

Diplomarbeit

# Endgerätabhängige Visualisierung von dreidimensionalen Geodaten in einem Katastrophenmanagementsystem

durchgeführt am  
Fraunhofer-Institut für graphische Datenverarbeitung  
Darmstadt

von  
**Markus Etz**

Fachhochschule Gießen-Friedberg  
Bereich Friedberg  
Fachbereiche IEM, MND, MNI  
Studiengang Medieninformatik

Sommersemester 2004

Referentin:  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Monika Lutz

Korreferent:  
Dipl.-Ing. Daniel Holweg

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die vorliegende Diplomarbeit ohne unzulässige Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur angefertigt wurde.

Darmstadt, 18. Juni 2004

---

Markus Etz

## **Danksagung**

Ich möchte mich bedanken

bei Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Monika Lutz für ihre exzellente Betreuung während meines BPS und meines Diploms,

bei Dipl.-Ing. Daniel Holweg für seine Unterstützung und wertvollen Ratschläge bei der Entwicklung dieser Arbeit und seiner Bereitschaft, diese Arbeit als Zweitgutachter zu betreuen,

bei den Mitarbeitern der Abteilung A5 des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung in Darmstadt für das Beantworten vieler Fragen und die äußerst angenehme Arbeitsatmosphäre

und nicht zuletzt bei meiner Familie, die mich stets unterstützt und mir somit dieses Studium ermöglicht hat.

Darmstadt, 18. Juni 2004

Markus Etz

# **Aufgabenstellung Diplomarbeit**

## **Endgerätabhängige Visualisierung von dreidimensionalen Geodaten in einem Katastrophenmanagementsystem**

### **Motivation:**

Um in Notfallsituationen und bei Katastrophen schnell und richtig zu reagieren und zu handeln und somit Menschenleben zu retten, ist es notwendig, Notfalleinsätze auf Informationssysteme zu stützen, welche auf kartographischem Material und Geodaten basieren. Diese Systeme informieren vor Ort über die Verfügbarkeit und Position von benötigten Einsatzkräften, Institutionen wie Krankenhäusern und Hilfsmittel wie Hydranten u.Ä. Um im Ernstfall diese Daten auf verschiedenen Systemen wie zum Beispiel PCs, Notebooks und Handhelds („Pocket PC“) bestmöglich darstellen zu können, ist es notwendig, die Darstellung der Daten an das Endgerät anzupassen. Durch diese Anpassung können die Vorzüge der unterschiedlichen Systeme optimal genutzt werden. So liegt die Stärke eines Handhelds in seiner Mobilität, so dass hier eine Darstellung positionsabhängiger Daten sinnvoll ist, während detaillierte grafische Informationen eher an einem stationären PC dargestellt werden können.

### **Aufgabenstellung:**

Ziel der Diplomarbeit ist es, die Antwort eines Geodatenservers so zu konfigurieren, dass die zu visualisierenden Daten endgerätoptimiert an den Client übertragen werden. Hierzu sind Erweiterungen am Geodatenserver notwendig, um den Client zu identifizieren und somit Entscheidungen darüber zu treffen, welche Daten an den Client übermittelt werden sollen. So sollen die Daten, die an ein Handheld-Gerät übermittelt werden, aus Performanzgründen auf ein sinnvolles Minimum reduziert werden. Es ist zum Beispiel denkbar, einzelne Objekte nicht mehr als dreidimensionale Geometrie anzuzeigen, sondern zweidimensionale Symbole zu verwenden. Weiterhin ist eine positionsabhängige Anpassung der zu übertragenden Daten zu realisieren.

Folgende Punkte sollen im Einzelnen beachtet werden:

- Analyse der Darstellungsmöglichkeiten von geografischen Daten bei unterschiedlichen Endgeräten
- Entwicklung eines Systems zur Identifikation eines Clients
- Optimierung der Serverantwort eines Geodatenservers unter Berücksichtigung der Eigenschaften unterschiedlicher Clients
- Prototypische Umsetzung
- Dokumentation der Ergebnisse

