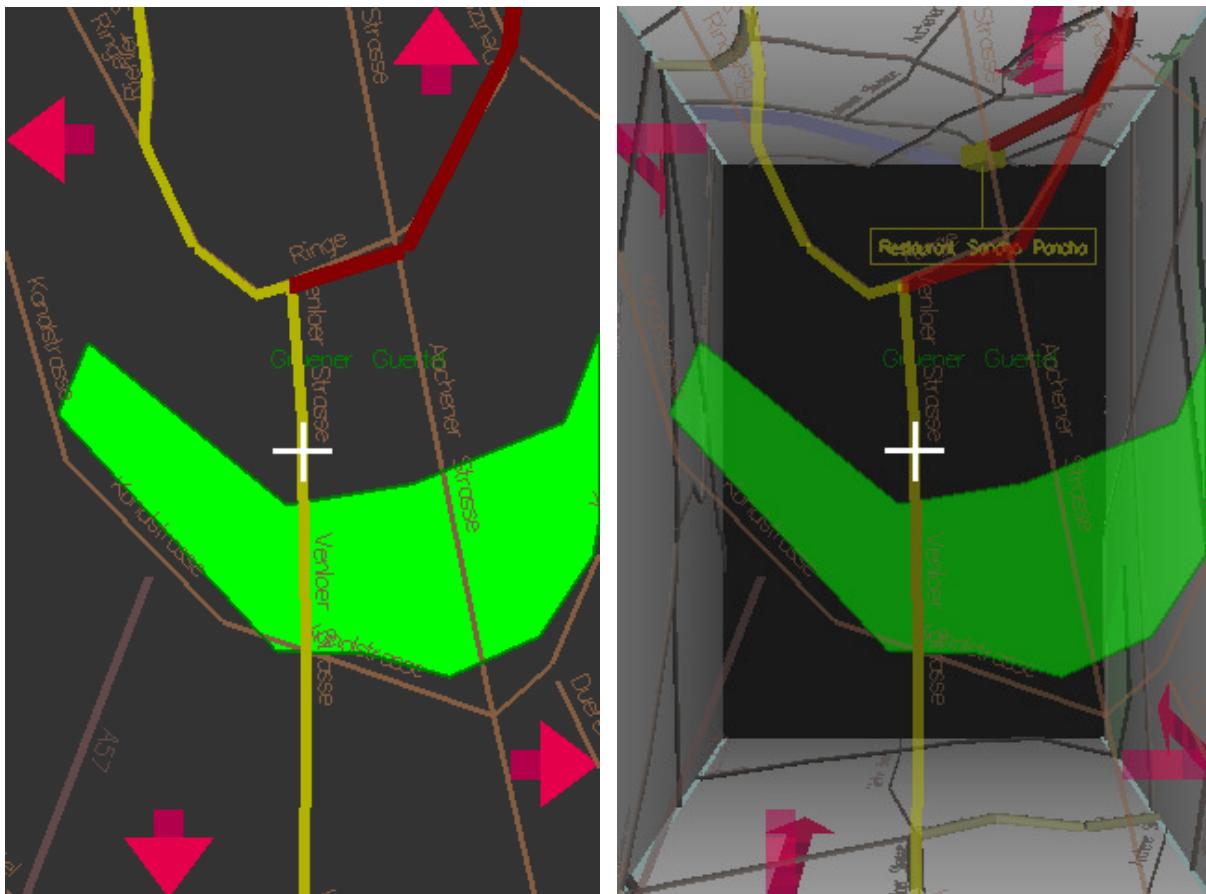


Abbildung 5.22 Darstellung eines Restaurants mit Routenvorschlag

Im weiteren Verlauf des Anwendungsfalls wird in die transparente Ansicht umgeschaltet, um ein Restaurant in der Kontext-Region darzustellen. Weiterhin wird eine alternative Route angezeigt, welche den Verlauf von der aktuellen Route zu dem Restaurant aufzeigt. In diesem Kontext ist das Restaurant der interessante Punkt, der im Zusammenhang mit der Aktivität des Benutzers steht. Die alternative Route ist die Verbindung von der aktuellen Route zu dem interessanten Punkt. Durch die transparente Ansicht kann der Benutzer den Verlauf der alternativen Route sowohl in der Fokus- als auch in der Kontext-Region erkennen. In der Abbildung 5.22 wird die Darstellung der alternativen Route abgebildet. Die transparente Anzeige wird aufgehoben, sobald das Restaurant nicht mehr in der Kontext-Region dargestellt werden kann.

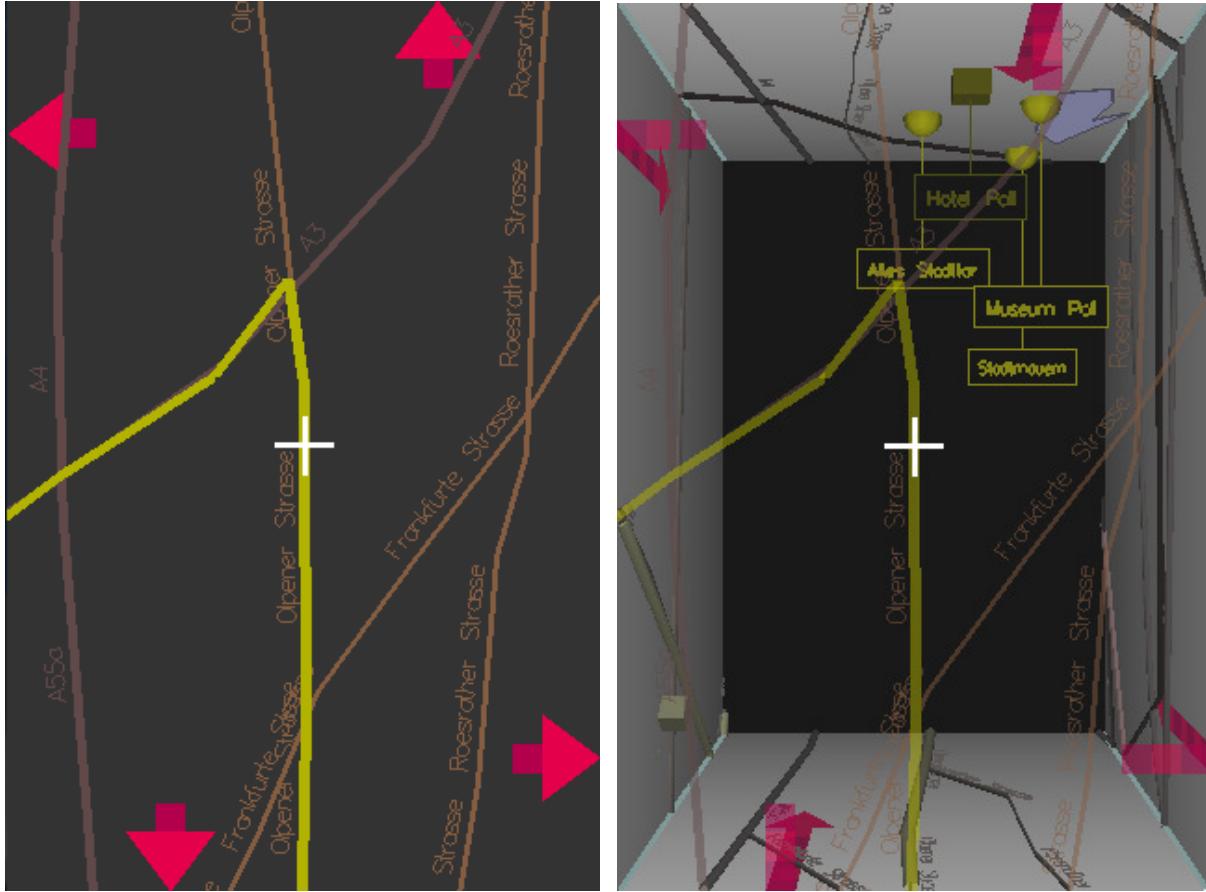


Abbildung 5.23 Darstellung eines Hotel mit Sehenswürdigkeit

Anschließend wird in transparente Ansicht umgeschaltet, um ein Hotel zusammen mit mehreren Sehenswürdigkeiten darzustellen. Hierbei kann durch die Darstellung der Kontext-Region der Benutzer erkennen, wie die Sehenswürdigkeiten in Beziehung zu der Position des Hotels stehen. Dadurch kann der Benutzer entscheiden, ob das Hotel auf Grund der nahegelegenen Sehenswürdigkeiten von Bedeutung ist. Nachdem das Hotel nicht mehr in der Kontext-Region dargestellt werden kann, wird die transparente Ansicht wieder aufgehoben. In der Abbildung 5.23 wird dargestellt, wie das Hotel zusammen mit den Sehenswürdigkeiten abgebildet wird.

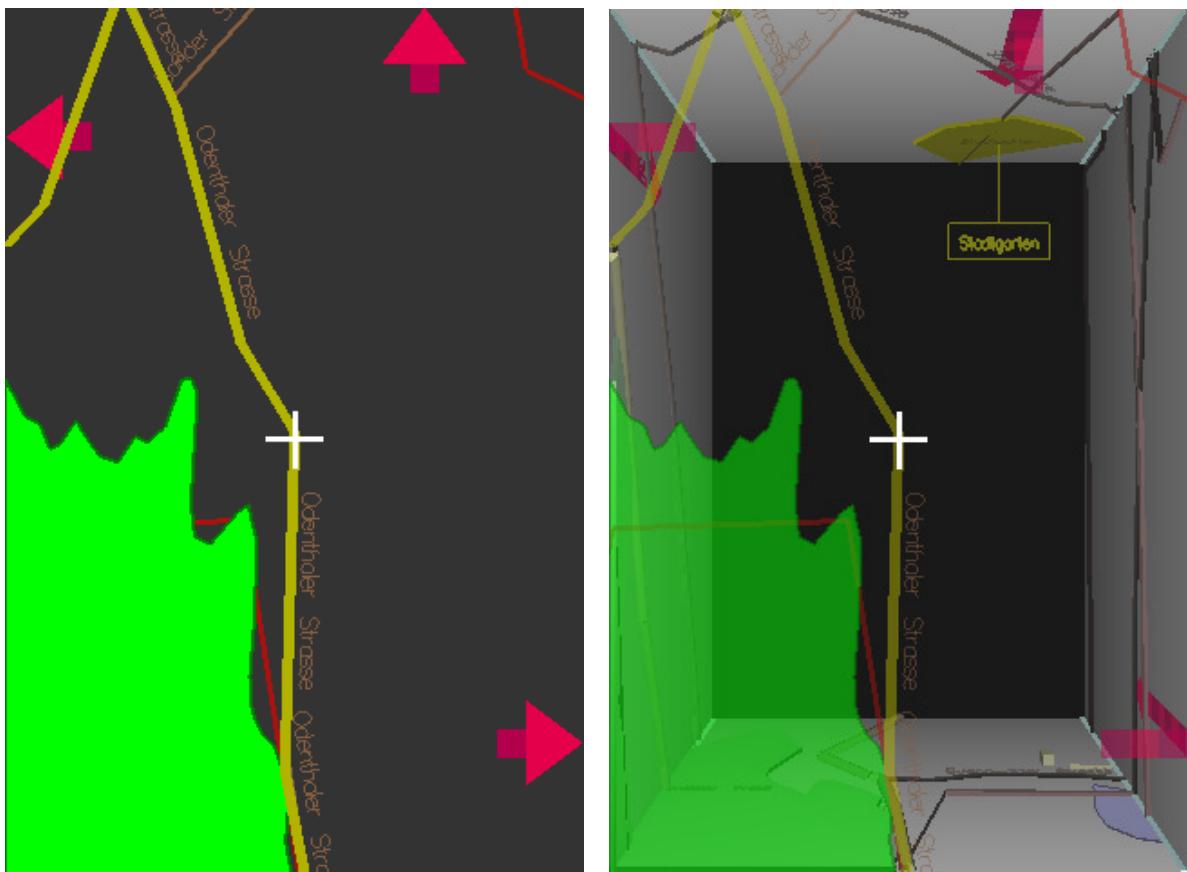


Abbildung 5.24 Darstellung eines Parks in der Kontext Region

Danach wird wieder in die transparente Ansicht umgeschaltet, um die Position eines Parks in der Kontext-Region darzustellen. Hierbei wird in der Kontext-Region ein Polygon dargestellt, welches durch eine Hinweis-basierte Technik nicht dargestellt werden könnte. In der Abbildung 5.24 wird dargestellt, wie der Park in der Kontext-Region abgebildet wird.

# 6 Entwurf

## 6.1 Software-Architektur

Im Folgenden wird eine Architektur festgelegt, die die gesamte Mapcube-Software in Komponenten zerlegt. Für die Entwicklung der Mapcube-Software wird die Drei-Schichten-Architektur verwendet. Die Drei-Schichten-Architektur zerlegt das Gesamtsystem in drei Schichten, wobei man hier zwischen der Präsentationsschicht, Anwendungsschicht und Datenverwaltungsschicht unterscheidet [Seemann00].

## 6.2 Systemzerlegung

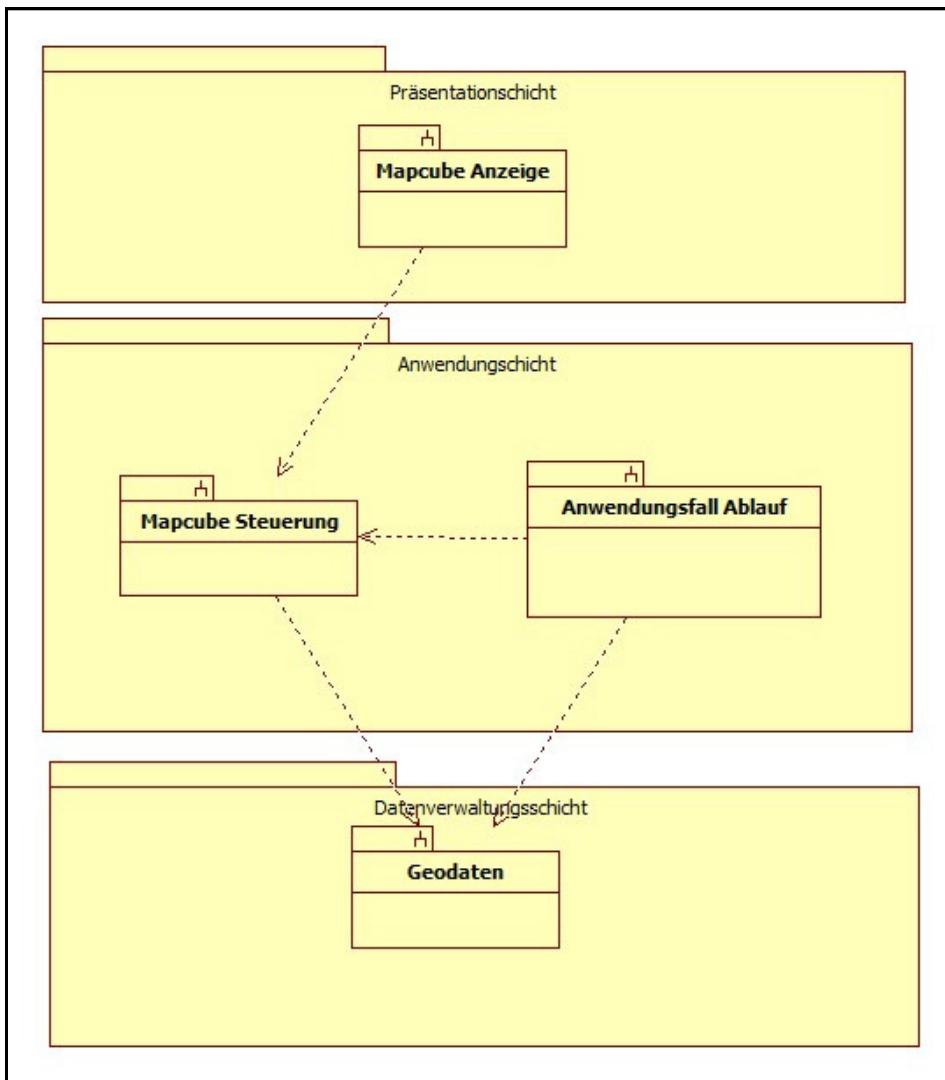


Abbildung 6.1 Systemzerlegung

Das Gesamtsystem wird in Subsysteme zerlegt, die auf die einzelnen Schichten der Architektur abgebildet werden. In der Abbildung 6.1 werden die Subsysteme und deren Beziehung zueinander dargestellt. Das Subsystem „Mapcube Anzeige“ stellt die Kartenflächen dar und übernimmt die sonstigen Anzeigefunktionen. Das Subsystem „Mapcube Steuerung“ dient zur Auswertung der Benutzereingaben. Dabei übergibt das Subsystem „Mapcube Steuerung“ die Benutzereingaben an das Subsystem „Anwendungsfall Ablauf“. In Abhängigkeit von den Benutzereingaben wird der Programmablauf von dem Subsystem „Anwendungsfall Ablauf“ gesteuert. Das Subsystem „Eingabeverarbeitung“ wertet die Aktionen wie Verschiebung, Umschalten der Ansicht und

Zoomen aus. Anhand der Auswertung wird die Mapcube-Anzeige angepasst.

### 6.3 Klassenentwurf

Für die Subsysteme werden Objekte gefunden, die eine Teilfunktion des gesamten Subsystems abdecken. Die Objekte werden in Form von Klassen beschrieben. Es wird für jedes Subsystem ein Klassendiagramm modelliert, das die Klassen und deren Beziehungen untereinander grafisch darstellt. Die Klassendiagramme für die Geodaten werden hier nicht modelliert. Es werden die vorhanden Datenmodelle aus der Konzeptionsphase übernommen.

#### 6.3.1 Klassendiagramm Mapcube Anzeige

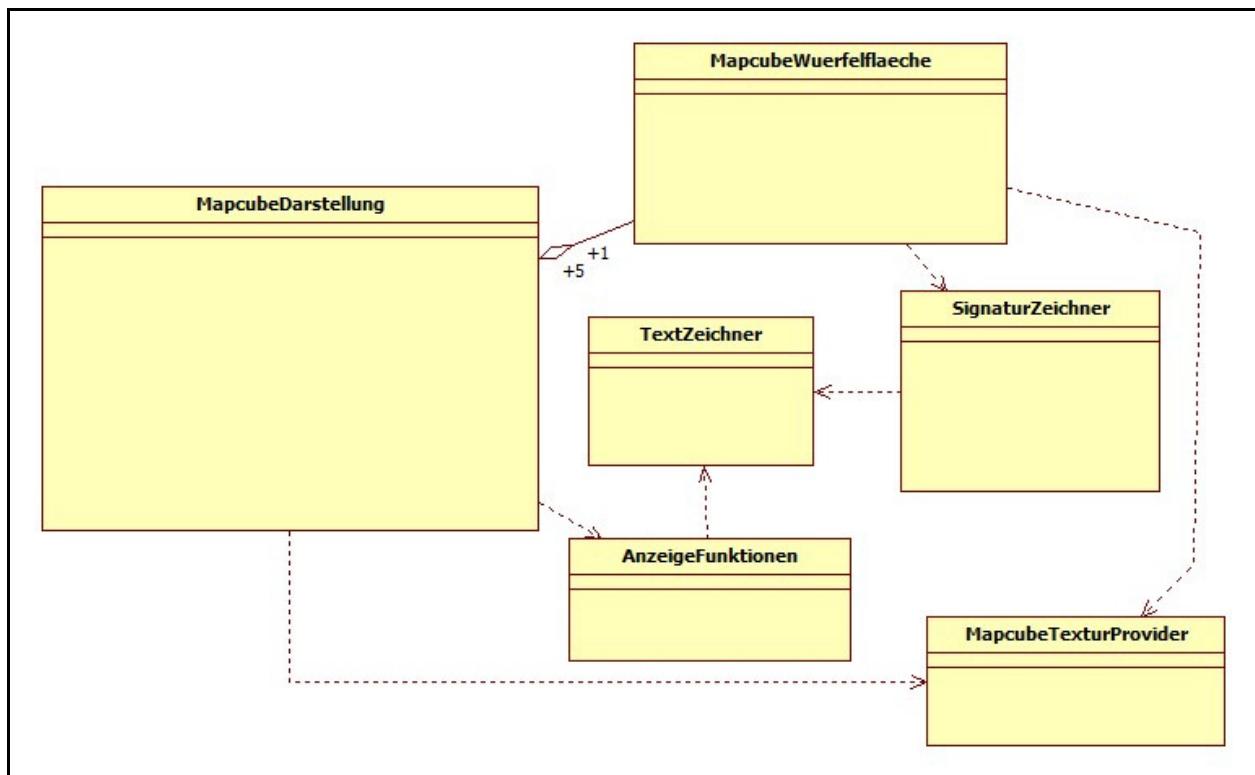


Abbildung 6.2 Vereinfachtes Klassendiagramm Mapcube Anzeige

In der Abbildung 6.2 wird das Klassendiagramm für das Subsystem „Mapcube Anzeige“ dargestellt. Hierbei erfüllt jede Klasse Teilfunktionen für die Darstellung der Kartenflächen und der sonstigen Anzeigefunktionen. Die Klasse „MapcubeDarstellung“ bietet Funktionen für das Zoomen, Verschieben, Umschalten der Ansicht und die Benutzerinteraktionen an. Zudem werden Funktionen für das Hinzufügen, Entfernen und Hervorheben von geographischen Informationsobjekten zur Verfügung gestellt. Die Klasse „MapcubeDarstellung“ initialisiert und passt die assoziierten Objekte mit der Klasse „MapcubeWürfelfläche“ in Abhängigkeit von dem zugeordneten Kartenausschnitt an. Des Weiteren dient die Klasse „MapcubeWürfelfläche“ dazu, die einzelnen Signaturen in der Anzeige zu positionieren. Für die Darstellung der Signaturen ist die Klasse „SignaturZeichner“ zuständig. In der Klasse „AnzeigeFunktionen“ sind mehrere Methoden enthalten, welche die sonstigen Anzeigefunktionen realisieren. Dabei setzen sich die sonstigen Anzeigefunktionen im Einzelnen aus der Darstellung der Perception Cues, dem Hervorheben der Objekte, der Anzeige von Texthinweisen und der Darstellung von Hinweisen (HALO) zusammen. Für die Darstellung der Textzeichen ist die Klasse „TextZeichner“ zuständig. Die Klasse „MapcubeTexturProvider“ lädt die Kacheln und

erzeugt aus den Kacheln die Texturen. Dabei sind die Kacheln gleichgroße Teilstücke einer Karte.

### 6.3.2 Klassendiagramm Benutzertest Ablauf

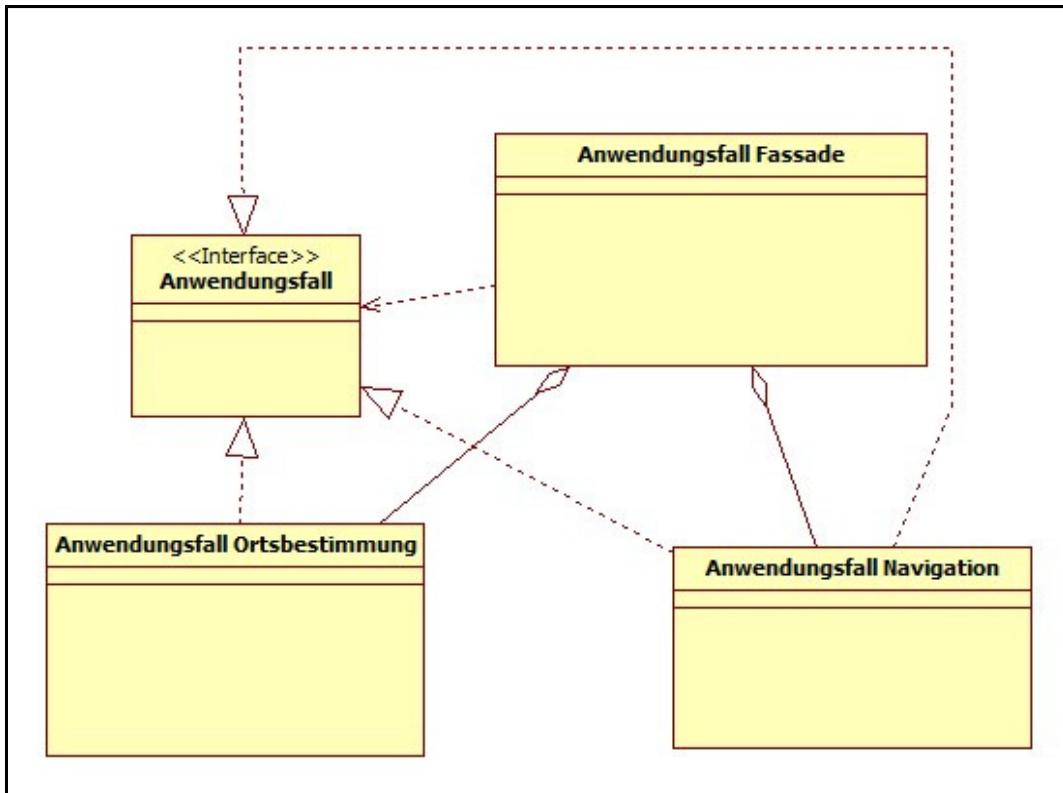


Abbildung 6.3 Vereinfachtes Klassendiagramm Anwendungsfall Ablauf

Die Objekte des Subsystems „Anwendungsfall Ablauf“ werden in der Abbildung 6.3 dargestellt. Für jeden Anwendungsfall wird eine Klasse angelegt. Diese Klassen implementieren eine gemeinsame Schnittstelle, die Funktionen zur Initialisierung des Anwendungsfalls, zum Verarbeiten der Eingaben und zur Statusabfrage zur Verfügung stellen. Die Klasse Anwendungsfall Fassade stellt eine Schnittstelle zur Verfügung, um mit den Objekten des Subsystems Anwendungsfall Ablauf zu kommunizieren. Dazu legt die Klasse den aktuellen Anwendungsfall an und stellt die Schnittstelle des aktuellen Anwendungsfalls zur Verfügung.

### 6.3.3 Klassendiagramm Mapcube Steuerung

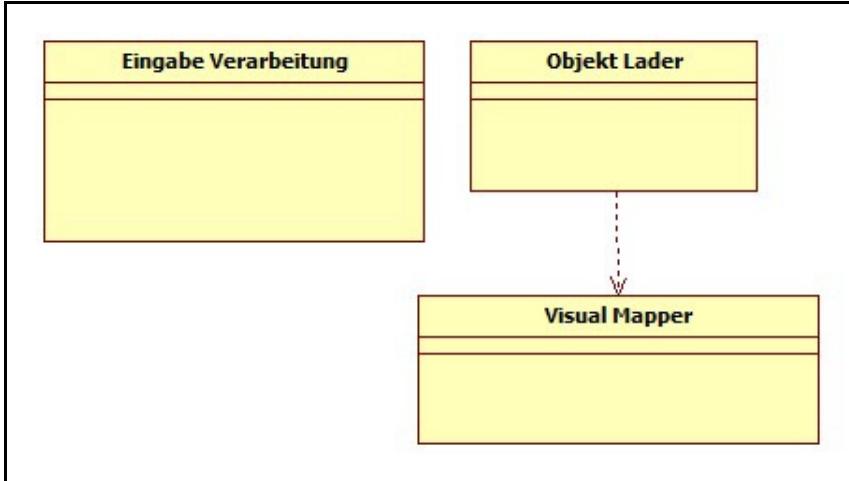


Abbildung 6.4 Vereinfachtes Klassendiagramm Mapcube Steuerung

In der Abbildung 6.4 werden die Objekte des Subsystems „Mapcube Steuerung“ dargestellt. Die Klasse „EingabeVerarbeitung“ dient dazu, die Eingaben wie Mausbewegungen und Mausklicks auszuwerten. Anhand dieser Eingaben passt die Klasse „EingabeVerarbeitung“ die Position, Breite und Höhe des Kartenausschnitts an, der in der Anzeige dargestellt wird. Die Klasse „ObjektLader“ liest eine Beschreibung zu den geographischen Informationsobjekten aus einer Datei ein. Die Beschreibung ist in diesem Zusammenhang eine Liste von Daten, die Informationen wie zum Beispiel Bezeichnungen, Objekttypen und geographische Positionen beinhalten. Des Weiteren ist es Aufgabe der Klasse „ObjektLader“ anhand der Beschreibung Objekte des Typs geographisches Informationsobjekt mit zugehörigen Geometrien zu instanziieren. Die Klasse „ObjektLader“ übergibt die erzeugten Objekte der Klasse „VisualMapper“, welche den Objekten zweidimensionale und dreidimensionale Signaturen zuordnet.

## 6.4 Entwurfsmuster

In dem folgenden Kapitel werden die Entwurfsmuster beschrieben, die für die Entwicklung des Mapcubes verwendet werden. Dabei setzen sich die eingesetzten Entwurfsmuster im Einzelnen aus den Entwurfsmustern Singleton, Fassade und Beobachter zusammen.

### 6.4.1 Entwurfsmuster Singleton

Bestimmten Klassen sind Vorlagen für genau eine Instanz eines Objekts. Um genau die eine Instanz zur Verfügung zu stellen, wird das Entwurfsmuster Singleton verwendet. Hierbei ist das Entwurfsmuster Singleton relevant für die Klassen „MapcubeDarstellung“, „AnwendungsfallFassade“, „EingabeVerarbeitung“, „ObjektLader“, „VisualMapper“, „Messen“ und „MapcubeTexturProvider“. Jede dieser Klassen verfügt über eine statische Funktion, die die einzige Instanz erzeugt und deren Rückgabewert die Instanz ist [Gamma01].

### 6.4.2 Entwurfsmuster Beobachter

Um den Ablauf des Anwendungsfall zu steuern, muss das Objekt des aktuellen Anwendungsfalls über Eingaben des Benutzers informiert werden. Dazu wird das Entwurfsmuster Beobachter verwendet. Sobald sich der Zustand eines Objekts ändert, werden den Beobachtern des Objekts die Änderungen mitgeteilt. Im konkreten Fall ist das zu beobachtende Objekt das Objekt „EingabeVerarbeitung“ und der Beobachter ist das Objekt des aktuellen Anwendungsfalls. Hierbei wird in der Klasse „EingabeVerarbeitung“

eine Funktion „attach“ eingebaut, um ein oder mehrere Beobachter zu registrieren. Zudem werden in der Klasse „EingabeVerarbeitung“ Funktionen implementiert, um den Zustand des Objekts abzufragen. Die Klassen für die Benutzertests implementieren das Interface „Observer“. Bei einer Zustandsänderung wird die Methode „update“ des Interface „Observer“ aufgerufen. Der wesentliche Vorteil des Entwurfsmusters liegt in der losen Kopplung. Durch die lose Kopplung ist das Objekt „EingabeVerarbeitung“ nicht abhängig von einem bestimmten Anwendungsfall [Gamma01].

#### **6.4.3 Entwurfsmuster Fassade**

Um die Kommunikation mit dem Subsystem zu vereinfachen, wird hier das Entwurfsmuster Fassade eingesetzt. Hierbei ist Klasse „AnwendungsfallFassade“ die Schnittstelle, die die Kommunikation mit dem Subsystem „AnwendungsfallAblauf“ ermöglicht. Der wesentliche Vorteil des Entwurfsmusters liegt in der Verringerung der Abhängigkeiten zwischen den Subsystemen [Gamma01].

# **7 Umsetzung**

## **7.1 Einleitung**

Zur Umsetzung der Mapcube-Software werden verschiedene Frameworks und Technologien eingesetzt, die im Folgenden vorgestellt werden. Hierbei wird die Technologie Java Applet, die Programmierschnittstelle Java OpenGL und die Programmierschnittstelle JTS Topology Suite eingesetzt.

## **7.2 JOGL, OpenGL, OpenGL ES**

### **7.2.1 JOGL**

JOGL ist eine plattformunabhängige Programmierschnittstelle zur Entwicklung von 2D- und 3D-Computergrafik. JOGL ist die Abkürzung von Java OpenGL. JOGL erlaubt den vollen Zugriff auf die Programmierschnittstelle OpenGL mit der Spezifikation 2.0. OpenGL und wird in dem Kapitel 2.2 detaillierter beschrieben. Dabei kann JOGL mit dem AWT oder Swing Framework kombiniert werden. JOGL kann sowohl für die Entwicklung von Desktop Applikation als auch von Applets verwendet werden.

### **7.2.2 OpenGL**

OpenGL ist eine plattformunabhängige Grafikprogrammierschnittstelle, welche die Darstellung von zwei- und dreidimensionalen Objekten ermöglicht. Die Objekte werden durch Vertices beschrieben [Orlamunder11]. Hierbei sind die Vertices 3D-Vektoren, die die Eckpunkte eines Primitivs im Raum beschreiben. Dabei setzen sich die Primitiven im Einzelnen aus elementaren geometrischen Formen wie zum Beispiel Punkte, Linien oder Polygonen zusammen. OpenGL ist ein Zustandsautomat [Nischwitz07]. Hierbei werden mittels Zustandsvariablen bestimmte Eigenschaften wie zum Beispiel Farbe, Lichtquellen, Transparenz und Kantenglättung für die Darstellung der Objekte festgelegt. Die Zustandsvariablen bleiben für folgende Operationen so lange wirksam, bis die Zustandsvariablen geändert werden.

Im konkreten Fall des Mapcubes kann deshalb die Transparenz für die Darstellung der Signaturen in der Fokus-Region einmalig festgelegt werden. Zudem können die Eigenschaften der Lichtquelle einmalig festgelegt werden.

Die OpenGL Befehle verwenden das Präfix „gl“. Nach dem Präfix folgt ein Name, der mit einem Großbuchstaben beginnt. In der Regel enden die OpenGL Befehle mit einem Suffix, der beschreibt, wie viele Argumente und welche Datentypen übergeben werden. Zum Beispiel wird mit dem Befehl glColor3f die Farbe für die folgenden Vertices festgelegt. Dabei werden 3 Argumente mit dem Datentyp float übergeben [Neider97].

Im Zusammenhang mit OpenGL wird die Bibliothek GLU (OpenGL Utility Library) verwendet, die Funktionen bereitstellt, die Low Level OpenGL Befehle benutzen. Zum Einen werden Befehle für die Darstellung von komplexeren Primitiven wie Kugeln und Scheiben zur Verfügung gestellt, die für die Darstellung der Signaturen verwendet werden können. Zum Anderen werden Funktionen für die Tesselation zur Verfügung gestellt. Dabei ist die Tesselation eine Technik, die konkave Polygone in konvexe Polygone zerlegt. Die Zerlegung ist notwendig, da die OpenGL Schnittstelle konkave Polygone nicht direkt darstellen kann. Zur Darstellung von Signaturen für Parks oder Seen wird die Verwendung von Tesselation und die Darstellung von konkaven Polygonen benötigt. Im Folgenden wird kurz beschrieben, welche Schritte das System von OpenGL vornimmt, um eine 3D-Szene auf den Bildschirm darzustellen.

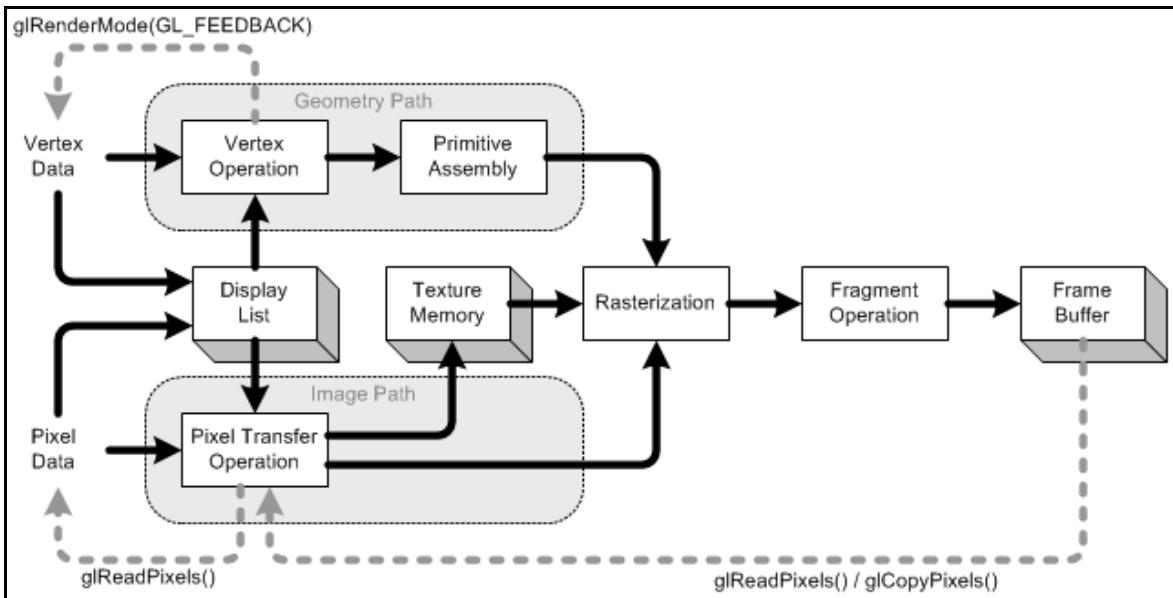


Abbildung 7.1 OpenGL Pipeline [http://www.songho.ca/opengl/gl\\_pipeline.html](http://www.songho.ca/opengl/gl_pipeline.html)

Zur Darstellung einer 3D Szene sind mehrere Rechenschritte notwendig. In der Abbildung 7.1 werden die einzelnen Rechenschritte dargestellt. Hierbei werden zwei Arten von Daten bearbeitet. Einerseits werden Vertexdaten verarbeitet, die geometrische Formen wie Punkte, Linien oder Polygone beschreiben. Andererseits werden Bild-Daten verarbeitet, die die Zusammensetzung einzelner Bilder beschreiben. Die Vertexdaten können zu Display Lists zusammengefasst und unter einem bestimmten Namen in den Speicher abgelegt werden. Mit Hilfe dieses Namens können die Display Lists aufgerufen und verarbeitet werden (retained mode). Die Vertexdaten können aber auch direkt verarbeitet (immediate Mode) oder in Form von Vertex Arrays übergeben werden. In allen Fällen werden im Folgenden die Vertexdaten transformiert. Dabei werden die Vertexdaten positioniert, gedreht und skaliert. Des Weiteren wird eine Projektionstransformation durchgeführt, die die 3D-Koordinaten auf eine 2D-Bildecke abbildet. Ebenfalls werden die Beleuchtungsrechnungen durchgeführt, die anhand der Normalenvektoren und der Eigenschaften der Lichtquelle die Farben der Eckpunkte berechnen. Die Rasterisierung berechnet den Farbwert für jeden Bildpunkt, den ein Polygon bedeckt. Anschließend werden mit den Fragment-Operationen diese Farbwerte mit den Farbwerten der Texturen vermischt. Es werden zudem die Berechnungen für Nebel, Kantenglättung, Sichtbarkeitstests, Transparenz und Verdeckungen durchgeführt. Das Ergebnis der Berechnung wird in den Bildspeicher (Framebuffer) geschrieben [Nischwitz07].

### 7.2.3 OpenGL ES

Wie in der Anforderungsanalyse beschrieben, soll bei der Entwicklung des Mapcube-Prototyps berücksichtigt werden, daß die Software ursprünglich für mobile Geräte vorgesehen ist. Um die Portierbarkeit zu gewährleisten, muss die Spezifikation der Programmierschnittstelle OpenGL ES berücksichtigt werden. Hierbei ist OpenGL ES eine Vereinfachung der OpenGL Programmierschnittstelle. Bei der Entwicklung der OpenGL ES Programmierschnittstelle wurden die Beschränkungen von mobilen Geräten berücksichtigt. Diese Beschränkungen setzen sich im Einzelnen aus der eingeschränkten Rechenkapazität, dem niedrigen Speichervolumen, der niedrigen Speicherbandbreite und der kleinen Darstellungsfläche zusammen. Es wurden redundante und weniger performante Funktionen entfernt. Aus diesem Grund können Vertex Daten nicht direkt oder in Form von Display Lists übergeben werden. Es können nur Vertex Arrays verarbeitet werden, die die performanteste Lösung darstellen. Des Weiteren unterstützt OpenGL ES

nicht den Datentyp „double“. Stattdessen muss der Datentyp „float“ verwendet werden. Im Gegensatz zu diesen Einschränkungen werden die Funktionen Beleuchtung und Alpha Blending in gleicher Weise wie bei OpenGL unterstützt. Außerdem ist die Bibliothek GLU verfügbar. Sowohl die Funktionen zur Darstellung von komplexen Primitiven als auch die Funktionen für die Tesselation sind ohne Einschränkungen verfügbar [Neider97].

### 7.3 Java-Applet

Applets sind Java Programme, welche in eine Webseite eingebunden werden. Daher wird in der Regel das Applet in einem Webbrowser ausgeführt. Der Applet-Code wird auf das System des Nutzers übertragen und auf dem Client ausgeführt [vgl. <http://java.sun.com/applets/>, Abruf am 2.3.2011]. Grundsätzlich sind Java-Applets plattform- und betriebssystemunabhängig. Für die Ausführung des Java-Applets wird auf dem Client eine Java Virtual Machine benötigt. In der Regel werden Java-Applets in einer Java Virtual Machine innerhalb des Browser ausgeführt.

Mit der Einführung der Technologie Java Web Start für Applets wird ein separater Java Virtual Machine Prozess gestartet. Im Zusammenhang mit der Java Web Start Technologie wird eine JNLP Datei konfiguriert, die festlegt, wie das Applet gestartet wird und welche Komponenten das Applet benötigt. Startet man das Applet, wird überprüft, ob die Komponenten sich im Cache des Clients befinden und ob neuere Komponenten vorliegen. Fehlende Komponenten werden heruntergeladen [Vgl. <http://java.sun.com/developer/technicalArticles/javase/newapplets>, Abruf am 3.3.2011]. Dabei werden insbesondere die Komponenten heruntergeladen, die das Mapcube Applet für Java OpenGL benötigt. In Abhängigkeit von dem Betriebssystem und der Plattform werden die nativ kompilierten Komponenten für Java OpenGL heruntergeladen. Es sind Komponenten für die Betriebssysteme MacOS, Windows, SunOS und Linux verfügbar.

Da Applets bei einem Aufruf einer Webseite direkt ausgeführt werden, unterliegen die Applets zahlreichen Sicherheitsbeschränkungen. Im Einzelnen betrifft das das Ausführen von lokalen Programmdateien, das Lesen und Schreiben von lokalen Dateien und die Kommunikation mit Servern, die sich von dem aufgerufenen Server unterscheiden. Die Sicherheitsbeschränkungen können aufgehoben werden, indem das Applet signiert wird. Im Zusammenhang mit der Mapcube Software ist die Signierung notwendig, um die nativ kompilierten Komponenten zu laden und initialisieren. Ein signiertes Applet benötigt jedoch die Zustimmung des Nutzers, um ausgeführt zu werden [Horstmann00].

Applets können JavaScript Funktionen aufrufen. Auch können JavaScript Funktionen Methoden des Applets aufrufen. Diese Funktion wird für den Benutzertest Ortsbestimmung verwendet, um die Zeitmessung zu starten.