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziel der Arbeit . . . . .	3
1.3	Grundlagen geographischer Informationssysteme . . . . .	4
1.4	Einsatz von GIS im Katastrophenmanagement . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Verwendete Technologien</b>	<b>10</b>
2.1	Java . . . . .	10
2.2	Java 3D . . . . .	12
2.3	Java 2 Platform, Micro Edition . . . . .	15
2.4	Mobile 3D Graphics . . . . .	16
2.5	XML . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Kartographische Darstellung und Gestaltungsmittel</b>	<b>22</b>
3.1	Allgemeine Grundsätze . . . . .	22
3.2	Generalisierung . . . . .	29
3.2.1	Begriff der Generalisierung . . . . .	29
3.2.2	Externe Parameter und angewandte Generalisierungsvorgänge . . . . .	32
3.2.3	Ansätze automatischer Generalisierung . . . . .	38
<b>4</b>	<b>3D Kartographie-Server</b>	<b>41</b>
4.1	Konzeption eines 3D Kartographie-Servers . . . . .	41
4.2	Aufbau der Visualisierungsplattform . . . . .	44
4.3	Erweiterung der Datenbank . . . . .	45
4.4	Kommunikation zwischen Server und Datenbank . . . . .	47

4.5	Struktur des 3D-Kartographie Szenengraphen . . . . .	48
4.6	Kommunikation zwischen Client und Server . . . . .	51
4.6.1	Nutzerspezifische Parameter . . . . .	52
4.6.2	Technische Parameter . . . . .	54
4.7	Kartographische Abstraktion und Generalisierung . . . . .	56
4.7.1	Automatische Generierung von Landmarken . . . . .	56
4.7.2	Erzeugen der Kartengraphik . . . . .	59
4.7.2.1	Erzeugen von Signaturen . . . . .	59
4.7.2.2	Kartenschrift . . . . .	61
4.7.2.3	Farbe und Transparenz . . . . .	62
4.7.2.4	Betonung und Verdrängung . . . . .	68
4.7.2.5	Darstellungsstufen eines Objekts . . . . .	70
4.8	Visualisierung der Karte . . . . .	71
4.8.1	Visualisierung als Java 3D Applet . . . . .	72
4.8.2	Visualisierung als Mobile 3D Graphics Midlet . . . . .	72
4.8.3	Visualisierung als statische Grafik . . . . .	74
4.9	Zusammenfassung . . . . .	75
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>76</b>
5.1	Ergebnisse der Arbeit . . . . .	76
5.2	Anregungen und Erweiterungen . . . . .	77
<b>A</b>	<b>Gauss-Krüger Koordinaten</b>	<b>79</b>

# Tabellenverzeichnis

3.1	Bedingungen für die Anwendung von Generalisierungsschritten	34
-----	---	----

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Visualisierung von 3D-Daten auf einem PDA . . . . .	6
1.2	Zyklus des Katastrophenmanagements . . . . .	8
2.1	Symbole der Objekttypen eines Szenengraphen . . . . .	13
2.2	Struktur eines einfachen Szenengraphen . . . . .	14
2.3	Schematischer Aufbau von J2ME (Quelle: [12]) . . . . .	15
2.4	Ungültige Beziehungen zwischen Objekten eines M3G Szenengraphen . . . . .	17
2.5	Mehrfache Referenzierung einer Komponente in M3G . . . . .	18
2.6	Struktur eines M3G-Szenengraphen . . . . .	19
2.7	Ausschnitt aus einem XML-Dokument . . . . .	20
3.1	Luftaufnahme der Darmstädter Innenstadt . . . . .	23
3.2	Karte der Darmstädter Innenstadt . . . . .	23
3.3	Unterschiedliche Symbole internationaler Hilfsorganisationen . . . . .	27
3.4	Generalisierte Wohnhäuser . . . . .	30
3.5	Generalisierungsvorgänge . . . . .	40
4.1	Schematischer Aufbau der Visualisierungskomponente . . . . .	43
4.2	Struktur der Klasse CartographyFunctions . . . . .	45
4.3	Struktur des Szenengraphen in der Visualisierungsschicht . . . . .	49
4.4	Struktur zur Beschreibung nutzerspezifischer Parameter . . . . .	53
4.5	Struktur zur Beschreibung technischer Parameter . . . . .	55
4.6	Einsatz von Kartenschrift zur zusätzlichen Informationsübermittlung . . . . .	61
4.7	Kodierung von qualitativen Eigenschaften über Farbe . . . . .	63