### 7.4 JTS Topology Suite

Die JTS Topology Suite stellt Programmierern eine Schnittstelle mit einem zweidimensionalen Objektmodell für geographische Daten und geometrische Funktionen zur Verfügung. Es werden verschiedene Geometrietypen wie zum Beispiel Punkt, Linie oder Polygon zur Verfügung gestellt. Für jeden Geometriotyp ist eine entsprechende Objektklasse definiert, die von der abstrakten Klasse „Geometry“ erbt. Instanzen von Klassen, die von der Klasse „Geometry“ erben, verfügen über verschiedene geometrische Funktionen. Beispielsweise werden geometrische Funktionen zur Berechnung von Abständen, Schnittpunkten und Schnittflächen Verfügung gestellt. Im Zusammenhang mit der Mapcube-Software werden diese geometrischen Funktionen verwendet, um zu prüfen, ob die Geometrie eines geographischen Informationsobjektes in einer Darstellungsfläche enthalten ist oder diese schneidet. Die Geometrien bestehen aus einer oder mehreren Koordinaten. Die JTS stellt die Funktion „getCoordinates“ zur Verfügung, um die

einzelnen Koordinaten einer Geometrie auszulesen. Diese Koordinaten werden in Vertexdaten transformiert, die die Lage und Form einer Signatur beschreiben.

```
POINT(6 10)
LINESTRING(3 4,10 50,20 25)
POLYGON((1 1,5 1,5 5,1 5,1 1),(2 2,2 3,3 3,3 2,2 2))
```

Abbildung 7.2 Beispiel für das Well-Known Text Format

Durch die Verwendung des Well-Known Text Formats können Geometrien alphanumerisch dargestellt werden. In der Abbildung 61 werden Beispiele für die alphanumerische Darstellung aufgezeigt. Mit dem Well-Known Text Format lassen sich Geometrien in ein Datenbank Feld einer Datenbank mit Spatial Erweiterung speichern. Bei der Mapcube Software werden dagegen die Geometriedaten im Well-Known Text in einer XML Datei gespeichert und ausgelesen. In dem folgenden Kapitel wird beschrieben, wie die Geometriedaten in einer XML Datei gespeichert werden. Die JTS Topology Suite stellt mit der Klasse WKTReader eine Möglichkeit zum Einlesen von Geometriedaten im Well-Known Text Format zur Verfügung. Diese Klasse wird dazu genutzt, um die Geometriedaten aus der XML Datei in das JTS-Geometriemodell einzulesen [Davis11]

## 7.5 XML

Wie in dem Kapitel Entwurf beschrieben, liest die Klasse „ObjektLader“ eine Beschreibung zu den geographischen Informationsobjekten aus einer Datei ein. Hierbei werden Beschreibungen in einer XML Datei gespeichert, deren Aufbau im Folgenden kurz beschrieben wird.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<objects>
    <object>
        <geometry>POLYGON      ((7.0674977800000045      50.92755397333333,
7.068847100000005 50.92969763777778, ...)</geometry>
        <objclass>OBJTYPE_SEA</objclass>
        <name>Neubruecker See</name>
        <description></description>
        <use>USE_MAP</use>
    </object>
    <object>
        <geometry>LINESTRING      (6.966009640000001      50.94994957674697,
6.956757160000001 50.95045728674697, ...)</geometry>
        <objclass>OBJTYPE_STREET</objclass>
        <name>Ringe</name>
        <description></description>
        <use>USE_MAP</use>
    </object>
    ...
</objects>
```

Abbildung 7.3 Aufbau XML Datei

In der Abbildung 7.3 wird der Aufbau der XML Datei aufgezeigt. In dieser XML Datei ist das objects-Tag das Root-Element, welches alle Beschreibungen zu den einzelnen geographischen Informationsobjekten in den Object-Elementen beinhaltet. Innerhalb des Object-Elementes gibt es vier Elemente, die die Geometrie, einen Namen, eine

Beschreibung und den Verwendungszweck beinhalten. Bei der Beschreibung der Geometrie wird das Well-Known Text Format verwendet.

## 7.6 Persistierung der Messdaten

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Messdaten in einer Datenbank persistiert werden. Nachdem der Proband den Benutzertest Ortsbestimmung und Lokalisierung beendet hat, wird ein serverseitiges Script (PHP) ausgeführt, welches die Messdaten in einer Datenbank (MySQL) speichert. Dabei werden im Einzelnen die Benutzereingaben aus den Eingabefeldern, die Zeitmessung aus einem versteckten Eingabefeld und der Identifikations Parameter des Probanden in der Datenbank gespeichert.

## 7.7 Überblick

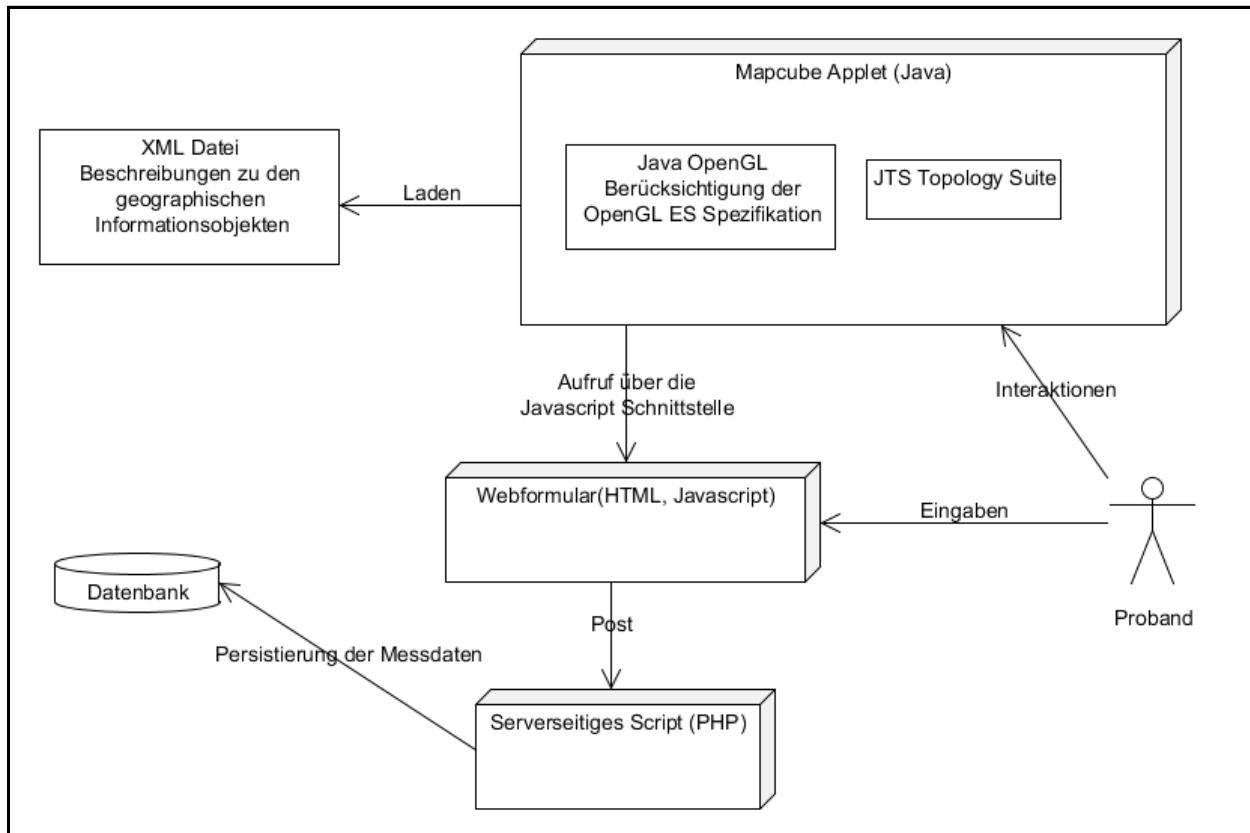


Abbildung 7.4 Zusammenwirken der Technologien

In der Abbildung 7.4 wird das Zusammenwirken der vorgestellten Technologien aufgezeigt. Hierbei interagiert der Proband mit dem Webformular und dem Mapcube Applet. Das Mapcube Applet wird in Java umgesetzt, wobei hier die Technologie Java OpenGL eingesetzt und die JTS Topology Suite eingebunden wird. Das Mapcube Applet lädt die Beschreibungen zu den geographischen Informationsobjekten aus einer XML Datei. Die Kommunikation zwischen dem Applet und dem Webformular wird mit Javascript realisiert. Das Webformular ruft ein serverseitiges Script auf, welches die Messdaten in der Datenbank speichert.

# **8 Evaluation**

Innerhalb dieses Kapitels 8 werden sowohl die empirische als auch analytische Evaluation durchgeführt. Dabei beschreibt der Kapitel 8.1 die Konzeption, den Ablauf und die Ergebnisse der empirischen Evaluation. Des Weiteren beschäftigt sich das Kapitel mit der analytischen Evaluation.

## **8.1 Empirische Evaluation**

Im folgenden Kapitel wird die empirische Evaluation anhand eines Benutzertests durchgeführt. Dazu findet in Kapitel 8.1.1 zunächst eine Überlegung hinsichtlich der Messung der Usability des Mapcubes statt. Anschließend wird in Kapitel 8.1.2 mit den Usability-Metriken festgelegt, was gemessen wird. In Kapitel 8.1.3 wird der Anwendungsfall „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ so angepasst, dass dieser für die Evaluation genutzt werden kann. In dem folgenden Kapitel werden Ablauf und die Auswertung des Benutzertests dargestellt. Zunächst wird in Kapitel 8.1.4 der Ablauf des Benutzertests beschrieben. Anschließend werden in Kapitel 8.1.5 zwei Hypothesen aufgestellt, welche durch die Auswertung der Messdaten in Kapitel 8.1.6 bestätigt werden.

### **8.1.1 Vorüberlegungen**

Der Prototyp wird anhand des Anwendungsfall „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ hinsichtlich der Benutzbarkeit untersucht. Dazu wird der Anwendungsfall „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ so angepasst, dass dieser für einen Benutzertest verwendet werden kann. Es werden in der Regel drei Aspekte der Benutzbarkeit berücksichtigt. Die Aspekte sind die Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit [Tulis08], wobei im Zusammenhang mit der Evaluation des Mapcubes der Aspekt Zufriedenheit nicht berücksichtigt wird. Die Effektivität beschreibt die Erfolgsrate bei der Durchführung einer Aufgabe. Dagegen beschreibt die Effizienz den Aufwand, der zur Durchführung einer Aufgabe notwendig ist. Um die Benutzbarkeit des Mapcubes zu bewerten, müssen Methoden gefunden werden, die die Benutzbarkeit messen. Dabei wird zwischen zwei Gruppen von Methoden unterschieden. Einerseits werden die empirischen Methoden angewandt, die die Benutzbarkeit durch Benutzertests und Befragungen von Benutzern messen. Andererseits wird eine analytische Evaluation durchgeführt. Hierbei wird die Usability durch Experten anhand von einer Liste von Usability-Prinzipien beurteilt [Rubin08]. Die analytische Evaluation des Mapcubes wird in Kapitel 8.2 vorgenommen. Dagegen bildet das Evaluation Framework des Mapcubes die Grundlage für die empirische Evaluation. Hierbei werden Benutzertests geplant und bei Durchführung der Benutzertest werden Eingaben aufgezeichnet. Diese Eingaben werden gesammelt und in einer Datenbank gespeichert. Um einen Vergleich zwischen der Darstellungsvariante des Mapcubes und anderer Darstellungsvarianten zu ziehen, wird der Benutzertest noch einmal mit einer anderen Darstellungsvariante durchgeführt. Hierbei wird der Benutzertest „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ ein weiteres Mal mit einer Halo-Darstellung durchgeführt.

### **8.1.2 Usability Metriken**

Für die Messungen werden unterschiedliche Arten von Messdaten benötigt. Es werden Metriken für die Messdaten festgelegt. Hierbei werden Usability-Metriken verwendet, die von Tulis und Albert beschrieben werden. Usability-Metriken quantifizieren verschiedene

Eigenschaften für die Messungen und legen fest, was gemessen wird. Die eingesetzten Metriken sind im Einzelnen die Metrik Time-On-Task und die Metrik Fehler.

Mit der Metrik Time-on-Task wird der Aspekt Effizienz der Benutzbarkeit gemessen. Dazu wird die Zeit gemessen, die der Benutzer benötigt, um eine bestimmte Aufgabe durchzuführen. Eine hohe Effizienz wird erzielt, wenn der Benutzer nur geringe Zeit benötigt, um die Aufgabe erfolgreich durchzuführen. Um die Zeitmessung nicht zu beeinflussen, wird dem Benutzer während des Tests die laufende Zeit nicht angezeigt. Die Anzeige der laufenden Zeit würde den Benutzer unter Druck setzen und ungewohntes Verhalten bei dem Benutzer verursachen. Dagegen sollte der Benutzer den Test möglichst zügig durchführen. Deshalb wird empfohlen, den Benutzer vor dem Beginn des Tests anzuleiten, die Aufgabe zügig durchzuführen.

Die Metrik Fehler dient dazu, die Art und Anzahl der Fehler bei Durchführung der Aufgabe zu ermitteln. Zum Beispiel treten Fehler auf, wenn der Benutzer eine falsche Eingabe vornimmt oder die falsche Auswahl trifft. Wenn die Benutzer bei Durchführung der Aufgabe sehr viele Fehler machen, ist in der Regel die Effektivität beeinträchtigt. Um Fehler mit der Metrik Fehler nachzuweisen, müssen die möglichen Fehlerarten definiert werden. Dazu werden alle Aktionen analysiert, die der Benutzer während der Durchführung der Aufgabe vornehmen kann. Hierbei wird zwischen fehlerfreien und fehlerhaften Aktionen unterschieden [Tulis08].

### **8.1.3 Anpassung des Anwendungsfalls für die Evaluation**

Im folgenden Kapitel wird der Anwendungsfall „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ so angepasst, dass dieser für die Evaluation genutzt werden kann. Der angepasste Anwendungsfall wird im Folgenden als Benutzertest bezeichnet. Für den Benutzertest werden die Ausgangssituation, der Zielzustand und die Aufgabenstellung definiert. Zu Beginn des Benutzertests wird dem Probanden die Aufgabenstellung mitgeteilt. Zudem wird mitgeteilt, wie der Proband den Zielzustand erreichen kann. Des Weiteren werden für den Benutzertest festgelegt, welche Aspekte der Benutzbarkeit mit welchen Metriken gemessen werden.

### **8.1.4 Ablauf, Aufgabenstellung und Ziele des Benutzertest**

## Mapcube Benutzertest Ortsbestimmung

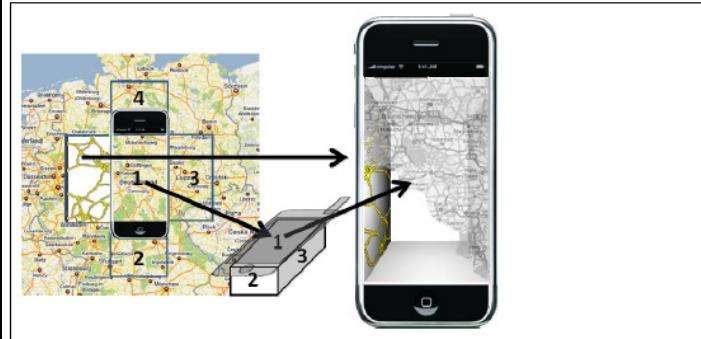


Abbildung 1

In dem folgenden Test soll eine neue Visualisierungstechnik "Mapcube" getestet werden. Hierbei wird ein Kartenkreuz dargestellt, wobei die Seiten nach hinten weggeknickt werden. Die Fläche zentral positionierten kann nach Bedarf transparent geschaltet werden. Diese Darstellung entspricht der Betrachtung eines Würfels, wo die Frontfläche dem Betrachter zugewandt und transparent ist. Dabei kann der Betrachter durch die transparente Frontfläche in den Würfel hineinsehen und die Seiten erkennen. In der Abbildung 1 wird dargestellt, wie das Kartenkreuz in der Anzeige abgebildet wird. [Auf der rechten Seite wird ein Applet dargestellt. Hierbei wird der Prototyp des Mapcube in die Seite integriert. Bitte machen Sie sich mit dem Prototyp vertraut, bevor Sie den Benutzertest starten.](#) Durch einen Klick in die Fläche des Mapcubes kann die Ansicht umgeschaltet werden. Indem die linke Maustaste festgehalten und die Maus bewegt wird, kann der Kartenausschnitt verschoben werden. Bitte beachten Sie jedoch, dass die Anzeige in dem folgenden Test nicht verschoben werden kann.

Bitte lesen Sie sich den Text auf der nächsten Seite genau durch, bevor Sie Mausklicks oder Eingaben tätigen

[Benutzertest starten](#)

Anzeige des Prototyps mit der Mapcube Darstellung

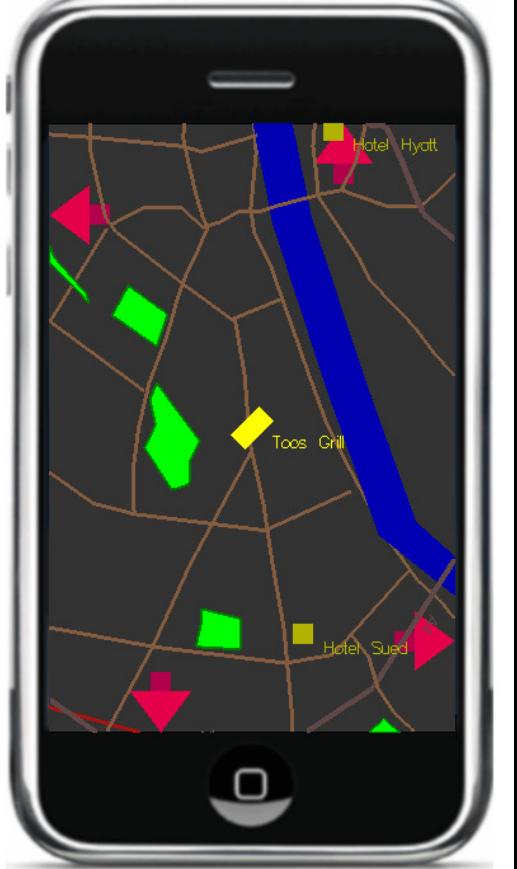


Abbildung 8.1 Einleitung Benutzertest

Zu Beginn des Benutzertest werden dem Probanden eine kurze Beschreibung der Visualisierungstechnik und eine Beschreibung des Tests angezeigt. Zudem wird ein Applet mit der Visualisierungstechnik geladen. Mit Hilfe des Applets kann der Proband sich mit der Visualisierungstechnik vertraut machen. Mit einem Knopf in der Anzeige kann der eigentliche Benutzertest gestartet werden. In der Abbildung 8.1 werden die Beschreibungen zusammen mit dem Applet dargestellt.



Abbildung 8.2 Durchführung des Benutzertests

Nachdem der Knopf „Benutzertest starten“ betätigt wurde, wird eine neue Seite dargestellt. Es wird wiederum ein Applet geladen, welches einen gelben Knopf zum Umschalten der Ansicht darstellt. Der gelbe Knopf deutet an, dass sich Hotels in unmittelbarer Nähe befinden. Bei Betätigen des gelben Knopfes wird die Ansicht umgeschaltet und es werden sechs Hotels sichtbar. Zudem werden Sehenswürdigkeiten sichtbar, welche sich in der Nähe der Hotels befinden. Mit dem Benutzertest wird geprüft, wie effektiv und effizient die spezielle Darstellung des Mapcube ist, um Zusammenhänge in der Kontext-Region zu erkennen. Deshalb wird der Proband angewiesen, für jedes Hotel die Anzahl der Sehenswürdigkeiten zu zählen, welche nicht näher zu einem anderen Hotel gelegen sind. Die Zahlen können in sechs Eingabefeldern eingetragen werden, wobei jedes Eingabefeld einem bestimmten Hotel zugeordnet ist. Diese Zahlen werden in einer Datenbank gespeichert. Hierbei wird eine Messung mit der Metrik Fehler durchgeführt. Mit Hilfe der Zahlen werden die Fehler ermittelt, die bei der Zählung der Sehenswürdigkeiten auftreten. Des Weiteren wird die Zeit gemessen und in der Datenbank gespeichert, die der Proband benötigt, um die Zusammenhänge zu erkennen. Die Zeitmessung startet gleichzeitig mit der Betätigung des gelben Knopfs. Der Zielzustand ist erreicht, wenn alle Eingabefelder gefüllt sind und der Proband das bestätigt hat. Dabei wird die Zeitmessung beendet. In der Abbildung 8.2 wird auf der rechten Seite das Applet dargestellt, welches die Hotels (würfelförmige Objekte) und die Sehenswürdigkeiten (kugelförmige Objekte) darstellen. Auf der linken Seite der Abbildung 8.2 sind die sechs Eingabefelder erkennbar.

### 8.1.5 Aktivitätsdiagramm

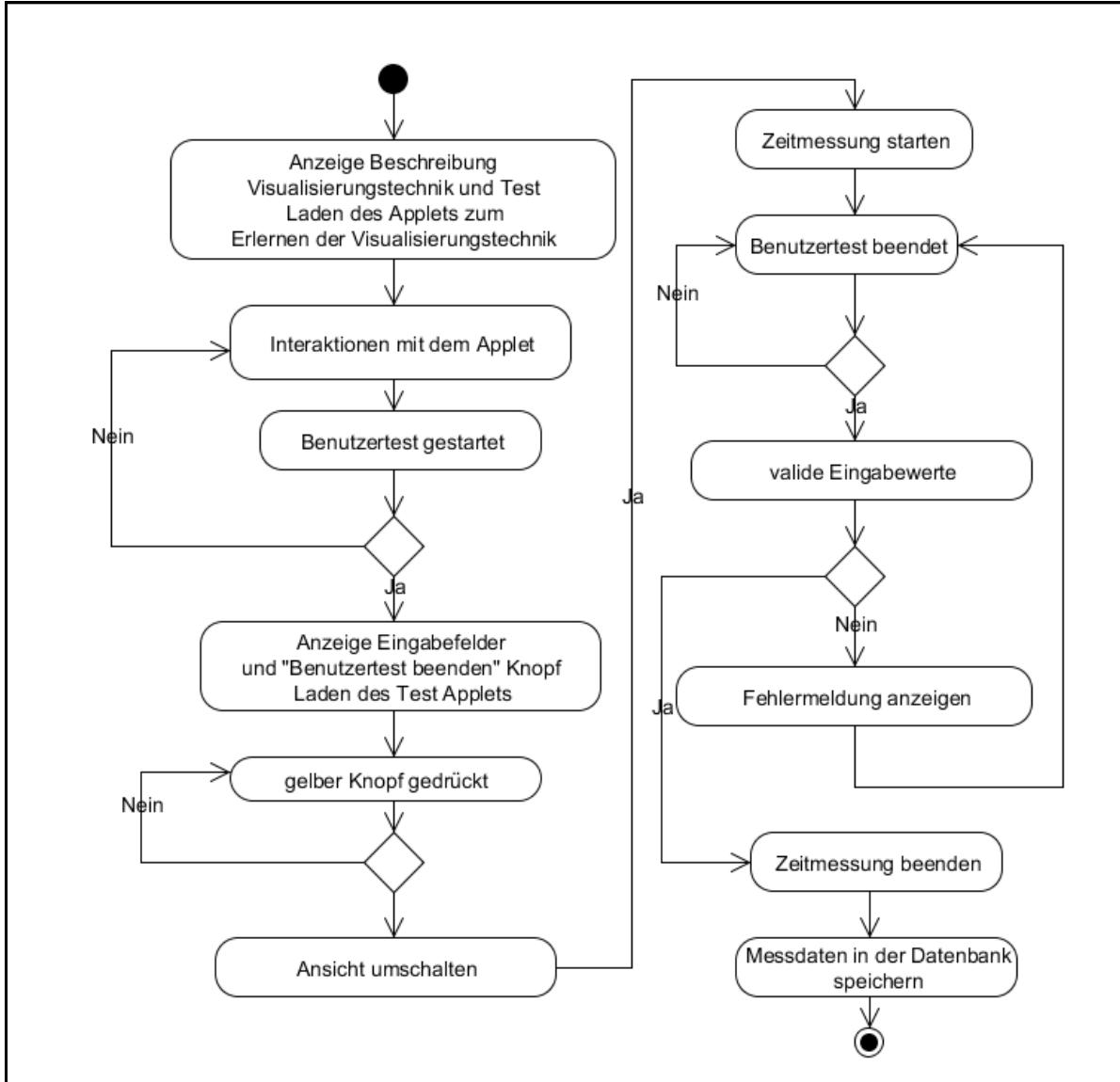


Abbildung 8.3 Aktivitätsdiagramm für Benutzertest Ortsbestimmung und Lokalisierung

In Abbildung 8.3 wird das Aktivitätsdiagramm für den Benutzertest Ortsbestimmung und Lokalisierung dargestellt.

### 8.1.6 Womit wird verglichen

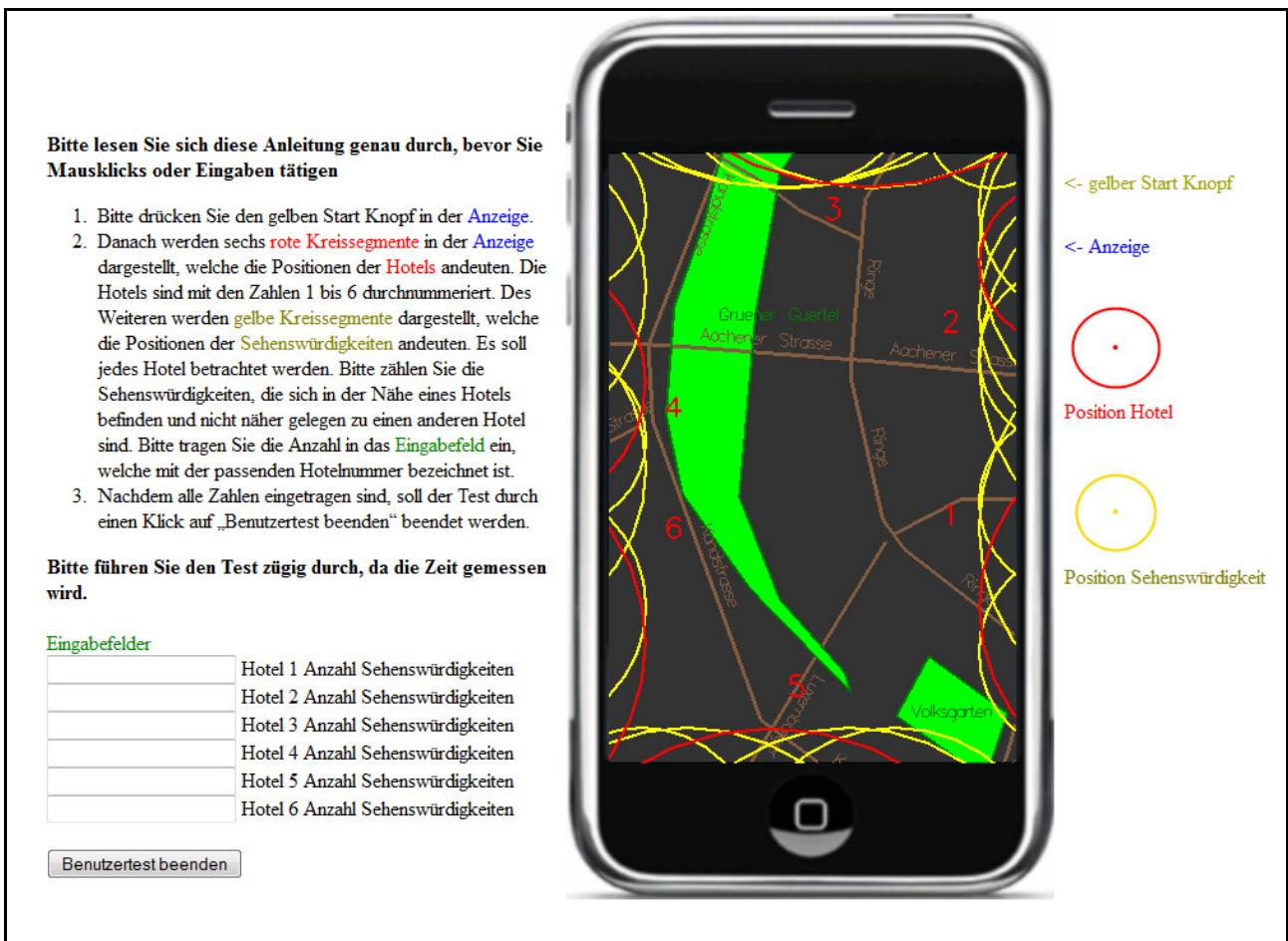


Abbildung 8.4 Durchführung des Benutzertests mit der Halo Darstellung

Um einen Vergleich mit einer anderen Visualisierungstechnik durchzuführen, wird der Benutzertest noch einmal mit einer anderen Darstellungsvariante durchgeführt. Der Ablauf des Benutzertest ändert sich nicht. Hierbei wird eine Halo-Visualisierungstechnik eingesetzt, um die Hotels und Sehenswürdigkeiten in der Kontext-Region darzustellen. In der Abbildung 8.4 wird die Durchführung des Benutzertests mit der Halo-Visualisierungstechnik dargestellt.

### 8.1.7 Durchführung des Benutzertests

Damit ein Proband sowohl die Mapcube- als auch die HALO-Visualisierungstechnik testen kann, werden zwei verschiedene Anordnungen der Hotels und Sehenswürdigkeiten entworfen. Für die Durchführung des Benutzertests werden die Probanden in zwei Gruppen eingeteilt. Zum Einem testet die erste Gruppe mit der Mapcube-Visualisierungstechnik mit der ersten Anordnung und die HALO-Visualisierungstechnik mit der zweiten Anordnung. Zum Anderen testet die zweite Gruppe die Mapcube-Visualisierungstechnik mit der zweiten Anordnung und die HALO-Visualisierungstechnik mit der ersten Anordnung. Die Probanden bekommen einen Link zugeschickt, mit dem der Benutzertest aufgerufen werden kann. Nachdem der Test durchgeführt wurde, werden die Messdaten in einer Datenbank gespeichert. Diese Messdaten sind die Grundlage für die Auswertung des Benutzertests, welcher in Kapitel 8.1.3 vorgenommen wird.

### 8.1.8 Hypothesen

Im Zusammenhang mit dem Benutzertest werden zwei Hypothesen aufgestellt:

- Zusammenhänge in der Kontext-Region können mit der Mapcube-Visualisierungstechnik schneller erkannt werden
- Zusammenhänge in der Kontext-Region können mit der Mapcube-Visualisierungstechnik fehlerfreier erkannt werden

Die erste Hypothese befasst sich damit, ob mit der Mapcube-Visualisierungstechnik im Vergleich zu der Halo-Visualisierungstechnik Zusammenhänge in der Kontext-Region schneller erkannt werden. Im konkreten Fall des Anwendungsfall „Ortsbestimmung und Lokalisierung“ sind die Zusammenhänge die Entferungen zwischen den Objekten. Es wird angenommen, dass die Zusammenhänge mit der Mapcube-Visualisierungstechnik schneller erkannt werden.

Des Weiteren befasst sich die zweite Hypothese damit, ob mit der Mapcube-Visualisierungstechnik im Vergleich zu der Halo-Visualisierungstechnik Zusammenhänge in der Kontext-Region fehlerfreier erkannt werden. Auch hier wird angenommen, dass mit der Mapcube-Visualisierungstechnik die Zusammenhänge fehlerfreier erkannt werden.