4.8	Kodierung von quantitativen und qualitativen Eigenschaften über Farbe . . . . .	64
4.9	Auswirkung der Farbe auf 3D-Eindruck . . . . .	65
4.10	Ungeeignete Farbkomponenten zur Kodierung quantitativer Merkmale . . . . .	67
4.11	Geeignete Farbkomponenten zur Kodierung quantitativer Merk- male . . . . .	68
4.12	Problem der Überlappung bei Betonung von Objekten . . . . .	69
4.13	Verdrängungswirkung ausgehend von einem betonten Objekt . . . . .	70
4.14	Darstellung der Karte auf einem mobilen Endgerät . . . . .	73
A.1	Gauss-Krüger Koordinaten (Quelle: [39]) . . . . .	80

# Kapitel 1

## Einleitung und Grundlagen

### 1.1 Motivation

Der Mensch ist einer Vielzahl von Notsituationen ausgesetzt. Diese können unterschiedlichste Ursachen haben: Naturkatastrophen wie Überschwemmungen und Erdbeben, technische Unfälle, Großbrände oder auch böswillig herbeigeführte Schäden in Folge eines terroristischen Anschlags.

All diesen Notsituationen ist gemeinsam, dass schnelle und gezielte Maßnahmen erforderlich sind, um die Anzahl der Opfer und die verursachten Schäden zu minimieren. Um diese Maßnahmen zu planen und in kürzester Zeit ausführen zu können, werden aktuelle Informationen benötigt. Diese Informationen dienen dazu, dem Nutzer Entscheidungen zu ermöglichen oder ihm diese zu erleichtern.

Die beschriebenen Katastrophen besitzen immer einen Raumbezug, d.h. eine räumliche Ausdehnung. Für sämtliche Punkte innerhalb dieser Ausdehnung können Informationen über beispielsweise die Größe des Schadens vorliegen. Diese Informationen stammen im Regelfall aus unterschiedlichen Quellen. Die Zusammenführung dieser Daten, die eine gemeinsame Auswertung ermöglicht, ist Aufgabe eines Geographischen Informationssystems (GIS). Dieses dient somit als zentrale Komponente der IT-Unterstützung im Katastrophenmanagement [1]. Um dem Nutzer die gesammelten Daten in einer Form zu präsentieren, die es ihm ermöglicht, die für ihn relevanten Informationen schnell und effektiv zu erkennen, liegt die zentrale Aufgabe in der Vi-

sualisierung der Daten. Diese ermöglicht es, komplexe Daten in einer Karte darzustellen. Diese Verknüpfung von abstrakter Information und Rauminformation ermöglicht durch den Gewinn an Überblick eine schnellere Erfassung der Situation.

Bei einer Katastrophe müssen unterschiedliche Gruppen wie lokale Einsatzkräfte, auswärtige Einsatzkräfte aber auch direkt Betroffene informiert werden. Während Hilfskräfte aktuellen Zugang zu teilweise sensiblen Daten benötigen, ist es denkbar, dass der Zugang zu diesen Daten Privatpersonen aus Sicherheitsgründen verwehrt werden muss. Ebenfalls zu berücksichtigen ist der Ausbildungs- und Wissensstand des jeweiligen Nutzers. So ist beispielsweise die Angabe des zu erwartenden Wasserstands für örtliche Einsatzkräfte ausreichend, da diese die Bedeutung der Zahlenwerte interpretieren können, für den durchschnittlichen Normalbürger ist diese Information jedoch wertlos, da sie für ihn erst durch die Verbindung mit räumlichen Informationen z.B. in Form einer Karte, die die Zahlenwerte visualisiert, eine Bedeutung gewinnt [2].

Bei der Vielzahl der möglichen Nutzer der Informationen müssen bei der Art und Übermittlung der Informationen nicht nur personelle Unterscheidungen vorgenommen werden, auch auf eine Unterscheidung der zur Verfügung stehenden technischen Voraussetzungen ist zu achten. Während Privatpersonen im Regelfall die gewünschten Informationen über moderne Personal Computer unter Nutzung einer schnellen und stabilen Netzverbindung beziehen werden, sind mobile Einsatzkräfte im Katastrophenfall in ihren Mitteln eingeschränkt. Mobile Endgeräte wie PDAs oder aktuelle Mobiltelefone verfügen über eine begrenzte Rechenleistung und geringen Speicher, die Darstellung von Daten wird aufgrund der geringen Größe der Displays erschwert. Weiterhin ist die Kapazität des Netzes zur Übermittlung der Informationen im mobilen Sektor im Vergleich zu den Kapazitäten im stationären Bereich (z.B. DSL) eher gering. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass im Falle einer Katastrophe diese bereits geringe Datenrate und oftmals fehlerhafte Stabilität der Verbindung eingeschränkt wird. Diese Unterschiede machen sichtbar, dass eine einheitliche Karte für unterschiedliche Nutzergruppen keinen Sinn macht.