Diese Annahmen beruhen auf einer Untersuchung von Burigat [Burigat11]. Burigat hat untersucht, wie geeignet Hinweis-basierte Techniken und die Überblick-plus-Detail-Darstellung für die Wahrnehmung von räumlichen Zusammenhängen in der Kontext-Region sind. Dabei wurde deutlich, dass räumliche Zusammenhänge mit einer Überblick-plus-Detail-Darstellung schneller und fehlerfreier erkannt werden. Daher kann angenommen werden, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik im Vergleich zu den Hinweis-basierten Techniken eine bessere Wahrnehmung von räumlichen Zusammenhängen bietet. Ähnlich wie bei einer Überblick-plus-Detail-Darstellung können auch bei der Mapcube-Darstellung die räumlichen Zusammenhänge in der Kontext-Region in der Anzeige unmittelbar erkannt werden, wobei die Überblick-plus-Detail Darstellung die Kontext-Region verkleinert und die Mapcube-Darstellung die Kontext-Region verzerrt darstellt. Bei einer Hinweis-basierten Technik müssen die Positionen von Objekten und die Entferungen zwischen den Objekten in der Kontext-Region durch gedankliche Vervollständigung ermittelt werden. Hierbei ist ein erhöhter kognitiver Aufwand notwendig. Zudem führt die gedankliche Vervollständigung zu Fehlern in der Wahrnehmung von Zusammenhängen in der Kontext-Region

### 8.1.9 Auswertung des Benutzertests

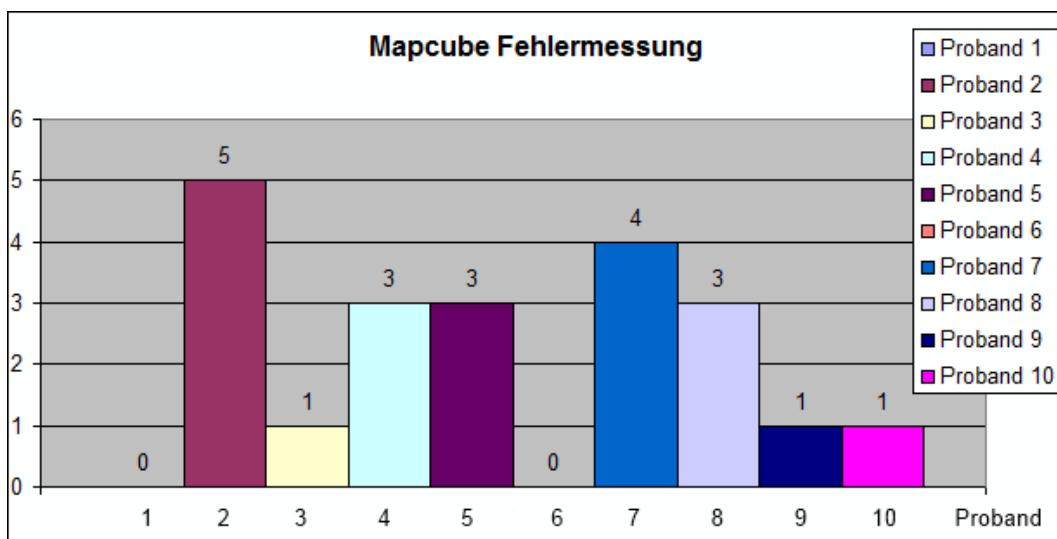


Abbildung 8.5 Mapcube Fehlermessung

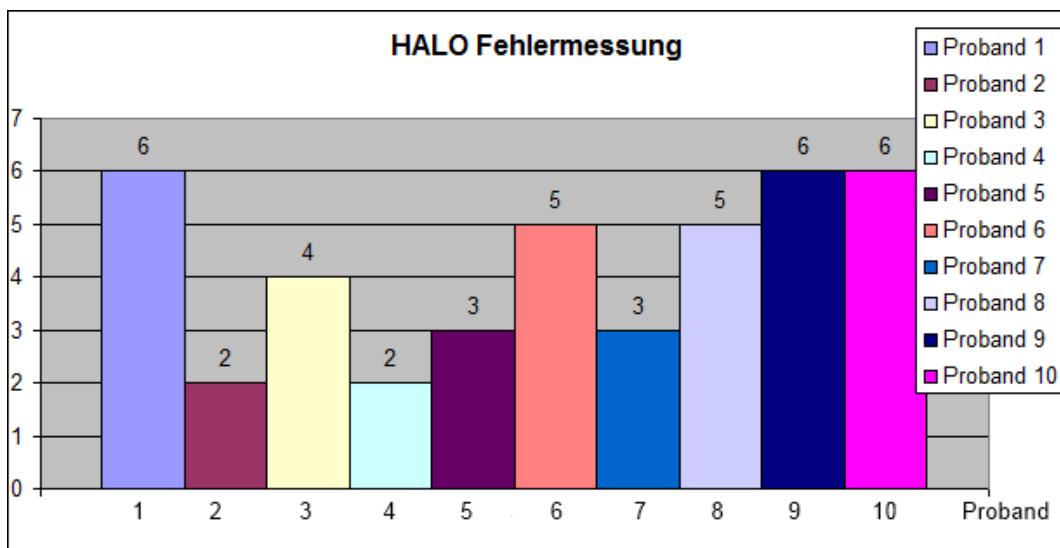


Abbildung 8.6 HALO Fehlermessung.

In der Abbildung 8.5 werden die Messergebnisse der Fehlermessung mit der Mapcube Visualisierungstechnik dargestellt und in der Abbildung 8.6 werden die Messergebnisse der Fehlermessung mit Halo Visualisierungstechnik dargestellt. Um die Fehlerquote zu ermitteln, werden die sechs Eingaben des Benutzertests ausgewertet. Jede falsche Eingabe wird als ein Fehler gewertet, so dass eine minimale Fehlerquote von 0 und eine maximale Fehlerquote von 6 möglich ist.

	Mapcube Visualisierungstechnik	Halo Visualisierungstechnik
Fehler	2,1 (1,5)	4,2 (1,4)

Tabelle 8.1 Durchschnittliche Fehlerquote (mit Standardabweichung)

In Tabelle 8.1 sind die Mittelwerte für die Fehlerquoten der Messungen mit der Mapcube-Visualisierungstechnik und der Halo-Visualisierungstechnik dargestellt. In Tabelle 8.1 ist erkennbar, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik eine geringere durchschnittliche Fehlerquote aufweist, welche um 50 Prozent geringer als die durchschnittliche Fehlerquote der Halo-Visualisierungstechnik ist. Um zu prüfen, ob die Unterschiede zwischen den Messungen signifikant sind, wird eine Varianzanalyse (engl. analysis of variance ANOVA) vorgenommen. Wenn die Messungen der Mapcube-Visualisierungstechnik und der Halo Visualisierungstechnik sich signifikant unterscheiden, kann angenommen werden, dass die Zusammenhänge mit einer bestimmten Visualisierungstechnik fehlerfreier erkannt werden. Es wird mittels der Varianzanalyse die Testgröße  $F=7,85$  berechnet, welche größer als das F-Quantil  $F_{1,18}=4,41$  ist. Im vorliegenden Fall ist F-Quantil  $F_{1,18}$  das F-Quantil zur Irrtumswahrscheinlichkeit 5 % mit 2 Gruppen mit jeweils 10 Messergebnissen. Somit ist der Unterschied zwischen den Messungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% signifikant, so dass die erste Hypothese bestätigt werden kann [Tulis08].

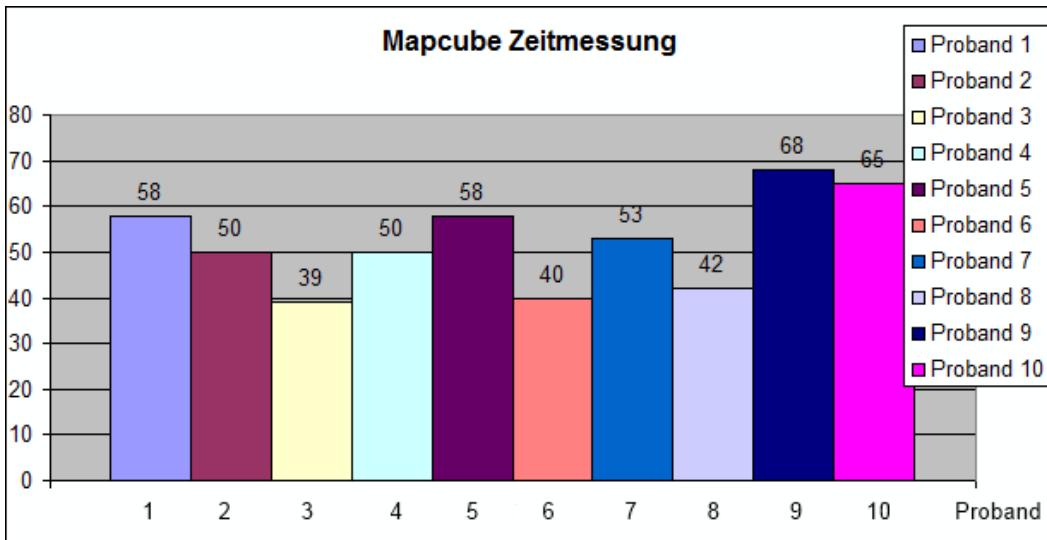


Abbildung 8.7 Mapcube Zeitmessung

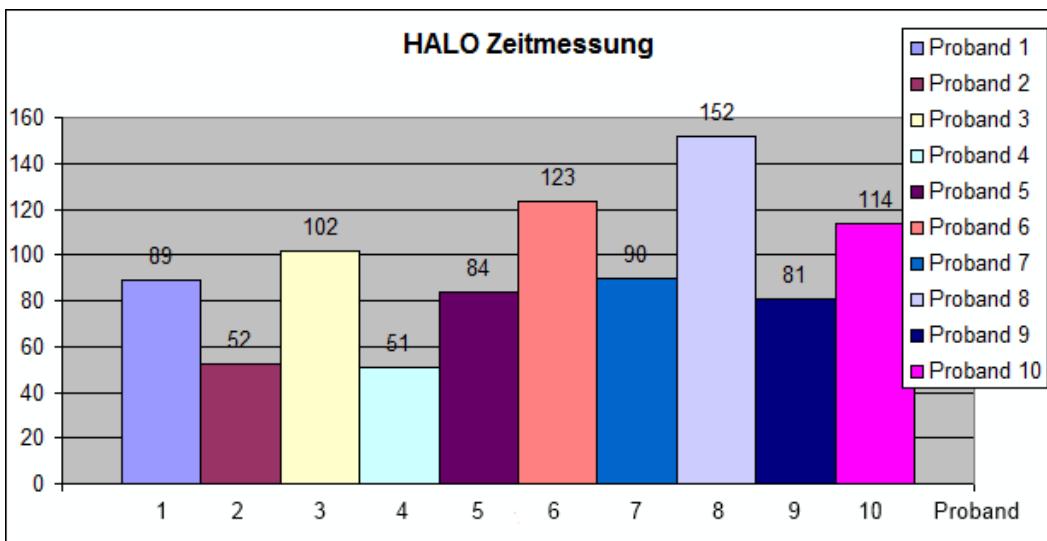


Abbildung 8.8 HALO Zeitmessung

In der Abbildung 8.7 werden die Messergebnisse der Zeitmessung mit der Mapcube Visualisierungstechnik dargestellt und in der Abbildung 8.8 werden die Messergebnisse der Zeitmessung mit Halo Visualisierungstechnik dargestellt.

	Mapcube Visualisierungstechnik	Halo Visualisierungstechnik
Zeit	52,3 (7,78)	93,8 (22,26)

Tabelle 8.4 Durchschnittliche Ausführungszeit in Sekunden (mit Standardabweichung)

In Tabelle 8.4 sind die Mittelwerte für die Ausführungszeit der Messungen mit der Mapcube-Visualisierungstechnik und der Halo-Visualisierungstechnik dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass die durchschnittliche Ausführungszeit mit der Mapcube-Visualisierungstechnik um 44 Prozent geringer als die durchschnittliche Ausführungszeit mit der HALO-Visualisierungstechnik ist. Es wird ebenfalls mittels der Vazianzanalyse geprüft, ob die Unterschiede zwischen den Messungen signifikant sind. Dabei wird eine gemeinsame die Testgröße  $F=16,5$  berechnet. Die Testgröße  $F=16,5$  ist größer als das F-Quantil  $F_{1,18}=4,41$ , so dass die zweite Hypothese ebenfalls bestätigt wird [Tulis08].

## **8.2 Analytische Evaluation**

In diesem Kapitel wird die analytische Evaluation vorgenommen. Dazu wird ein Kriterienkatalog aufgestellt. Der Kriterienkatalog ermöglicht eine Überprüfung bestimmter Eigenschaften der Mapcube-Visualisierungstechnik. Der Kriterienkatalog wird zusammen mit den einzelnen Kriterien in Kapitel 8.2.1 näher beschrieben. In den Kapiteln 8.2.2 bis 8.2.5 wird jeweils ein Kriterium überprüft. Um eine Bewertung der Kriterien vornehmen zu können, wird die Mapcube-Visualisierungstechnik mit anderen Visualisierungstechniken verglichen, welche in Kapitel 2 beschrieben wurden. Dabei werden insbesondere die Vorteile und Nachteile der Mapcube-Visualisierungstechnik aufgezeigt. Abschließend wird in Kapitel 8.2.6 eine Zusammenfassung der analytischen Evaluation vorgenommen.

Im Folgenden werden die besonderen Vorteile und Nachteile zusammengefasst, die in der analytischen Evaluation festgestellt werden. Zudem werden Vorschläge für mögliche Verbesserung zusammengefasst.

### **Vorteile:**

- Effiziente Nutzung der beschränkten Darstellungsfläche auf Grund der transparenten Darstellung (Kapitel 8.2.2)
- Maximale Ausnutzung der Darstellungsfläche für die Abbildung der Fokus-Region ermöglicht ein einfaches Auffinden der Objekte in der Fokus-Region (Kapitel 8.2.4.1)
- Auf Grund der nicht verzerrten Darstellung der Fokus-Region können Entferungen und Größenverhältnisse in der Fokus-Region gut abgeschätzt werden (Kapitel 8.2.4.1)
- Keine zeitliche und räumliche Trennung zwischen Fokus- und Kontext-Region (Kapitel 8.2.4.2)
- Mehr Möglichkeiten, Informationen auf Grund der dreidimensionalen Darstellung in der Kontext-Region abzubilden (Kapitel 8.2.5)
- Bei der Umschaltung von der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung wird die Darstellung der Fokus-Region nicht verändert (Kapitel 8.2.6)

### **Nachteile:**

- Hohe kognitive Komplexität auf Grund der transparenten Darstellung (Kapitel 8.2.3)
- Hohe kognitive Komplexität für Verständnis, wie eine Karte auf einen dreidimensionalen Würfel abgebildet wird (Kapitel 8.7.2)
- Auf Grund der perspektivisch verzerrten Darstellung der Kontext-Region können Entferungen und Größenverhältnisse in der Kontext-Region nicht gut abgeschätzt werden (Kapitel 8.2.4.1)
- Leicht abrupter Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region (Kapitel 8.2.4.2)
- Schlechte Entfernungswahrnehmung zwischen den unterschiedlichen Teilflächen der Kontext-Region (Kapitel 8.2.4.1)
- Ungleichmäßige und unvollständige Darstellung der Kontext-Informationen in Abhängigkeit der Richtung (Kapitel 8.2.4.2)
- Erschwerte Ansteuerung in Verbindung mit Panning eines Zielpunkts in der Kontext-Region aufgrund der gegensätzlichen Bewegung der Fokus- und Kontext-Region (Kapitel 8.2.4.2)

### **Mögliche Verbesserung:**

- Einführung einer dritten Region (abgeschrägte oder abgerundete Würfelkanten) zur Verbesserung der Wahrnehmung der Übergänge zwischen Fokus- und Kontext-Region (Kapitel 8.2.4.2)
- Die fehlenden Eckteile des Kartenkreuzes werden zusammen mit den Kartenflächen des Kartenkreuzes mittels Verzerrung auf die Würfelflächen des Mapcube projiziert, um den Kontext in Abhängigkeit der Richtung vollständiger und gleichmäßiger abzubilden (Kapitel 8.2.4.2)

### 8.2.1 Aufstellung des Kritereinkatalog

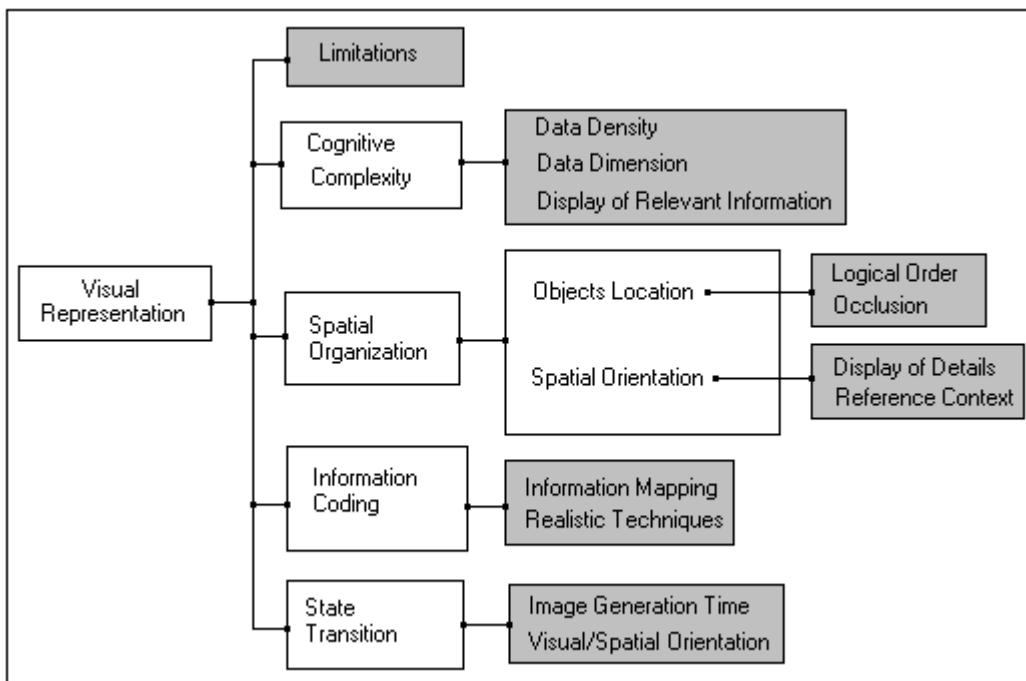


Abbildung 8.9 Evaluationskriterien für eine Visualisierungstechnik [DelSassoFreitas02]

Die folgenden Kriterien basieren im Wesentlichen auf der Arbeit von Del Sasso Freitas. In der Abbildung 8.9 werden die einzelnen Kriterien dargestellt. Die Kriterien setzen sich im Einzelnen aus den Einschränkungen (engl. Limitation), der kognitiven Komplexität (engl. Cognitive Complexity), der räumlichen Organisation (engl. Spatial Organization), der Darstellungsart der Informationen (engl. Information Coding) und des Übergangszustands (engl. State Transition) zusammen.

Mit dem Kriterium Einschränkungen wird bewertet, in wie weit die Größe der Anzeige (Anzahl der Pixel) die Darstellung der Informationselemente einschränkt. Die kognitive Komplexität setzt sich im Einzelnen aus den Kriterien Datendichte, Datendimension und Relevanz der dargestellten Informationen zusammen. Die Datendichte ist ein Maß für die maximale Anzahl an Informationselementen, die gleichzeitig dargestellt werden können. Mit dem Maß Datendimension wird beschrieben, wie viele Dimensionen für die Darstellung der Daten verwendet werden. Weiterhin wird mit dem Maß räumliche Organisation bewertet, wie einfach ein Informationselement in der Darstellung aufgefunden werden kann. Zudem wird das Verständnis für die gesamte Verteilung der Informationselemente bewertet. Dabei sind die logische Anordnung der Informationselemente und die Verdeckung von Informationselementen von Bedeutung. Für das Verständnis der gesamten Verteilung der Informationselemente ist die Referenzierung auf den Kontext von Bedeutung. Mit dem Kriterium Darstellungsart der Informationen wird bewertet, in welcher

Weise die einzelnen Informationselemente dargestellt werden. Hierbei wird untersucht, welche Symbole und Hilfsmittel zur Darstellung der Informationselemente verwendet werden. Bei dem Übergang von einer Darstellungsvariante in eine andere Darstellungsvariante können Probleme mit dem Verständnis der neuen Situation auftreten. Hierzu muss geprüft werden, wie gut oder schlecht die Visualisierungstechnik diesen Übergang umsetzt [DalSassoFreitas02].

### 8.2.2 Kriterium Einschränkungen

Unter der Annahme, dass für alle Visualisierungstechniken die gleichen Einschränkungen bei der Darstellung auf einem mobilen Gerät mit kleiner Darstellungsfläche gelten, kann man davon ausgehen, dass Visualisierungstechniken mit transparenter Darstellung wie der Mapcube und der transparenten Linse (vergl. 2.5.5 Transparenz zur Darstellung von Fokus-plus-Kontext) gegenüber Techniken ohne transparente Darstellung hinsichtlich der Ausnutzung der beschränkten Darstellungsfläche im Vorteil sind. Bei einer transparenten Darstellung lässt sich die beschränkte Darstellungsfläche effizienter nutzen, indem Informationselemente übereinander statt nebeneinander oder untereinander angeordnet werden [Kamba96].

### 8.2.3 Kriterium Kognitive Komplexität

Im Zusammenhang mit der Informationsvisualisierung ist die kognitive Komplexität der Aufwand, der notwendig ist, um eine Abbildung zu verstehen. Hierbei ist der Aufwand abhängig von der Komplexität der Abbildung. In der Regel ist eine weniger komplexe Darstellung einfacher zu verstehen als eine sehr komplexe Darstellung. Eine effektive Visualisierung sollte versuchen, die Komplexität zu reduzieren [Brath97]. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass alle berücksichtigten Visualisierungstechniken zweidimensionale geographische Daten darstellen. Deshalb muss das Kriterium Datendimension nicht weiter berücksichtigt werden. Die Datendichte ist abhängig von der Anzahl der Informationselemente und der Anzahl der verfügbaren Pixel in der Anzeige. Im Falle einer hohen Datendichte ist die Anzahl der Informationselemente groß und die Anzahl der verfügbaren Pixel ist gering. Eine hohe Datendichte hat jedoch zur Folge, dass einzelne Informationselemente sich überlappen und nicht mehr erkennbar sind. Dadurch ist die wahrgenommene Datendichte geringer als die tatsächliche Datendichte, so dass größere Mengen von Objekten nicht richtig wahrgenommen werden [Bertini05]. Bei einer geringen Datendichte sind Formen und Details der einzelnen Informationselemente besser erkennbar. In diesem Fall sind auch Schriften besser erkennbar. Demnach ist eine geringe Datendichte vorteilhaft und erstrebenswert für die Darstellung der Fokus-Region. Wird eine kleinflächige Karte abgebildet, ist in der Regel die Anzahl der dargestellten geographischen Informationselemente gering. Dagegen werden bei der Abbildung einer großflächigen Karte viele geographische Informationselemente dargestellt. Hierbei lässt sich eine zu große Datendichte vermeiden, indem weniger relevante Informationselemente ausgeblendet werden. Weiterhin kann eine geringe Datendichte erreicht werden, indem eine möglichst große Fläche in der Anzeige verwendet wird. Des Weiteren ist es erstrebenswert, die relevanten Informationen hervorzuheben und die weniger relevanten Informationen auszublenden.

Mit Hilfe des Zooming kann sowohl die Detail- als auch die Fokus-Region hinsichtlich der Datendichte bestmöglich dargestellt werden, da in beiden Fällen die vollständige Fläche in der Anzeige verwendet werden kann. Allerdings hat die Zooming-Visualisierungstechnik wiederum andere Nachteile, die im späteren Verlauf des Kapitels erörtert werden. Die Mapcube-Visualisierungstechnik nutzt auch die vollständige Fläche in der Anzeige für die Darstellung der Fokus-Region. Dadurch ist die Datendichte in der Fokus-Region gering

und die relevanten Informationen werden bestmöglich hervorgehoben. Dieser Vorteil wird jedoch dadurch relativiert, dass die transparente Darstellung der Fokus-Region die Darstellung der Kontext-Region teilweise überlappt. Bei der Überlappung entsteht eine hohe Datendichte. Eine Möglichkeit, die Datendichte zu verringern, wäre die Reduzierung der Details in der Kontext-Darstellung. Im Vergleich zu der Mapcube-Visualisierungstechnik haben die Hinweis-basierten Techniken den Vorteil, dass nur eine geringe Menge von Kontextinformationen dargestellt wird, so dass die Datendichte trotz Überlappung der Fokusinformationen durch die Kontextinformationen gering bleibt.

## 8.2.4 Kriterium Räumliche Organisation

### 8.2.4.1 Auffinden von Objekten

Geographische Informationssysteme stellen Karten dar, welche geographische Daten visualisieren. Dabei unterstützen diese Karten den Benutzer Entfernungen, Richtungen, Größe von Gebieten und Beziehungen zu verstehen und zu erkennen [Kraak96]. In Abhängigkeit von der jeweiligen Darstellungsvariante lassen sich einzelne geographische Informationselemente mehr oder weniger gut auffinden. Zudem ist für das Verständnis der Beziehungen zwischen den geographischen Informationselementen und der gesamten Verteilung der Informationselemente die Darstellungsvariante von Bedeutung. Für das Verständnis dieser Aspekte ist eine gute Entfernungswahrnehmung notwendig. Ein gutes Verständnis für die Beziehungen zwischen den geographischen Informationselementen erlaubt ein schnelles Auffinden von Objekten. Es werden Objekte der realen Welt in Form von abstrakten Signaturen auf der Karte abgebildet. Eine Karte ist in der Regel eine zweidimensionale Abbildung und beschreibt die Erdoberfläche [Barthelme, 2005]. Um Entfernung und Größenverhältnisse bestmöglich abschätzen zu können, sollte die Karte unverzerrt oder gleichmäßig vergrößert und verkleinert abgebildet werden. Insbesondere nichtlineare verzerrte Abbildungen beinträchtigen die Wahrnehmung von Entfernungen und verändern die Größenverhältnisse von Flächen [Rase97]. Zudem beinträchtigen linear verzerrte Abbildungen die Wahrnehmung von Entfernungen und Größenverhältnissen. Hierbei kann angenommen werden, dass der Grad der Beeinträchtigung der linear verzerrten Abbildung im Vergleich zu den nichtlinear verzerrten Abbildungen geringer ist. Bei der Mapcube-Visualisierungstechnik wird die Fokus-Region unverzerrt dargestellt, so dass Entfernungen und Größenverhältnisse bestmöglich wahrgenommen werden. Somit ist die Mapcube Visualisierungstechnik vorteilhaft gegenüber der Fischaugen-Darstellung in diesem Aspekt. Im Gegensatz dazu wird die Kontext-Region perspektivisch (linear) verzerrt dargestellt. Bei der Wahrnehmung von der Entfernung zwischen zwei Objekten in der Kontext-Region sind die Visualisierungstechniken Überblick-plus-Detail, Zooming, Fischaugenlinse, Focus+Glue+Context und die transparente Linse im Vorteil gegenüber der Mapcube- Visualisierungstechnik, da die Kontext-Region unverzerrt dargestellt wird. Die bifokale Anzeige stellt die Kontext-Region zwar unverzerrt dar, jedoch wird die Kontext-Region teilweise ungleichmäßig in horizontaler und vertikaler Richtung verkleinert. Dadurch kann keine genaue Aussage getroffen werden, ob die bifokale Anzeige in diesem Aspekt vorteilhaft gegenüber der Mapcube-Visualisierungstechnik ist.