Stattdessen ist eine Personalisierung, d.h. das Anpassen der Darstellung an den jeweiligen Nutzer und dessen technische Mittel erforderlich.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, ein System zur Visualisierung von in einer Datenbank vorliegenden Daten mit räumlichen Bezug (sog. Geodaten) zu entwickeln. Der Schwerpunkt hierbei liegt in der Optimierung der Darstellung durch Anwendung kartographischer Gestaltungsmittel. Diese sogenannte Kartengraphik hat das Ziel, die hohe Anzahl an vorliegenden Daten in ihrer Komplexität zu reduzieren. Somit können durch diesen Prozess die für den Nutzer uninteressanten Informationen herausgefiltert werden. Gleichzeitig sollen die dargestellten Informationen so visualisiert werden, dass sie an die Aufgaben des Nutzers angepasst sind, er somit die für ihn relevanten Informationen in kürzester Zeit aus der Karte ableiten kann.

Weiterhin ist bei der Erstellung der Karte die Kapazität des Endgeräts, auf dem die Daten betrachtet werden, zu berücksichtigen. Die Daten sollen so aufgearbeitet werden, dass sie auf unterschiedlichen Geräten mit unterschiedlichen Hard- und Softwarekonfigurationen optimal dargestellt werden können. Da es bereits heute eine große Anzahl von Sprachen und Systemen zur Beschreibung und Darstellung von geographische Informationen gibt und in Zukunft mit einer rapiden Zunahme der Leistungsfähigkeit der Endgeräte zu rechnen ist, ist eine Struktur zu implementieren, die diese Entwicklung berücksichtigt. Aus diesem Grund soll die Übertragung und Darstellung der Daten unabhängig von der Datengrundlage und den kartographischen Funktionen erfolgen. Ziel hierbei ist die Austauschbarkeit und Erweiterbarkeit der Darstellungskomponente.

## 1.3 Grundlagen geographischer Informationssysteme

Elektronische Landkarten sind heutzutage jedem vertraut. Längst werden Routenplanungsprogramme oder Navigationssysteme in hohem Maße genutzt, Mobilfunknetzbetreiber simulieren die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zur Funknetzplanung, geographische Daten werden zur Straßenplanung und zum Verkehrsmanagement eingesetzt, im Bereich Notfall- und Katastrophenmanagement werden sie zur Berechnung von Wasserständen oder der Ausbreitung von Schadstoffen genutzt [18].

Ein System, welches Daten verarbeitet und diese so darstellt, „dass der Mensch daraus Informationen gewinnen kann“ [21], wird als Informationssystem bezeichnet. Ein Informationssystem, in dem Daten mit räumlichen Bezug gespeichert, bearbeitet und ausgegeben werden, wird als Geographisches Informationssystem (GIS) bezeichnet. Analog zum Informationssystem gliedert sich ein GIS nach traditioneller Definition in folgende Komponenten:

- Erfassung (Input),
- Verwaltung (Management), Datenmodellierung, Datenstrukturierung, Datenspeicherung,
- Analyse (Analysis),
- Präsentation (Presentation).

Im Unterschied zu verwandten Systemen wie CAD, Bildverarbeitungs- oder Kartographieprogrammen (sog. Desktop Mapping) werden in einem GIS nicht nur graphische Elemente bearbeitet und visualisiert. Die vorhandenen graphischen Daten werden in einem GIS zusätzlich mit Sachdaten verknüpft. Diese Verknüpfung ermöglicht die gemeinsame Bearbeitung und Analyse zusammengehöriger Daten. Dies ermöglicht die Generierung neuer Information [18].