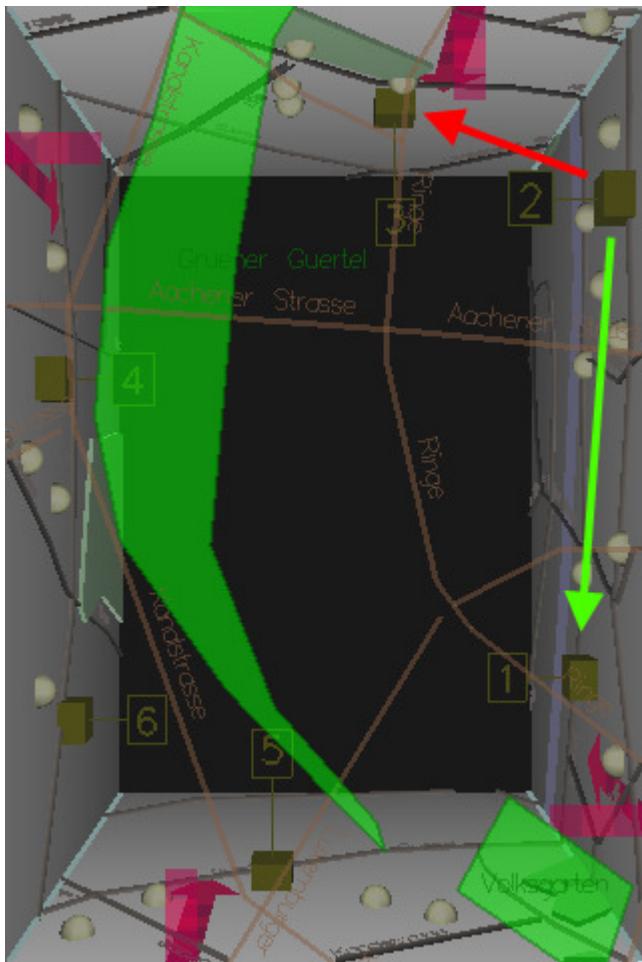


Abbildung 8.10 Probleme bei der Wahrnehmung von Entfernungen in der Kontext-Region

Ähnlich wie bei der bifokalen Darstellung ist die Kontext-Region der Mapcube-Darstellung in verschiedene Flächen unterteilt, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Bei der bifokalen Anzeige (Abbildung 2.9) ist die Kontext-Region in neun Flächen unterteilt, die unterschiedlich in horizontaler und vertikaler Richtung gestaucht sind. Dadurch wird die Entfernungswahrnehmung zwischen zwei Flächen mit unterschiedlichen Stauchungen in der Kontext-Region erschwert. Bei der Mapcube-Visualisierungstechnik ist die Kontext-Region in vier Flächen unterteilt, welche entweder an der horizontalen Achse oder an der vertikalen Achse gespiegelt sind. Hierbei kann die Entfernung zwischen zwei Objekten, welche sich in unterschiedlichen Flächen in der Kontext-Region befinden, falsch wahrgenommen werden. Die falsche Wahrnehmung kommt dadurch zustande, dass zwischen zwei unterschiedlichen Flächen in der Kontext-Region ein Kartenstück nicht projiziert wird, welches den Übergang der Teilflächen darstellen würde (vergl. Abbildung 5.6 Teilflächen F, G, H und I). Wie in der Abbildung 8.10 zu sehen ist, kann vermutet werden, dass die reale Entfernung zwischen Objekt zwei und drei (roter Pfeil) erheblich geringer als die reale Entfernung zwischen Objekt eins und zwei (grüner Pfeil) ist. Die beiden Entfernungen sind jedoch nahezu identisch. Bei der Wahrnehmung von Entfernungen in der Kontext-Region ist die Mapcube-Visualisierungstechnik vermutlich vorteilhaft gegenüber einer Hinweis-basierten Technik. Es kann angenommen werden, dass bei einer Hinweis-basierten Technik die Entfernung zwischen Objekt eins und zwei in der Abbildung 8.10 weniger exakt im Vergleich zu der Mapcube-Visualisierungstechnik wahrgenommen wird. Die Platzierung der Objekte in derselben Fläche in der Kontext-Region ist Voraussetzung dafür, die Entfernung besser wahrnehmen zu können. Eine Ausnutzung der maximalen Darstellungsfläche erlaubt es, Objekte schnell aufzufinden, da eine präzise Darstellung der Objekte möglich ist und die einzelnen Objekte

sich nicht gegenseitig überlappen. Bei einer geringen Darstellungsfläche ist eine präzise Darstellung der einzelnen Objekte eingeschränkt. So können aufgrund der geringen Darstellungsfläche die einzelnen Objekte lediglich mit geringer Größe, mit weniger Details und weniger Textinformationen abgebildet werden. Ebenfalls sind bei einer geringeren Darstellungsfläche mehr Überlappungen der einzelnen Objekte möglich [DalSassoFreitas02]. Außerdem hängt die Lesbarkeit der Textinformationen von der Ausnutzung der Darstellungsfläche ab. Neben der Mapcube Visualisierungstechnik verwenden die Überblick-plus-Detail, Zooming und Hinweis-basierten Techniken die gesamte Darstellungsfläche zur Abbildung der Fokus-Region. Daher ermöglichen diese Techniken gute Lesbarkeit und eine präzise Darstellung der einzelnen Elemente. Im Gegensatz zu anderen Fokus-plus-Kontext Visualisierungen ist es gerade die Besonderheit der Mapcube-Visualisierungstechnik, die gesamte Darstellungsfläche zur Abbildung der Fokus-Region zu nutzen. In der Regel ist bei den Fokus-plus-Kontext Techniken ein Kompromiss notwendig, was die Aufteilung Darstellungsfläche in Fokus- und Kontext-Region betrifft. Beide Regionen können nicht gleichzeitig mehr als die Hälfte der Bildschirmfläche einnehmen. Durch die transparente Darstellung kann die Mapcube-Visualisierungstechnik gleichzeitig die ganze Bildschirmfläche für die Fokus-Region und mehr als die Hälfte der Bildschirmfläche für die Kontext-Region einnehmen. Dadurch ist die Mapcube-Visualisierungstechnik im Vorteil gegenüber den Techniken bifokale Anzeige, Fischaugenlinse und Focus+Glue+Context, was die Lesbarkeit und die präzise Darstellung der einzelnen Elemente in der Fokus- und Kontext-Region betrifft. Allerdings hat die Mapcube-Visualisierungstechnik den Nachteil, dass auf Grund der transparenten Darstellung Texte schlecht lesbar sind, welche sich überlappen. Im Gegensatz zu der Mapcube-Visualisierungstechnik kann die Technik transparente Linse die gesamte Bildschirmfläche für die Darstellung der Kontext-Region nutzen, wobei diese Technik bei sinnvoller Anwendung nur einen Teil der Bildschirmfläche zur Anzeige der Fokus-Region nutzt. Daraus lässt sich ableiten, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik bei der Darstellung der Fokus-Region im Vergleich zu der transparenten Linse (vergl. Kapitel 2.5.5) vorteilhaft ist. Jedoch ist die transparente Linse bei Darstellung der Kontext-Region im Vergleich zu der Mapcube-Visualisierungstechnik vorteilhaft. Eine Überblick-plus-Detail Darstellung zeigt den Kontext Bereich in einem kleinen Fenster an, welches die Darstellung der Fokus-Region verdeckt. Inwiefern die Überblick-plus-Detail Darstellung für die Anzeige von Details und Kontext geeignet ist, hängt von der Größe der Bildschirmfläche ab. Da bei einer kleinen Bildschirmfläche das Fenster für den Überblick einen Großteil der Detail Anzeige überdecken würde, ist in der Regel diese Visualisierungstechnik nicht für mobile Geräte geeignet [Jones05].

#### **8.2.4.2 Räumliche Orientierung (engl. Spatial Orientation)**

In diesem Kapitel werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Visualisierungstechniken untersucht, was die räumliche Orientierung anbetrifft. Dazu wird insbesondere untersucht, wie die einzelnen Visualisierungstechniken den Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region realisieren. In der Tabelle 8.3 werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Visualisierungstechniken in Hinblick auf den Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region zusammengefasst.

<b>Visualisierungstechnik</b>	<b>Vor- und Nachteile</b>
Zooming und Panning	Zeitliche Trennung zwischen Fokus- und Kontext-Region
Überblick-plus-Detail	Räumliche Trennung zwischen Fokus- und Kontext-Region
Bifokale Anzeige	Sehr abrupter Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region

Fischaugen Linse	Weicher Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region
Fokus+Glue+Context	Weicher Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region
Hinweis-basierte Techniken	Kein Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region Unvollständige Anzeige der Kontext-Region
Mapcube	Leicht abrunder Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region Ungleichmäßige Darstellung der Informationen in der Kontext-Region in Abhängigkeit von der Richtung

Tabelle 8.3 Vor- und Nachteile der Visualisierungstechnik

Die Aufgabe, die Einordnung der Detail Informationen und die Orientierung zu ermöglichen, ist Aufgabe der Kontext-Region [Schumann03]. Diese Aufgabe kann bestmöglich gelöst werden, indem keine Trennung und ein nahtloser Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region vorliegt. Einerseits tritt bei der Überblick-plus-Detail Darstellung eine räumliche Trennung der beiden Regionen auf. Andererseits tritt bei Zooming und Panning Technik eine zeitliche Trennung der beiden Regionen auf. Sowohl die zeitliche als auch räumliche Trennung verursachen einen hohen kognitiven Aufwand, der notwendig ist, um die Zusammenhänge zwischen Kontext und Fokus zu verstehen. Bei der Mapcube-Visualisierungstechnik tritt weder eine zeitliche noch eine räumliche Trennung auf, so dass die Mapcube-Visualisierungstechnik in diesem Aspekt vorteilhaft gegenüber sowohl der Überblick-plus-Detail Darstellung als auch der Zooming und Panning Technik ist.

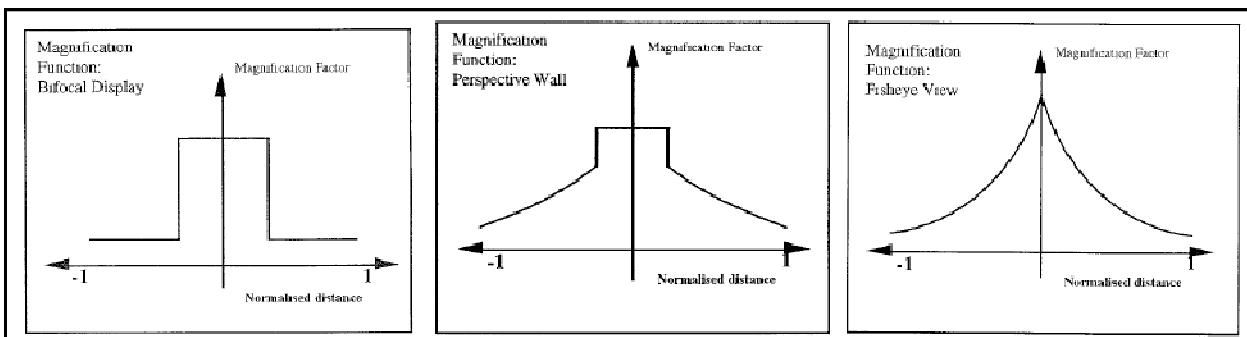


Abbildung 8.11 Skalierungsfunktionen [Leung94]

Vergleicht man die Mapcube-Visualisierungstechnik mit anderen Fokus- und Kontext-Techniken wird deutlich, dass einige Techniken bei der Realisierung des Übergangs im Vorteil gegenüber der Mapcube-Visualisierungstechnik sind und andere Techniken bei der Realisierung des Übergangs im Nachteil gegenüber der Mapcube-Visualisierungstechnik sind. Ein Nachteil bei der Realisierung des Übergangs entsteht dann, wenn eine Diskontinuität der Skalierung zwischen Fokus- und Kontext-Region vorliegt [Leung94].

Im Folgenden wird die Mapcube-Visualisierungstechnik mit den nachfolgenden Fokus- und Kontext-Techniken verglichen:

- bifokale Anzeige
- Fischaugen-Linse
- Fokus+Glue+Context

In der Abbildung 8.11 werden die Verläufe der Skalierungsfunktionen der bifokalen Anzeige, der perspektivischen Wand und der Fischaugenlinse dargestellt. Der Verlauf der Skalierungsfunktion der Mapcube-Visualisierungstechnik entspricht ungefähr dem Verlauf der Skalierungsfunktion der perspektivischen Wand. Im Unterschied zu der perspektivischen Wand werden mit der Mapcube-Visualisierungstechnik die Flächen der Kontext-Region so umgeklappt, dass diese unterhalb der Fokus-Region verlaufen. Leung definiert zwei Gruppen von Skalierungsfunktionen [Leung94]. Zu der einen Gruppe gehören die kontinuierlichen Funktionen, welche die Skalierung ausschließlich stufenlos verändern. Hierbei wird ein gleichmäßiger Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region realisiert, was die Skalierung betrifft. Die Skalierungsfunktion der Fischaugen-Darstellung gehört zu dieser Gruppe. Zur anderen Gruppe gehören die nicht-kontinuierlichen Skalierungsfunktionen, welche die Skalierung nicht stufenlos verändern. Die Skalierungsfunktionen der bifokalen Anzeige und der Mapcube-Visualisierungstechnik gehören zu dieser Gruppe [Leung94]. Bei diesen Visualisierungstechniken ändert sich die Skalierung in dem Übergang von Fokus- in die Kontext-Region nicht kontinuierlich. Es liegt ein Nachteil der Diskontinuität der Skalierung zwischen Fokus- und Kontext-Region vor. Die Mapcube-Visualisierungstechnik ändert ähnlich wie die perspektivische Wand die Skalierung in der Kontext-Region zunehmend [Leung94]. Deshalb ist die Mapcube-Visualisierungstechnik im Vorteil gegenüber der bifokalen Anzeige, da der Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region weniger abrupt ist. Die Mapcube-Visualisierungstechnik ist jedoch nachteilhaft gegenüber der Fischaugen-Darstellung, da Visualisierungstechniken mit kontinuierlichen Skalierungsfunktionen einen stufenlosen Übergang realisieren.

Die Mapcube-Visualisierungstechnik könnte durch entsprechende Veränderungen in der Darstellung angepasst werden, um den Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region zu optimieren. Bei den möglichen Veränderungen wird berücksichtigt, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik einen Würfel darstellt, welcher aus einem bestimmten Blickwinkel betrachtet wird. Eine mögliche Veränderung ist die Einführung einer dritten Region. In Kapitel 2.5.4 wurde bereits mit der Focus+Glue+Context Visualisierungstechnik aufgezeigt, dass die Verwendung einer dritten Region für das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Fokus- und Kontext-Region sinnvoll ist. Eine dritte Region könnte bei der Mapcube-Visualisierungstechnik integriert werden, indem die Kanten des Würfels abgeschrägt werden. Dadurch würden zwei Übergänge statt nur einem Übergang realisiert. Diese Übergänge wären weicher. Zudem würden die abgeschrägten Kanten den Betrachter dabei unterstützen, die Zusammenhänge zwischen Fokus- und Kontext-Region zu verstehen. Eine weitere mögliche Veränderung, ist die Kanten des Würfels abzurunden. Hierbei würde eine Visualisierungstechnik entstehen, welche die Übergänge wie die Fischaugen-Darstellung stufenlos darstellt. Der Aufwand der Implementierung würde jedoch bei dieser Darstellung ein hohes Ausmaß annehmen, da die Signaturen und Rasterdaten teilweise auf eine gebogene Fläche statt auf eine ebene Fläche projiziert werden müssen.

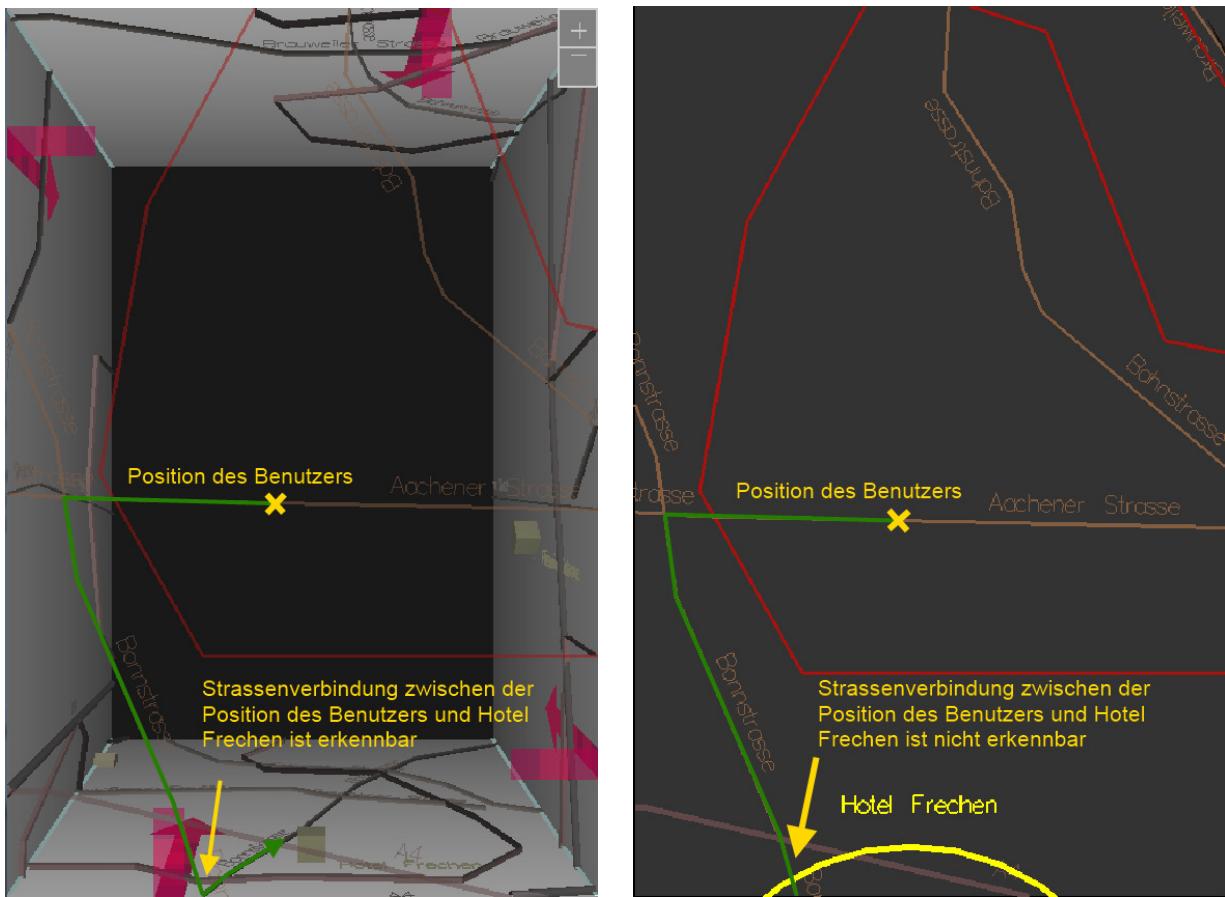


Abbildung 8.12 unvollständige Kontext-Informationen

Sowohl die Mapcube-Visualisierungstechnik als auch die Hinweis-basierten Techniken stellen die Fokus-Region unverzerrt dar und nutzen die vollständige Fläche in der Anzeige für die Darstellung der Fokus-Region. Beide Techniken unterscheiden sich jedoch in der Darstellung der Kontext-Region, was die Darstellung von Verbindungen und Übergängen von der Fokus- in die Kontext-Region betrifft. Im Gegensatz zu der Mapcube-Visualisierungstechnik können die Hinweis-basierten Techniken keine Übergänge und Verbindungen zwischen Fokus- und Kontext-Region darstellen. Dadurch fehlen oftmals Informationen, welche für die Durchführung einer Aufgabe notwendig sind. Zum Beispiel könnte der Benutzer bei einer Navigationsanwendung auf ein Objekt in der Offscreen-Region durch die Darstellung eines Hinweises aufmerksam gemacht werden. Dabei könnte er aber nicht erkennen, ob eine Straßenverbindung von seiner aktuellen Position zu dem Objekt vorhanden ist. Hierbei wird der Vorteil der Mapcube-Visualisierungstechnik deutlich, welche Straßenverbindungen zwischen Fokus- und Kontext-Region darstellen kann. In Abbildung 8.12 wird dieser Fall dargestellt.

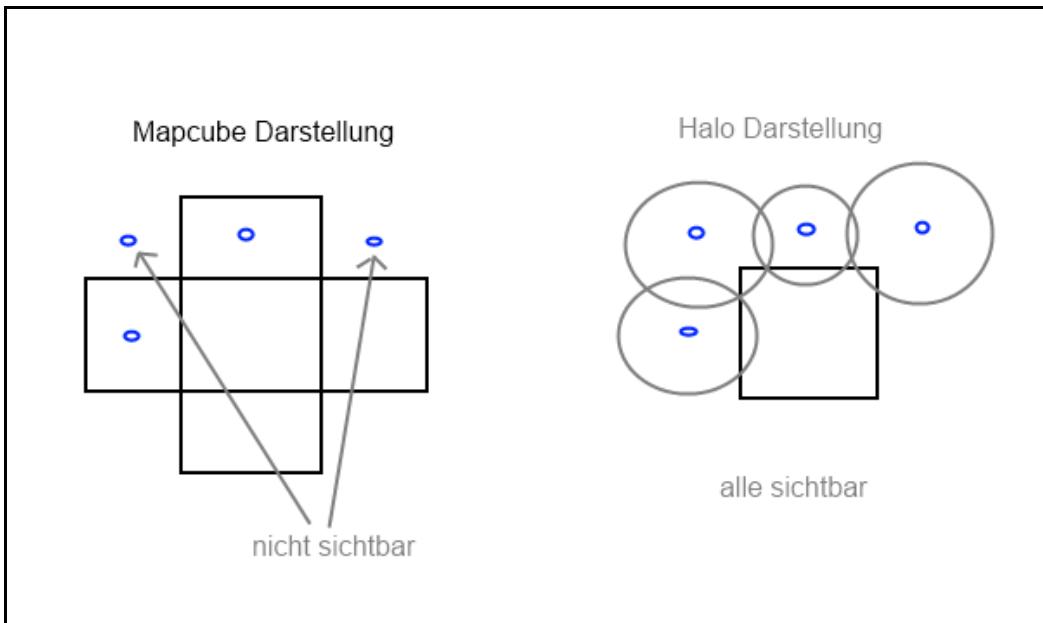


Abbildung 8.13 ungleichmäßige Kontextinformationen

In der Abbildung 8.13 wird deutlich, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik die Kontextinformationen im Gegensatz zu einer Hinweis-basierten Technik nicht gleichmäßig in alle Richtungen in Abhängigkeit von der Entfernung darstellen kann. Auf Grund der Projektion eines Kartenkreuzes werden die Kontextinformationen nur ungleichmäßig dargestellt. Dieser Nachteil könnte kompensiert werden, indem die fehlenden Eckteile zusammen mit den Kartenflächen des Kartenkreuzes mittels Verzerrung auf die Würfelflächen des Mapcube projiziert würden. Auf diese Weise würden zum Teil trapezförmige Kartenstücke auf die Würfelflächen projiziert, welche teilweise aus den fehlenden Ecken und den Flächen des Kartenkreuzes bestehen (vergl. Kapitel 9.2).

Bei der perspektivischen Wand wird der kognitive Aufwand mit Hilfe von Animationen verringert. Dazu wird die Wand verschoben, wenn ein Objekt im Kontext-Bereich ausgewählt wird. Hierbei erkennt der Betrachter, wie sich das Objekt um die Ecke biegt und die Verbindung zwischen Fokus und Kontext wird offensichtlich [Mackinlay92]. Eine für den Zweck der kognitiven Entlastung geeignete Animation wäre auch für den Mapcube sinnvoll. Insbesondere bei der Mapcube Darstellung ist der kognitive Aufwand, der für das Verständnis der Darstellung notwendig ist, durch die dreidimensionale und transparente Darstellung sehr hoch. Es kann eine geeignete Animation gefunden werden, indem die Mapcube-Visualisierungstechnik mit einer Panning Technik kombiniert wird. Mittels der Panning-Interaktionen kann der Benutzer die Objekte in der Fokus- und Kontext-Region verschieben. Bei den Panning-Interaktionen erkennt der Benutzer, wie die Objekte von der Fokus- in die Kontext-Region und von der Kontext- in die Fokus-Region verschoben werden. Zudem kann bei Flächen- und Liniensignatur der Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region besser erkannt werden, da diese Signaturen sich ähnlich wie bei der perspektivischen Wand um die Ecke biegen.