Systeme zur Fernerkundung und anschließender thematischer Bildverarbeitung sind laut obiger Definition nicht Teil eines GIS, da sie nicht sämtliche

vier Komponenten beinhalten. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass zukünftige Entwicklungen wie automatische Mustererkennung oder Systeme zur wissenbasierten Generalisierung deren Leistung und somit deren Bedeutung beträchtlich steigern wird. Zur Berücksichtigung dieses Sachverhalts fordert Artimo eine neue Definition des Begriffs GIS. Laut dieser Definition wird ein GIS als ein Computerbasiertes System (CBS) bezeichnet, welches geographische Daten verarbeitet [19].

Unter einem computerbasierten System versteht man eine Anordnung von Elementen, die so organisiert sind, dass sie eine Aufgabe durch die Verarbeitung von Informationen („method, procedure or control“) bewältigen [20]. Eine fest definierte Einteilung in vier Kategorien erfolgt hier im Unterschied zum Informationssystem nicht mehr. Somit wird der Begriff des GIS auf Anwendungen ausgedehnt, die nur in einigen der vier Komponenten tätig sind.

Sowohl die traditionelle Vierkomponenten-Darstellung eines GIS als auch die erweiterte Definition haben gemeinsam, dass ein GIS ein System zur Bearbeitung geographischer Daten darstellt. Unter diesen versteht man Beschreibungen von Objekten der realen Welt. Die Beschreibungen umfassen die Position des Objekts, seine Eigenschaften und seine räumliche Beziehung zu anderen Objekten seiner Umgebung.

Die zunehmende Leistungsfähigkeit von Rechnern in den letzten Jahren ermöglicht es, nicht nur zweidimensionale Daten zu bearbeiten und darzustellen, sondern auch dreidimensionale Daten zu erfassen, zu bearbeiten und zu visualisieren. Diese Entwicklung beschränkt sich nicht nur auf den Bereich stationärer Rechner, auch bei mobilen Endgeräten wie PDAs oder Mobiltelefonen ist die Darstellung dreidimensionaler Daten heutzutage möglich. Diese Geographischen Informationssysteme finden in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten ihren Einsatz. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Visualisierungskomponente eines GIS entwickelt, welches zur Unterstützung von Entscheidungen im Katastrophenmanagement dient. Der nachfolgende Abschnitt erläutert den Begriff des Katastrophenmanagements und zeigt anschließend auf, wie dort GIS sinnvoll als Unterstützung im Entscheidungsprozess eingesetzt werden können.



Abbildung 1.1: Visualisierung von 3D-Daten auf einem PDA

## 1.4 Einsatz von GIS im Katastrophenmanagement

Unter dem Begriff Katastrophe versteht man nach [4] eine „schwerwiegende Veränderung der Verhältnisse.“ Diese Veränderung kann „von einem persönlichen Notfall bis zu einer großflächigen Zerstörung von Leben, Infrastruktur und Hilfsmöglichkeiten eines ganzen geographischen Gebietes reichen.“ Die Ursachen dieser Katastrophen sind unterschiedlich. Man unterscheidet zwischen Katastrophen natürlichen Ursprungs (sog. Naturkatastrophen) und Katastrophen menschlichen bzw. technischen Ursprungs. Die Mehrzahl der Naturkatastrophen sind wie beispielsweise Überschwemmungen, Erdbeben und Stürme meteorologischen oder geologischen Ursprungs [5]. Aber auch Seuchen und Epidemien treten regelmäßig auf.

Als anthropogen bezeichnet man Ursachen einer Katastrophe menschlichen Ursprungs. Das deutsche Notfallvorsorge-Informationssystem [6] unterteilt

menschliche bzw. technische Katastrophen in folgende Kategorien: „Chemieunfall, Gefahrgutunfall, Eisenbahnunglück, Satellitenabsturz, Waffeneinwirkung und Terroranschläge, Großbrand, Reaktorunfall, Ölunfall, Havarie, Flugzeugunglück, Zerstörung der Infrastruktur, Explosionen“.

Der Umgang mit solchen Situationen und die Minimierung der Schäden ist das Arbeitsgebiet des Katastrophenmanagements. Entsprechend der US Federal Emergency Management Agency FEMA [7] gliedert sich dieses in die vier folgenden Phasen:

- Mitigation,
- Preparedness,
- Response,
- Recovery.

In der „Mitigation-Phase“ werden Aktionen behandelt, die die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Katastrophe reduzieren. Weiterhin werden Vorkehrungen getroffen, um die Auswirkungen einer bereits eingetretenen Katastrophe zu minimieren.

Da trotz aller Vorkehrungen nicht jegliche Gefahr vermieden werden kann, dient die „Preparedness-Phase“ dazu, Vorkehrungen zum Verhalten beim Eintritt einer nicht vermeidbaren Katastrophe zu treffen. In dieser Phase liegt die Aufgabe darin, vor verbleibenden Gefahren zu schützen. Dazu gehört die Ausbildung von Rettungskräften als auch die Unterrichtung von Privatpersonen zum Verhalten im Notfall.

Die „Response-Phase“ bezeichnet die Phase unmittelbar nach einer Katastrophe. Zu den Tätigkeiten in dieser Phase gehört die Anwendung von Notfallplänen sowie die Arbeit der Rettungskräfte. Die Länge dieser Phase und die Effektivität der Arbeiten hängt von der Qualität der Arbeit in der vorherigen Phase ab.

Die „Recovery-Phase“ bezeichnet die Zeit, in der die durch eine Katastrophe verursachten Schäden durch Wiedererrichtung der Infrastruktur beseitigt werden. Hierbei werden Erfahrungen, die in den vorherigen Phasen gemacht wurden, berücksichtigt, um das Wiederauftreten einer ähnliche Katastrophe



zu verhindern.

Die jeweiligen Stufen sind somit nicht unabhängig voneinander, sondern bil-

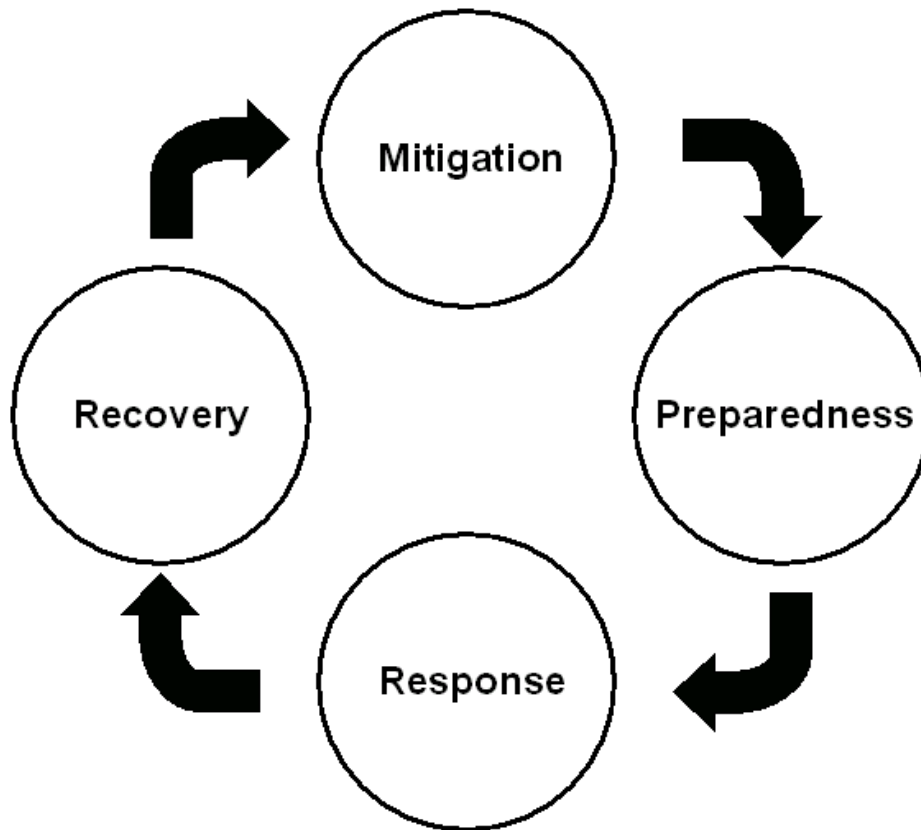


Abbildung 1.2: Zyklus des Katastrophenmanagements

den einen Zyklus. Jede Stufe dient zur Vorbereitung der nachfolgenden. Das bedeutet, dass die Erfahrungen, die man im Umgang mit einer eingetretenen Katastrophe sammeln konnte, als zusätzliche Informationen und somit als Unterstützung zur Abwehr und zur besseren Meisterung einer neuen Katastrophe zur Verfügung stehen.