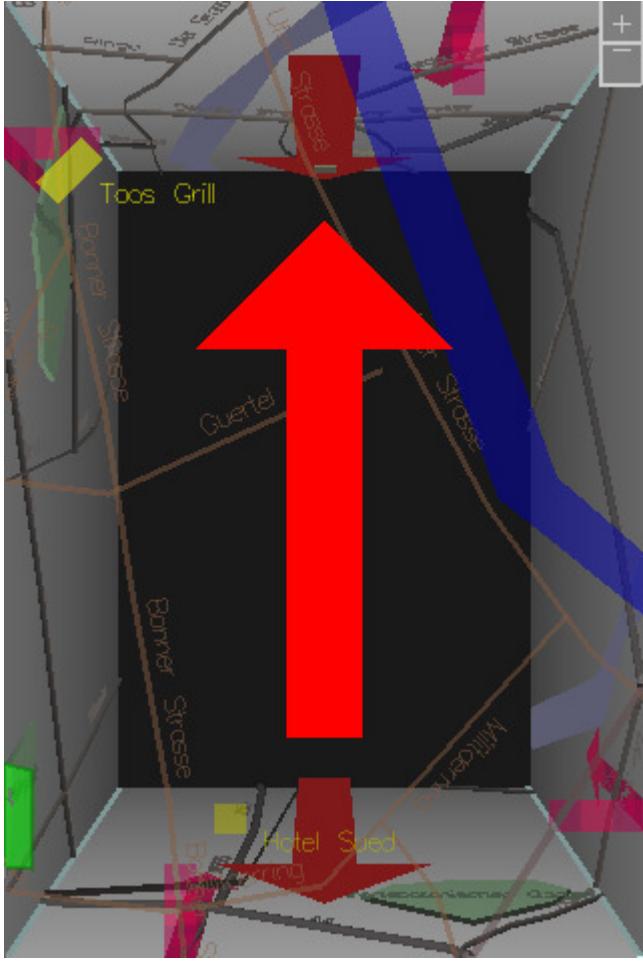


Abbildung 8.14 Probleme beim Panning

Die Kombination von Mapcube-Visualisierungstechnik mit einer Panning-Technik ist zwar für die kognitive Entlastung vorteilhaft, jedoch können bei der Kombination von der Mapcube-Visualisierungstechnik mit einer Panning-Technik Probleme entstehen, welche den Problemen (Hunting Effects) bei der Fischaugenlinse ähnlich sind. Hierbei wird die exakte Annäherung des Zielpunkts durch Verschieben der Fischaugenlinse dadurch erschwert, dass die Verzerrung eine unnatürliche Bewegung des Zielpunkts verursacht [Gutwin02]. Gutwin beschreibt das Problem wie folgt:

*„However, the distorted representation can cause problems for users. In this paper we identified and explored one of these problems—moving the focus of the magnifying lens to a particular target in the data. An experiment with the Sarkar and Brown fisheye showed that the level of distortion has a clear effect on the time people need to select focus targets, and on the number of errors that they make in targeting.“*

[Gutwin02]

Bei der Mapcube-Visualisierungstechnik wird eine Annäherung eines Zielpunkts dadurch erschwert, dass die Kontext-Flächen in gegensätzlicher Richtung zu der Fokus-Fläche verschoben werden. In der Abbildung 8.14 wird dargestellt, wie eine Verschiebung der Fokus-Region nach oben eine Verschiebung der Kontext-Flächen nach unten zur Folge hat. Auf Grund der gegensätzlichen Bewegung ist vermutlich anzunehmen, dass der Benutzer den Zielpunkt aus der Kontext-Region hinausschiebt statt den Zielpunkt in die Fokus-Region hineinzuschieben.

### 8.2.5 Kriterium Darstellungsart der Informationen

Vergleicht man die Darstellungsart der Informationen der Mapcube-Visualisierungstechniken in der Fokus-Region mit anderen Visualisierungstechniken wird deutlich, dass keine Unterschiede in den Darstellungsarten der Informationen bestehen. Im Gegensatz zu den Darstellungsarten in der Fokus-Region bestehen bei den Darstellungsarten in der Kontext-Region der Mapcube-Visualisierungstechnik Unterschiede zu anderen Visualisierungstechniken. Hierbei ergeben sich Vorteile durch die dreidimensionale Darstellung der Informationen in der Kontext-Region für die Mapcube -Visualisierungstechnik. Die meisten Visualisierungstechniken können Punkte, Linien und Flächen in der Kontext-Region darstellen. Zudem können die Hinweis-basierten Techniken lediglich bestimmte Formen wie zum Beispiel Pfeile und Kreise darstellen, um Objekte in der Kontext-Region anzudeuten. Auf Grund der dreidimensionalen Darstellung der Kontext-Region des Mapcubes können neben Punkten, Linien und Flächen auch Körper dargestellt werden. Die Körper verfügen über mehr graphische Attribute als Punkte, Linien oder Flächen. Neben den Attributen Länge und Breite verfügen zudem die Körper über das Attribut Höhe. Weiterhin bieten dreidimensionale Körper im Vergleich zu Punkten, Linien und Flächen mehr Gestaltungsmöglichkeiten, was die Form betrifft. Im Zusammenhang mit der Beleuchtung können bei den Körpern individuelle Materialeigenschaften festgelegt werden. Die Materialeigenschaften legen den Reflexionsgrad des Lichts fest. Es kann angenommen werden, dass eine dreidimensionale Darstellung die Attraktivität der Anwendung erhöht [Chen06].

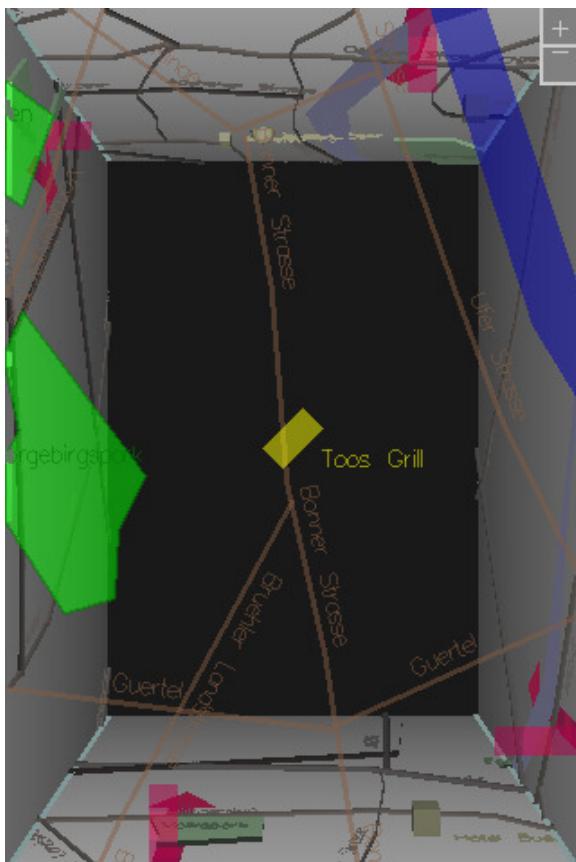


Abbildung 8.15  
Vektor Darstellung

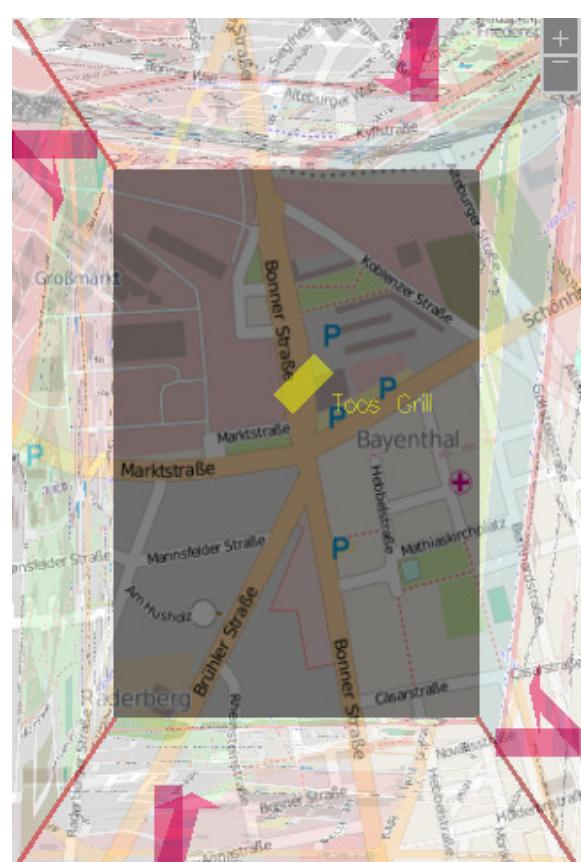


Abbildung 8.16  
Raster Darstellung

Es besteht die Möglichkeit, die Fokus- und Kontext-Region mit Vektorgrafiken als auch mit Rastergrafiken darzustellen. In Abbildung 8.15 wird dargestellt, wie Fokus- und Kontext-Region mit Vektoren abgebildet werden. Des Weiteren wird in Abbildung 8.16 dargestellt,

wie Fokus- und Kontext-Region mit Rastergrafiken abgebildet werden. Im Allgemeinen ist eine Darstellung mit Vektoren vorteilhaft gegenüber der Rasterdarstellung, da die klar abgegrenzten Flächen und Formen der Vektordarstellung die Wahrnehmung der Transparenz verbessern.

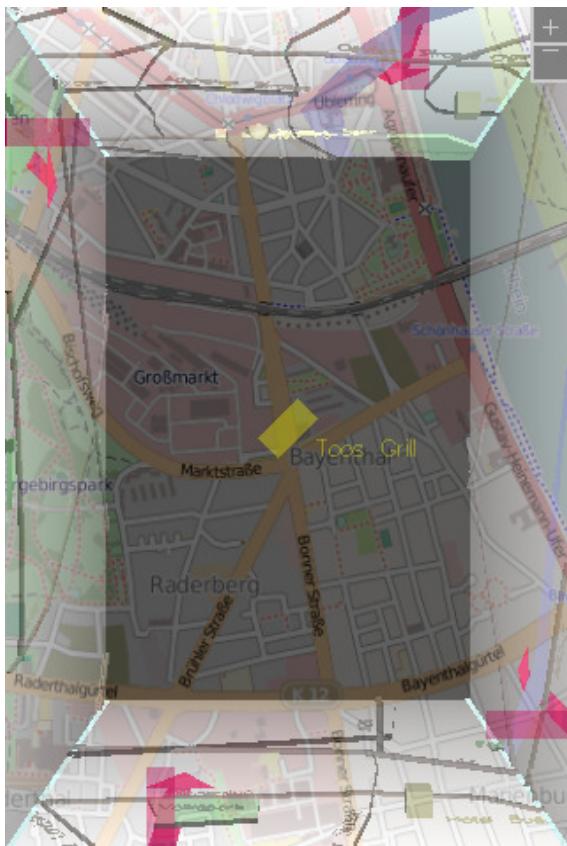


Abbildung 8.17  
Raster/Vektor Darstellung

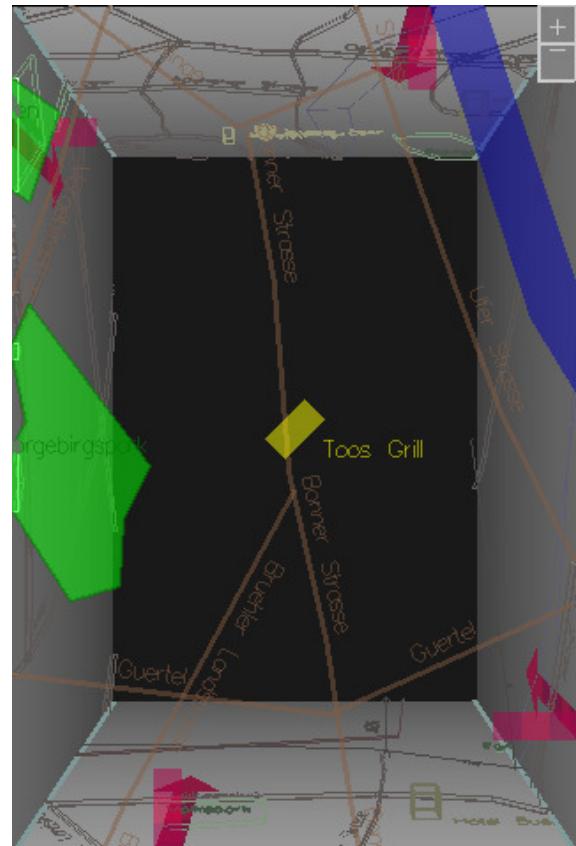


Abbildung 8.18  
Vektor/Drahtgitter Darstellung

Damit die Kontext-Region von der Fokus-Region besser unterschieden werden kann, sind unterschiedliche Darstellungsarten in Fokus- und Kontext-Region sinnvoll. In der Abbildung 8.17 wird abgebildet, wie die Fokus-Region mit Rastergrafiken und die Kontext-Region mit Vektorgrafiken dargestellt werden. Durch die unterschiedliche Darstellungsart in Fokus- und Kontext-Region hebt sich die Fokus-Region besser von der Kontext-Region ab. Ein Nachteil dabei ist, dass die Kontext-Region durch die Überlagerung der Rastergrafiken schlechter wahrgenommen wird. In der Abbildung 8.18 wird abgebildet, wie die Fokus-Region mit Vektorgrafiken und die Kontext-Region mit Drahtgittergrafiken dargestellt wird. Diese Art der Darstellung hat den Vorteil, dass die Fokus-Region durch die geringere Anzahl der Pixel in der Kontext-Region hervorgehoben wird. Bei einer Drahtgitterdarstellung in der Kontext-Region muss jedoch berücksichtigt werden, dass ein Schattierungsverfahren in Abhängigkeit von der Beleuchtung nicht sinnvoll ist. Aufgrund der geringen Flächen der Linien bei einer Drahtgitterdarstellung werden die Schattierungen kaum wahrgenommen. Somit wird bei einer Drahtgitterdarstellung die Wahrnehmung der dreidimensionalen Darstellung verschlechtert. Bei beiden Varianten muss beachtet werden, dass durch die unterschiedliche Darstellung von Fokus- und Kontext-Region die Wahrnehmung von Verbindungen zwischen Fokus- und Kontext-Region erschwert wird. Hierbei können zum Beispiel die Verbindungen Flüsse, Straßen und Seen sein, welche gleichzeitig und teilweise in der Fokus- und Kontext-Region abgebildet werden.

## 8.2.6 Kriterium Übergangszustand

Im Folgenden wird beurteilt, wie gut oder schlecht die Mapcube-Visualisierungstechnik den Übergang von der Fokus-Darstellung in die Fokus- und Kontext-Darstellung umsetzt. Dabei werden ausschließlich die Techniken verglichen, welche eine Umschaltung von einer Fokus- in eine Fokus- und Kontext-Darstellung ermöglichen. Ähnlich wie bei den Hinweis-Basierten Techniken und der Überblick-plus-Detail Darstellung wird die Fokus-Region auch bei Einblendung der Kontext Informationen unverändert dargestellt, was die Größe und die Details betrifft. Die Mapcube-Visualisierungstechnik hat im Vergleich zu den Hinweis-Basierten Techniken und der Überblick-plus-Detail Darstellung den Nachteil, dass die Fokus-Region bei der Einblendung der Kontextinformationen transparent dargestellt wird. Somit ist ein größerer kognitiver Aufwand notwendig, um die neue Darstellung zu verstehen. Mit Hilfe einer Fading Animation kann der kognitive Aufwand entlastet werden [Nguyen04]. Eine Zooming Technik ermöglicht es, die Kontextinformationen einzublenden, indem die Ansicht herausgezoomt wird. Dabei wird die Fokus-Region so verkleinert, dass der Fokus und Kontext gleichzeitig dargestellt werden kann. Durch die veränderte Darstellung der Fokus-Region ist ein kognitiver Aufwand notwendig, um die neue Darstellung zu verstehen. Hierbei hat die Mapcube-Visualisierungstechnik den Vorteil, dass bei Umschaltung der Ansicht die Fokus-Region unverändert dargestellt wird.

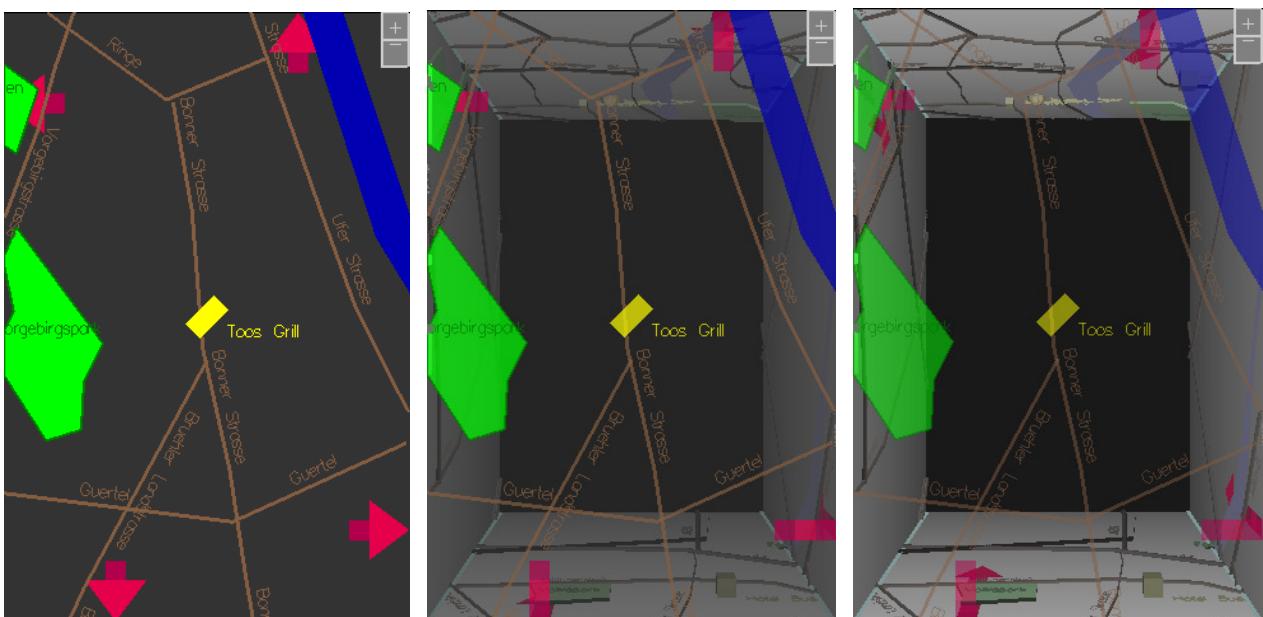


Abbildung 8.19 Übergang von der Fokus in die Fokus und Kontext Darstellung

In der Abbildung 8.19 wird dargestellt, wie der Übergang von der Fokus- in die Fokus- und Kontext-Darstellung mit Hilfe einer Fading Animation realisiert wird. Dabei wird deutlich, dass nach der Umschaltung in die andere Ansicht die geographischen Informationselemente und Beschriftung in der Fokus Region unverändert dargestellt werden. Daher kann angenommen werden, dass der kognitive Aufwand für Verständnis der neuen Darstellung bei der Mapcube-Visualisierungstechnik geringer als der kognitive Aufwand für das Verständnis einer herausgezoomten Ansicht mit der Zooming Technik ist.

## 8.2.7 Fazit Analytische Evaluation

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik sowohl Vor- als auch Nachteile hat. Dabei werden oftmals die Vorteile erkauft, indem ein Kompromiss (engl. trade-off) zu Gunsten der Nachteile eingegangen wird. Im Gegensatz zu den

anderen Fokus- und Kontext-Techniken, welche in Kapitel 2.5 vorgestellt wurden, bietet die Mapcube-Visualisierungstechnik den Vorteil, dass die Fokus-Region die komplette Bildschirmfläche ausfüllt. Dieser Vorteil wird dadurch erkauft, dass die Fokus-Region transparent dargestellt wird. Die transparente Darstellung verursacht wiederum eine hohe Datendichte, welche eine hohe kognitive Komplexität zur Folge hat. Im Wesentlichen wurde deutlich, dass die Mapcube-Visualisierungstechnik bestimmte Vorteile besitzt, die andere Visualisierungstechniken nicht bieten. Auf Grund der bestimmten Vorteile ist der Mapcube für bestimmte Einsatzgebiete besonders geeignet. Einerseits ist die Mapcube-Visualisierungstechnik für die Darstellung von Ereignissen im Offscreen geeignet, da bei einer Umschaltung von einer Fokus Darstellung in eine Fokus- und Kontext-Region ein hoher kognitiver Aufwand vermieden werden kann. Hierbei hat der Anwendungsfall Navigation, welcher in Kapitel 4.2.3.2 beschrieben wurde, aufgezeigt, dass mobile Situationen existieren, wo bei einer Einblendung von Ereignissen im Offscreen die ursprüngliche Sicht auf die Fokus-Region erhalten bleiben muss. Andererseits ist die Mapcube-Visualisierungstechnik für die Darstellung von Zusammenhängen in der Kontext-Region und Zusammenhängen zwischen Fokus- und Kontext-Region geeignet, da ein nahtloser und weicher Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region realisiert wird und die Entfernung zwischen Objekten auf Grund der intuitiven dreidimensionalen Darstellung in der Fokus-Region wahrgenommen werden können. Bei Berücksichtigung dieser Aspekte ist die Mapcube-Visualisierungstechnik im Vergleich zu Techniken, welche für die Darstellung der Fokus-Region die gesamte Bildschirmfläche nutzen und eine Umschaltung von einer Fokus-Darstellung in eine Fokus- und Kontext-Darstellung ermöglichen, vorteilhaft.

Eine Hinweis-basierte Technik hat den Nachteil, dass der Übergang von der Fokus- in die Kontext-Region nicht dargestellt wird. Dabei können Verbindungen zwischen Fokus- und Kontext-Region wie zum Beispiel Strassen nicht erkannt werden. Zudem hat eine Hinweis-basierte Technik den Nachteil, dass Beziehungen zwischen Objekten in der Kontext-Region nur schwer erkennbar sind. Eine Zooming Technik hat den Nachteil, dass auf Grund der zeitlichen Trennungen zwischen der Darstellung der Fokus- und der Kontext-Region der Übergang von der Fokus- in die Kontext Region nur schwer erkennbar ist. Des Weiteren hat die Überblick-plus-Detail Darstellung den Nachteil, dass auf Grund der räumlichen Trennung zwischen Fokus- und Kontext-Region ein hoher kognitiver Aufwand für die Wahrnehmung von Zusammenhängen zwischen Fokus- und Kontext-Region notwendig ist. Insbesondere ist die Überblick-plus-Detail Darstellung im Gegensatz zu der Mapcube-Visualisierungstechnik nicht für mobile Geräte mit kleiner Darstellungsfläche geeignet.

Allgemein kann angenommen werden, dass das Verständnis der Mapcube-Darstellung mit einem hohen kognitiven Aufwand verbunden ist. Der Benutzer muss verstehen, wie eine Karte auf einen dreidimensionalen Würfel abgebildet wird, wobei die Frontfläche des Würfels transparent ist. Hierbei sorgen Hilfsmittel wie der Fading-Effekt und die wachsenden Pfeile für einen Lerneffekt, der das Verständnis für die Kartenprojektion erleichtert.

## 9 Weiterentwicklungen

Das Kapitel „Weiterentwicklungen“ befasst sich mit den Anpassungen des Mapcube-Prototyps, welche den Kontext-Bereich anders darstellen. Wie bereits in Kapitel 8.2.4.2 beschrieben wurde, entstehen Probleme durch die unzureichende Darstellung des Kontext-Bereichs. Um die Probleme zu lösen, werden in Kapitel 9.1 und 9.2 zwei angepasste Versionen des Mapcube-Prototyps vorgestellt. Folgende Möglichkeiten werden vorgestellt:

- Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen, um den Kontext in Abhängigkeit der Richtung vollständiger und gleichmäßiger abzubilden
- Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen mit Berücksichtigung von Aspekten der bifokalen Anzeige, um den Kontext weitreichender abzubilden

### 9.1 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen

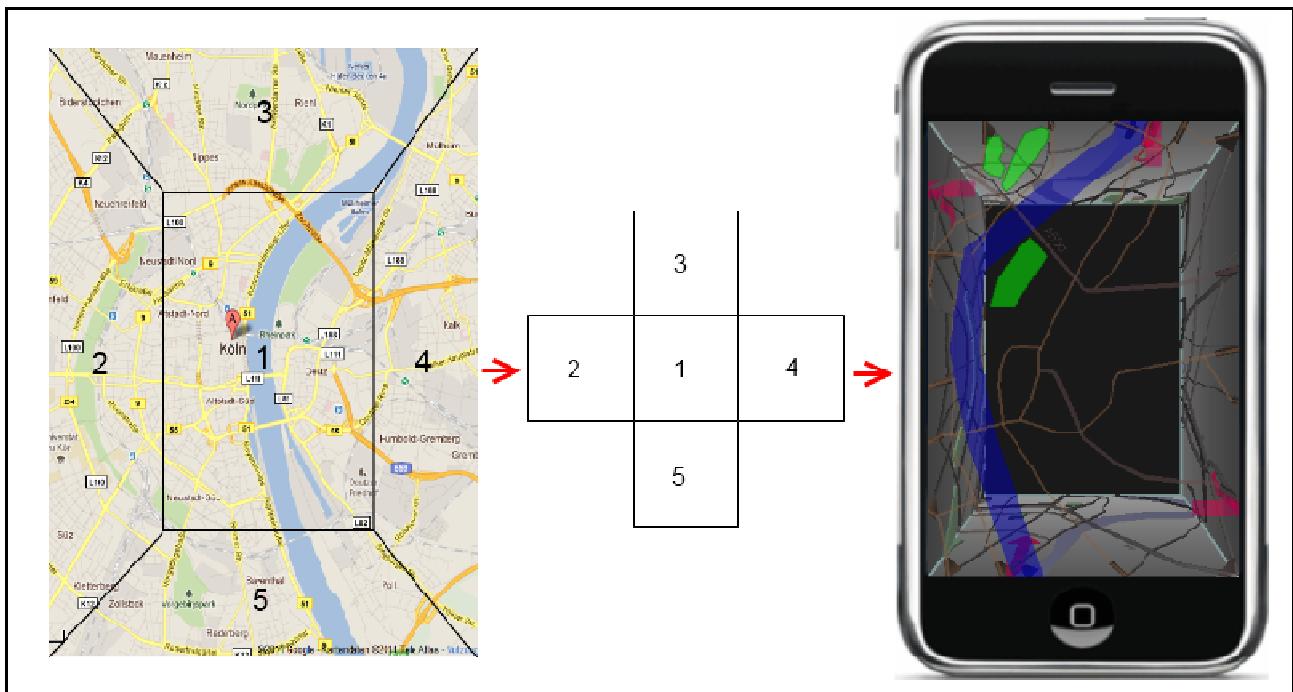


Abbildung 9.1 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen

Im Folgenden wird beschrieben, wie der Mapube-Prototyp für die Projektion von trapezförmigen Kartenflächen angepasst wird. In der Abbildung 9.1 wird dargestellt, wie vier trapezförmigen Kartenflächen und eine rechteckige Kartenfläche mittels der Mapcube-Visualisierungstechnik dargestellt werden. Dabei werden die trapezförmigen Kartenflächen verzerrt projiziert, so dass die Kartenflächen die rechteckigen Würfelflächen ausfüllen.

$$X = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1}$$

$$Y = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1}$$

Abbildung 9.2 Gleichung für die Projektion [Wren98]

Auf Grund der verzerrten Projektion muss eine Gleichung gefunden werden, welche Punkte aus einem beliebigen Viereck auf ein anderes beliebiges Viereck abbildet. Wren beschreibt eine Gleichung dieser Art, welche in Abbildung 9.2 dargestellt wird. Für die Gleichung müssen die Konstanten a, b, c, d, e, f, g und h gefunden werden. Die Konstanten können ermittelt werden, indem die Eckpunkte der beliebigen Vierecke in die Gleichung eingesetzt werden. Dadurch entsteht ein lineares Gleichungssystem, wobei die Konstanten a, b, c, d, e, f, g und h aus der Lösung des linearen Gleichungssystems ermittelt werden können [Wren98]. Sobald der projizierte Kartenausschnitt sich ändert, müssen die Konstanten neu ermittelt werden. Der Kartenausschnitt ändert sich, wenn der Kartenausschnitt verschoben oder die Zoomstufe geändert wird.

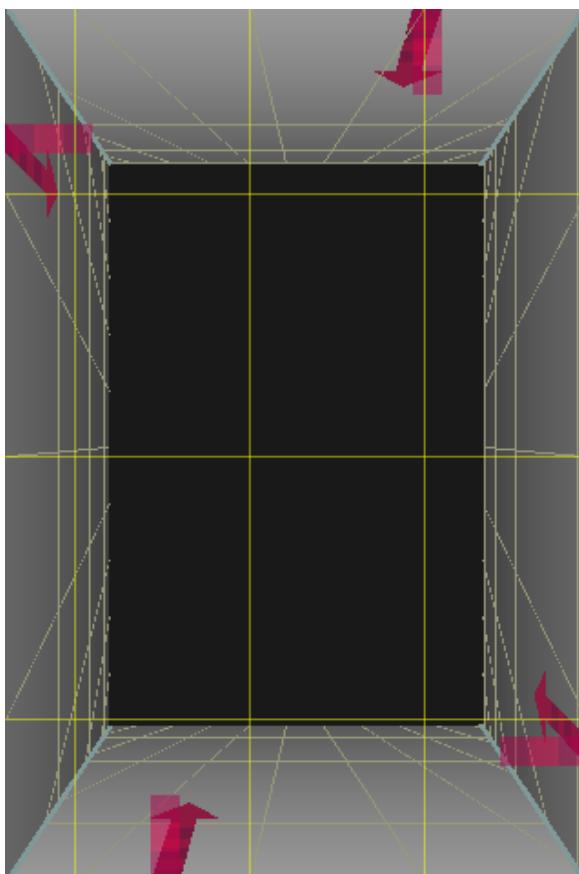


Abbildung 9.3  
Projektion von Gitterlinien

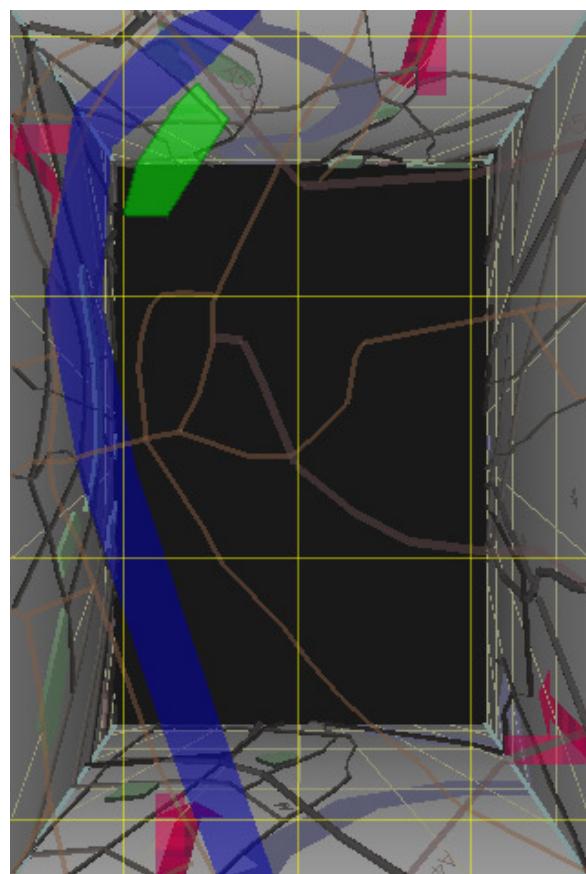


Abbildung 9.4  
Projektion von Gitterlinien und Kartendaten

Die Projektion von trapezförmigen Kartenflächen mit der Mapcube-Visualisierungstechnik hat sowohl Vor- als auch Nachteile. Wie in Kapitel 8.2.3.2 beschrieben, kann die Mapcube-Visualisierungstechnik die Kontextinformationen nicht gleichmäßig in alle Richtungen in Abhängigkeit von der Entfernung darstellen. Die Mapcube- Visualisierungstechnik projiziert