In jeder der vier Phasen sind die am Katastrophenmanagement beteiligten Personen auf Informationen angewiesen. Zur Unterstützung von Entscheidungen stellen die Informationstechnologien ein wertvolles Hilfsmittel dar. Wesentliche Beiträge dazu leisten „insbesondere die Bereiche der Simulation und der Geoinformationsverarbeitung“ [8], also Geographische Informationssysteme. Wie [9] zeigt, finden diese GIS in sämtlichen Phasen des Katastro-

phenmanagements Einsatz.

- In den vorbereitenden Phasen dienen sie zur Raumplanung und zur Erstellung von Risikokarten, sie finden Einsatz in Planspielen und Frühwarnsystemen und bei der Simulation von Vorbeugungsmaßnahmen.
- Nach Eintritt einer Katastrophe unterstützen sie die Einsatzleitung, indem sie beispielsweise Ausbreitungsmodelle visualisieren. Einsatzkräfte vor Ort können mit mobilen Geräten auf aktuelle raumbezogene Informationen zugreifen.
- In der Wiederaufbauphase unterstützen sie bei der Abschätzung des Schadens und werden zur Simulation der aufgetretenen Katastrophe verwendet.

Die große Anzahl an Einsatzgebieten von GIS im Katastrophenmanagement bedingt eine Anpassung des Systems an die unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Nutzergruppen.

Im folgenden wird ein in dieser Arbeit entwickeltes System vorgestellt, welches die Visualisierungskomponente eines GIS an diese unterschiedlichen Nutzer und deren Anforderungen anpasst.

Kapitel 2 bietet einen Überblick über die dazu eingesetzten Technologien.

Kapitel 3 beschreibt die Notwendigkeit kartographischer Abstraktion zur Erzeugung einer nutzeroptimierten Karte. Es wird aufgezeigt, welche Auswirkung die einzelnen Nutzerparameter auf die Erzeugung der Karte haben und wie diese einzelne Generalisierungsmethoden bedingen.

Kapitel 4 zeigt die praktische Umsetzung der in Kapitel 3 behandelten Prinzipien. Dies geschieht anhand einer entwickelten Visualisierungsplattform. Diese verwendet die kartographischen Gestaltungsmittel zur Generierung einer für den Nutzer optimierten Karte.

# Kapitel 2

## Verwendete Technologien

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit verwendeten Programmier-techniken vorgestellt. Der erste Abschnitt liefert einen Überblick über die Programmiersprache Java im Allgemeinen, die weiteren Abschnitte beschreiben spezielle Klassenbibliotheken, die für die Visualisierung der Daten und der Darstellung sowohl auf stationären PCs als auch auf aktuellen mobilen Endgeräten verwendet wurden.

### 2.1 Java

Bei Java handelt es sich um eine objektorientierte und plattformunabhängige von Sun Microsystems [12] entwickelte Programmiersprache. Syntaktisch orientiert sich Java an den Sprachen C und C++. Im Gegensatz zu diesen kommt Java jedoch mit einem geringeren Sprachumfang aus. Die Fehleranfälligkeit wird somit reduziert. Der geringe Sprachumfang schränkt Java jedoch nicht auf die Programmierung kleiner Applikationen ein. Durch die direkte Implementierung einer hohen Anzahl an Klassenbibliotheken in die Programmiersprache ist Java zur Programmierung komplexer Programme und großer Projekte geeignet. So ist die Möglichkeit zur Erstellung graphischer Oberflächen Teil des Standardumfangs der Sprache. Das Abstract Windowing Toolkit (AWT) bietet einfache Funktionen zur Erstellung graphischer Oberflächen. Für Oberflächen mit höherer Funktionalität wurde das Swing Toolset in Java implementiert. Zur Bildbearbeitung und Realisierung von Grafikoperationen dient die Java 2D API. Mit diesen drei Elementen ist die

Möglichkeit zur Erstellung von Graphischen Oberflächen (GUIs) bereits im Kern von Java enthalten. Durch diese und weitere verfügbare Klassenbibliotheken (APIs) besitzt Java einen im Vergleich zu C oder C++ erhöhten Umfang.