ein Kartenkreuz auf die Bildschirmfläche. Im Gegensatz dazu projiziert die angepasste Mapcube-Visualisierungstechnik einen rechteckigen Kartenausschnitt auf die Bildschirmfläche, wobei sich der rechteckige Kartenausschnitt aus den vier trapezförmigen Kartenflächen und einer rechteckigen Kartenfläche zusammensetzt. Aus diesem Grund werden die Kontextinformationen gleichmäßiger in alle Richtungen in Abhängigkeit von der Entfernung dargestellt. Ein weiterer Vorteil der angepassten Mapcube-Visualisierungstechnik ist, dass die Übergänge zwischen den verschiedenen Kontextflächen dargestellt werden. In der Abbildung 9.3 wird dargestellt, wie ein Gitterliniennetz mit der angepassten Mapcube-Visualisierungstechnik abgebildet wird. Hierbei sind nicht nur die Übergänge zwischen Fokus- und Kontext-Region sichtbar. Es sind auch die Übergänge zwischen den verschiedenen Kontextflächen erkennbar. Die angepasste Mapcube-Visualisierungstechnik hat den Nachteil, dass diese Art der Darstellung nicht mehr der natürlichen menschlichen Raumwahrnehmung entspricht. Auf Grund der verzerrten Darstellung werden die geographischen Informationselemente nicht mehr perspektivisch korrekt dargestellt. Dadurch wird die Wahrnehmung von Entfernungen und Beziehungen zwischen den geographischen Informationselementen in den Kontextflächen erschwert. In der Abbildung 9.4 wird die angepasste Mapcube-Visualisierungstechnik dargestellt, welche geographische Informationselemente und Gitterlinien darstellt. Mit Hilfe der Gitterlinien wird dem Betrachter bewusst, dass die Kartenflächen mit zunehmender Distanz von dem Betrachter entweder in horizontaler oder vertikaler Richtung gestaucht werden.

## 9.2 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen mit Berücksichtigung von Aspekten der bifokalen Anzeige

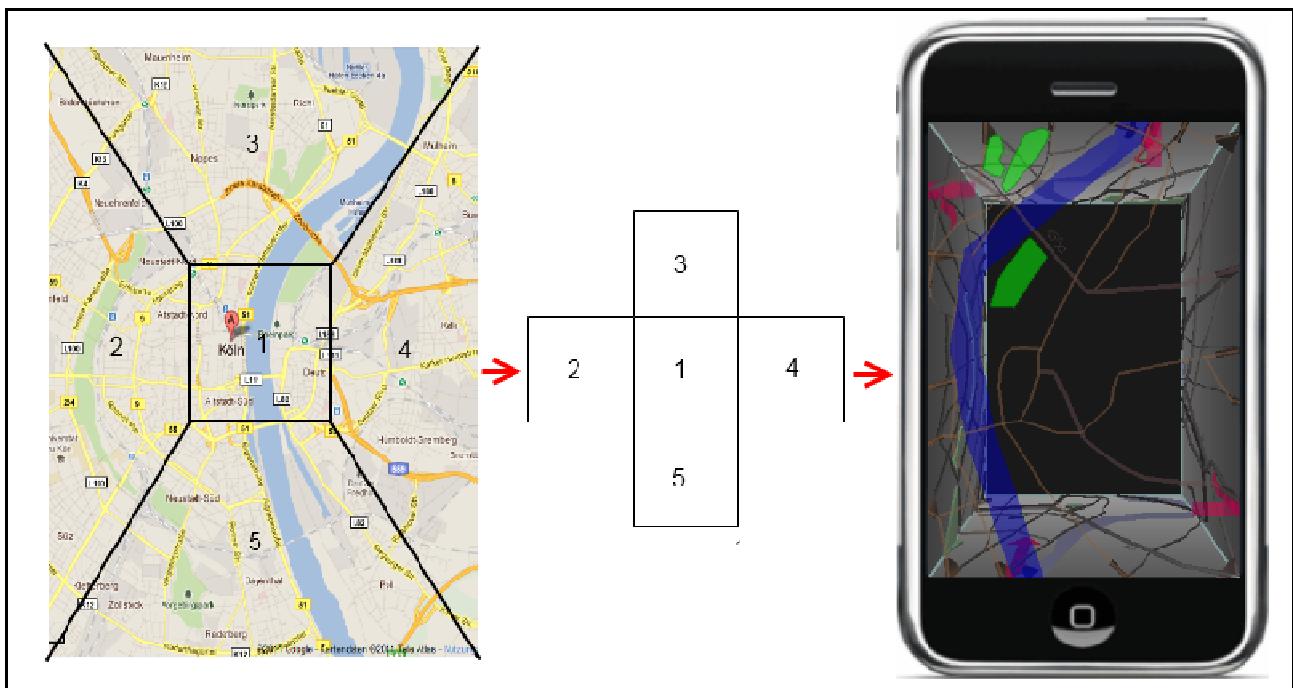
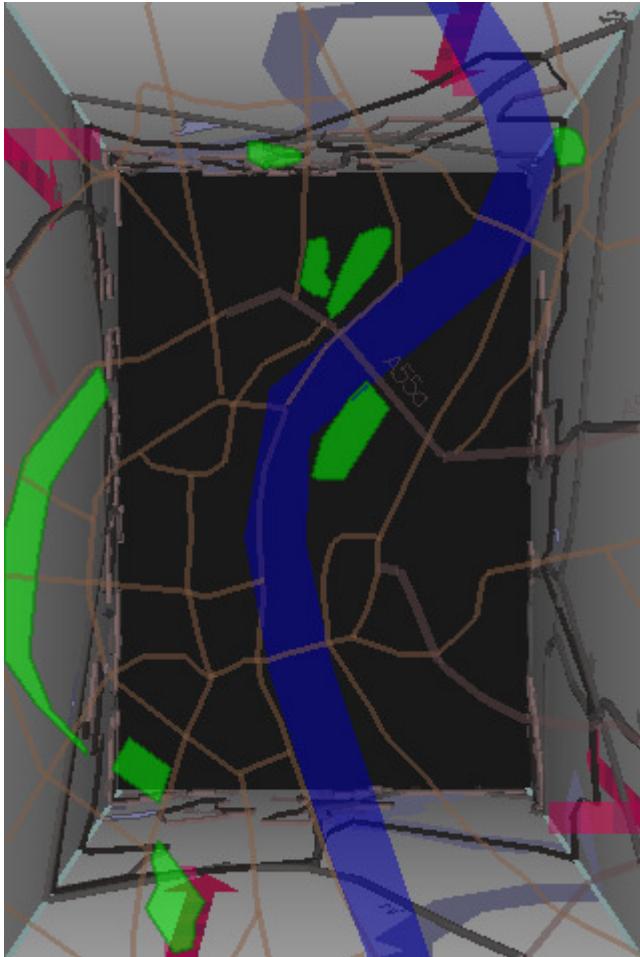


Abbildung 9.5 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen mit Berücksichtigung von Aspekten der bifokalen Anzeige

Um den Kontext-Bereich mit großflächigen Kartenflächen in einem hohen Detaillierungsgrad und in den Fokus mit einer kleinflächigen Kartenfläche in geringem Detaillierungsgrad darzustellen, wird die Mapcube-Visualisierungstechnik weiter

angepasst, welche in Kapitel 9.1 beschrieben wurde. In der Abbildung 9.5 wird dargestellt, wie vier trapezförmige und großflächige Kartenflächen und eine rechteckige und kleinflächige Kartenfläche mittels der Mapcube-Visualisierungstechnik dargestellt werden. Ähnlich wie bei der bifokalen Anzeige wird die Projektion in der Fokus-Region gestaucht und die Projektion in der Kontext-Region wird gestreckt. Im Gegensatz zu der bifokalen Anzeige ist der Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region nicht abrupt.



*Abbildung 9.6 Projektionen von trapezförmigen Kartenflächen mit Berücksichtigung von Aspekten der bifokalen Anzeige*

Durch die Stauchung der Kontext-Flächen und die transparente Darstellung ist die abgebildete Informationsmenge oft derart komplex, dass das Verständnis für die Abbildung beeinträchtigt wird. Hierbei lässt sich eine zu große komplexe Informationsmenge vermeiden, indem weniger relevante Informationselemente verborgen werden (engl. Information Hiding). Eine Möglichkeit zum Verbergen von weniger relevanten Informationselementen beschreibt Furnas. Dabei werden Informationen in Abhängigkeit von der Distanz zu dem Punkt von Interesse ausgeblendet [Furnas81]. Bei der angepassten Mapcube-Visualisierungstechnik wird ein stark vereinfachtes Verfahren angewandt, welches in der Fokus Region alle Details darstellt und in der Kontext Region geographische Informationselemente mit geringer Relevanz ausblendet. In der Abbildung 9.6 wird dargestellt, wie die Mapcube-Visualisierungstechnik großflächige Kartenflächen mit geringen Details in der Kontext-Region und eine kleinflächige Karte mit hohem Detailierungsgrad in der Fokus-Region darstellt. Hierbei werden bestimmte geographische Informationselemente in der Kontext-Region ausgeblendet. Im Einzelnen werden die Straßen und Parks ausgeblendet. Es werden lediglich die Autobahnen, Flüsse, Seen und Ortsgrenzen in der Kontext-Region dargestellt. Ein wesentlicher Nachteil bei dieser Art der

Darstellung sind die teilweise fehlenden Abbildungen der Übergänge von Strassen und Parks, so dass das Verständnis für den Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region beeinträchtigt wird.

# 10 Zusammenfassung und Ausblick

## 10.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, den Mapcube Prototyp zu entwickeln, welcher die Möglichkeiten und Vorteile der neuen Mapcube-Visualisierungstechnik für Geräte mit kleiner Darstellungsfläche verdeutlicht. Hierbei wurde ein Applet entwickelt, welches mittels eines Browser angezeigt werden kann. Das Applet demonstriert, wie die beschränkte Darstellungsfläche mit der Mapcube-Visualisierungstechnik besser genutzt werden kann. Darüber hinaus wurde ein Benutzertest zusammen mit dem Applet angelegt, welcher zeigt, dass Zusammenhänge im Kontext mit der Mapcube-Visualisierungstechnik im Vergleich zu der HALO-Visualisierungstechnik schneller und fehlerfreier erkannt werden können. Weiterhin wurde mit dem Applet und dem Anwendungsfall Navigation demonstriert, wie die Mapcube Visualisierungstechnik im Zusammenhang mit den ortszugangsdienssten verwendet werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde in Kapitel 5 die Software konzipiert. Dabei wurde festgelegt, wie Rasterdaten und geographische Informationsobjekte mittels Signaturen auf die einzelnen Würfelflächen des Mapcubes projiziert werden und die einzelnen Würfelflächen auf die Anzeige projiziert werden. Weiterhin wurde in Kapitel 6 der Entwurf der Software festgelegt, wobei hier das Gesamtsystem in eine Drei-Schichten-Architektur zerlegt wird. In Kapitel 7 wurde die Umsetzung beschrieben. Dabei wurden im Einzelnen die Technologien OpenGL, OpenGL ES, Java OpenGL, Java Applet, JTS Topology Suite und XML beschrieben. In Kapitel 8 wurde die empirische und analytische Evaluation vorgenommen. Bei der analytischen Evaluation wurde festgestellt, dass die Kontext-Region durch die Mapcube-Visualisierungstechnik im Vergleich zu anderen Visualisierungstechniken ungleichmäßig in Abhängigkeit von der Richtung dargestellt wird (vergl. 8.2.4.2 Räumliche Orientierung (engl. Spatial Orientation)). Deshalb wird in Kapitel 9 eine modifizierte Version der Mapcube-Visualisierungstechnik vorgestellt, welche die Kontext-Region anders darstellt.

## 10.2 Ausblick

Ausgehend von der Mapcube-Visualisierungstechnik können mit Hilfe der dreidimensionalen Informationsvisualisierung vergleichbare Visualisierungstechniken gefunden werden. Weitere vergleichbare Visualisierungstechniken können gefunden werden, indem die Kartenflächen statt auf die Würfelform auf andere dreidimensionale Körper projiziert werden. Dabei könnten beispielweise die Kartenflächen auf einen Zylinder oder eine Kugel projiziert werden. In diesem Zusammenhang hat bereits der hyperbolische Browser mit einem dreidimensionalen Layout, welcher von Munzner vorgeschlagen wurde, die Vorteile einer dreidimensionalen Kugelform aufgezeigt. Einerseits hat dieser hyperbolische Browser mit der Projektion auf eine Kugelform den Vorteil, dass sich sehr viele Informationen abbilden lassen. Andererseits werden die Informationen im Zentrum der Kugeloberfläche mit vielen Details und die Informationen im Rand der Kugeloberfläche mit geringen Details dargestellt. Hierbei wird eine Fokus- und Kontextdarstellung erzeugt, wobei der Übergang zwischen Fokus- und Kontext-Region ähnlich wie bei einer Fischaugen-Darstellung fließend ist [Munzner98]

## Literaturverzeichnis

[Barthelme05]

Norbert Brathelme: *Geoinformatik Modelle • Strukturen • Funktionen 4. Auflage* (2005)

[Baudisch03]

Patrick Baudisch, Ruth Rosenthalz: *Halo: a Technique for Visualizing Off-Screen Locations* (2003)

[Baudisch04]

Patrick Baudisch, Carl Gutwin: *Multiblending: displaying overlapping windows simultaneously without the drawbacks of alpha blending* (2004)

[Bertini05]

Enrico Bertini, Giuseppe Santucci: *Is it darker? Improving density representation in 2D scatter plots through a user study* (2005)

[Brath97]

Richard Brath: *Metrics for Effective Information Visualization* (1997)

[Burigat11]

Stefano Burigat, Luca Chittaro: *Visualizing References to Off-Screen Content on Mobile Devices: a Comparison of Arrows, Wedge, and Overview+Detail* (2011)

[Burigat06]

Stefano Burigat, Luca Chittaro, Silvia Gabrielli: *Visualizing Locations of Off-Screen Objects on Mobile Devices: A Comparative Evaluation of Three Approaches* (2006)

[Card02]

Stuart Card: *The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications* (2002)

[Card99]

Stuart Card, Jock Mackinlay, and Ben Shneiderman: *Readings in Information Visualisation. Using Vision to Think* (1999)

[Chen06]

Chaomei Chen: *Information Visualization Beyond the Horizon Second Edition* (2006)

[Cockburn05]

Andy Cockburn, Amy Karlson, Benjamin B. Bederson: *A Review of Overview+Detail, Zooming, and Focus+Context Interfaces* (2005)

[Cockburn01]

Andy Cockburn, Bruce McKenzie: *3D or not 3D? Evaluating the Effect of the Third Dimension in a Document Management System* (2001)

[DalSassoFreitas02]

Carla M. Dal Sasso Freitas, Paulo R. G. Luzzardi, Ricardo A. Cava, Marco A. A. Winckler, Marcelo S. Pimenta, Luciana P. Nedel: *Evaluating Usability of Information Visualization Techniques* (2002)

[Davis11]

M. Davis, J. Aquino: *JTS Topology Suite Technical Specifications* (2011)

[deLange06]

Nobert de Lange: *Geoinformatik in Theorie und Praxis* (2006)

[Dey99]

Anind K. Dey and Gregory D. Abowd: *Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness* (1999)

[Dong08]

Zhang Dong, Wang Ling, Hui Hongchao, Li Heyuan: *Navigation Map Data Representation and Parallel Display Algorithm in an Embedded Environment* (2008)

[Furnas81]

G. W. Furnas: *The Fisheye view: a new look at structured files* (1981)

[Gamma01]

Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson: *Design Patterns – Elements of Reusable Object-Oriented Software* (2001)

[Gustafson08]

Sean Gustafson, Patrick Baudisch, Carl Gutwin, Pourang Irani: *Wedge: Clutter-Free Visualization of Off-Screen Locations* (2008)

[Gutwin02]

Carl Gutwin: *Improving Focus Targeting in Interactive Fisheye Views* (2002)

[Hornbaek01]

Kasper Hornbæk: Navigation Patterns and Usability of Overview+Detail and Zoomable User Interfaces for Maps (2001)

[Horstmann00]

Cay S. Horstmann, Gary Cornell: *Core Java 2 Volume I-Fundamentals* (2000)

[Hemmje09]

Prof. Dr.-Ing. Matthias L. Hemmje, Dipl. Inf. Gerald Jäschke: *Kurs 01872: Informationsvisualisierung im Internet II* (2009)

[Horstmann00]

Cay S. Horstmann, Gary Cornell: *Core Java 2 Volume I-Fundamentals* (2000)

[Imhof72]

Eduard Imhof: *Thematische Kartographie* (1972)

[Jones05]

Steve Jones, Matt Jones, Gary Marsden, Dynal Patel, Andy Cockburn: *An Evaluation Of Integrated Zooming and Scrolling On Small-Screens* (2005)

[Kamba96]

Tomonari Kamba, Shawn A. Elson, Terry Harpold, Tim Stamper, Piyawadee Sukaviriya:

*Using small screen space more efficiently* (1996)

[Kraak96]

Menno-Jan Kraak, Ferjan Ormeling: Cartography: *Visualization of Geospatial Data Third Edition* (1996)

[Leung94]

Y. K. Leung, M. D. Apperly: *A Review and Taxonomy of Distortion-Oriented Presentation Techniques* (1994)

[Mackinlay92]

J.D. Mackinlay, G. G. Robertson, S. K. Card: *The Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated* (1992)

[Mazza09]

Riccardo Mazza: *Introduction to Information Visualization* (2009)

[Mikkola10]

Maija Mikkola, Atanas Boev, Atanas Gotchev: *Relative Importance of Depth Cues on Portable Autostereoscopic Display* (2010)

[Munzner98]

Tamara Munzner, Stanford University: *H3: Laying Out Large Directed Graphs in 3D Hyperbolic Space* (1998)

[Neider97]

Jackie Neider, Tom Davis: *OpenGL Programming Guide Version 1.1 Second Edition* (1997)

[Nie09]

Yun-Feng Nie , Xiang Fu , and Jie-Xian Zeng: *A Tourist Route Planning and Navigation System Based on LBS* (2009)

[Nivala03]

A.-M. Nivala, L.Tiina Sarjakoski: *An Approach to intelligent Maps: Context Awareness* (2003)

[Nischwitz07]

Alfred Nischwitz, Max Fischer, Peter Haberäcker: *Computergrafik und Bildverarbeitung* (2007)

[Nguyen04]

Quang Vinh Nguyen, Mao Lin Huang: *A Focus+Context Visualization Technique Using Semi-transparency* (2004)

[Orlamünder11]

Prof. Dr.-Ing.habil. Orlamünder: <http://www.inf.tu-dresden.de/content/institutes/smt/cg/teaching/lectures/CPGWS0506/public/OpenGL/OpenGL.pdf> (Gesichtet 2011)

[Pattatha09]

Avin Pattatha, David S. Eberta, William Pikeb, Richard A. Mayb: *Contextual Interaction for*

*Geospatial Visual Analytics on Mobile Devices* (2009)

[Pietriga08]

Emmanuel Pietriga, Caroline Appert: *Sigma Lenses: Focus-Context Transitions Combining Space, Time and Translucence* (2008)

[Piras04]

Andrea Piras, Roberto Demontis, Emanuela De Vita, Stefano Sanna: *Compact GML: merging mobile computing and mobile cartography*

[Porter84]

Thomas Porter, Tom Duff: *Compositing Digital Images* (1984)

[Rama88]

Vilayanur S.Ramachdran: *Perceiving Shape from Shading* (1988)

[Rase97]

Wolf Dieter Rase: *Fischauge Projektionen als kartographische Lupen* (1997)

[Rekimoto93]

Jun Rekimoto, Mark Green: *The Information Cube: Using Transparency in 3D Information Visualization* (1993)

[Reichenbacher04]

Tumasch Reichenbacher: *Mobile Cartography – Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices* (2004)

[Robbins04]

Daniel C. Robbins, Edward Cutrell, Raman Sarin, Eric Horvitz: *ZoneZoom: Map Navigation for Smartphones with Recursive View Segmentation* (2004)

[Rubin08]

Jeffrey Rubin, Dana Chisnell: *Handbook of Usability Testing* (2008)

[Roberston91]

George G. Robertson, Jock D. Mackinlay, Stuart Card: *Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information* (1991)

[Sarkar92]

Manojit Sarkar, Marc H. Brown: *Graphical Fisheye Views of Graphs* (1992)

[Schumann03]

Heidrun Schumann, Matthias Kreuseler: *Fokus&Kontext-Darstellung im geographischen Kontext* (2003)

[Seemann00]

Jochen Seemann, Jürgen Wolff von Gudenberg: *Software-Entwurf mit UML 2* (2000)

[Spence82]

R. Spence, M. Apperly, Database Navigation: *An Office Environment for the Professional. Behaviour and Information Technology* (1982)

[Steiniger06]

S. Steiniger, M. Neun and A. Edwardes: *Foundations of Location Base Services* (2006)

[Streit10]

Prof. Dr. U. Streit: *Einführung in die Geoinformatik* <http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/> (gesichtet 15.10.2010)

[Tominski05]

Christian Tominski, Petra Schulze-Wollgast, Heidrun Schumann: *3D Information Visualization for Time Dependent Data on Maps* (2005)

[Tulis08]

Tom Tulis, Bill Albert: *Measuring the user experience* (2008)

[Ware04]

Colin Ware: *Information Visualization Perception for Design* (2004)

[Watanabe95]

Takeo Watanabe, Patrick Cavanagh: *Texture Laciness: the texture equivalent of transparency?* (1995)

[Werkmann09]

B.Werkmann, D.Heutelbeck, M.Hemmmje: *Map-Based Focus and Context Visualization for Location Based Services* (2009)

[Wren98]

Christopher R. Wren: <http://alumni.media.mit.edu/~cwren/interpolator/> (Gesichtet 14.9.2011)

[Yamamoto10]

Daisuke Yamamoto, Kohei Hukuhara, Naohisa Takahashi: *A Focus Control Method Based on City Blocks for the Focus+Glue+Context Map* (2010)

[Youtube11]

*Distorted map on a PDA - The Bifocal Display*

[http://www.youtube.com/watch?v=FDYo9uvrNJ0&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=FDYo9uvrNJ0&feature=player_embedded) (gesichtet 5.4.2011)

[Zellweger03]

Polle T. Zellweger, Jock D. Mackinlay, Lance Good, Mark Stefik, Patrick Baudisch: *City Lights: Contextual Views in Minimal Space* (2003)