Eines der Hauptmerkmale von Java ist seine dem „Write once, run anywhere“ [12] Paradigma folgende Portierbarkeit. Das Ziel ist, ein einmal geschriebenes Programm ohne Anpassung des Quellcodes an die jeweilige Rechnerarchitektur auf unterschiedlichsten Systemen auszuführen. Im Unterschied zu herkömmlichen Programmiersprachen, bei denen bei der Übersetzung des Quellcodes ein plattformabhängiger Binärcode generiert wird, werden Java-Programme in sogenannten Bytecode übersetzt. Dieser Bytecode wird beim Ausführen des Programms von der Java Laufzeitumgebung, der sogenannten Java Virtual Machine für das darunterliegende System interpretiert. Diese Laufzeitumgebung ist systemabhängig und dient als Verbindung zwischen dem systemunabhängigen Bytecode und dem System. Jedes System, auf dem eine virtuelle Maschine installiert ist, ist somit in der Lage, den Bytecode auszuführen.

Hierin liegt der Grund für den Einsatz von Java für diese Arbeit. Die Sprache ermöglicht es, ohne großen Aufwand zwischen verschiedenen Rechnerarchitekturen zu kommunizieren und Programmteile zwischen diesen auszutauschen. Die Visualisierungskomponente des GIS wird als ein auf einem Webserver laufendes Programm, ein sogenanntes Servlet, realisiert. Dieses kommuniziert über die JDBC (Java Database Connectivity)-API mit der Datenbank, welche die Rauminformationen der darzustellenden Objekte enthält, und greift auf Informationen in dieser zu. Diese Informationen werden in Java-Objekte umgewandelt und als Datenstrom über das Internet übermittelt. Durch die Plattformunabhängigkeit von Java können diese Objekte anschließend sowohl an herkömmlichen PCs innerhalb eines *Applets*, also einem über das Internet übertragenen Programm, als auch an mobilen Geräten angezeigt und bearbeitet werden.

## 2.2 Java 3D

Bei Java 3D handelt es sich um eine von Sun Microsystems entwickelte Klassenbibliothek (API) zur Erstellung von interaktiven dreidimensionalen Szenen. Java 3D ermöglicht es dem Programmierer, komplexe Szenen auf einer hohen Abstraktionsebene zu erstellen. Im Vergleich zur Grafikroutinenbibliothek OpenGL [16], die zur Beschreibung dreidimensionaler Szenen Listen mit Punkten, Linien und Dreiecken verwendet, verwaltet Java 3D komplexe Szenen hierarchisch durch die Struktur des Szenengraphen. Dieser beinhaltet sämtliche Objekte der virtuellen Szene und definiert deren Position, Orientierung und Aussehen. Weitere Objekte im Szenengraphen sind Lichter und Klänge sowie Objekte, die zur Animation der Szene und der Interaktion mit dem Benutzer dienen. Beim Szenengraphen handelt es sich um eine Baumstruktur bestehend aus Knoten und Kanten, formal ausgedrückt ein gerichteter azyklischer Graph. Azyklisch bedeutet, dass die Knoten des Baumes keine Zyklen bilden dürfen, d.h. dass jedem Kindknoten genau ein Elternknoten zugeordnet ist. Die Objektbeziehung zwischen einzelnen Objekten erfolgt durch zwei Arten von Kanten, der Vater-Kind-Beziehung und der Referenzbeziehung. Durch die Vater-Kind-Beziehung werden einzelne Knoten miteinander verbunden. Die Referenzbeziehung wird dazu genutzt, Referenzen zwischen Knoten und Knotenkomponenten (NodeComponent) zu erstellen. Diese Knotenkomponenten beinhalten Informationen, die von mehreren Knoten über die aufgebauten Referenzen genutzt werden können. Dies ist kein Widerspruch zur Definition des Szenengraphen als azyklischen Graphen, da Knotenkomponenten und die Referenzbeziehungen nicht Teil der Baumstruktur des Szenengraphen sind. Die Abbildungen<sup>1</sup> 2.1 und 2.2 zeigen die einzelnen Elemente und den grundlegenden Aufbau eines Java 3D Szenengraphen.

Referenziert wird der komplette Szenengraphen durch das `VirtualUniverse`. Dieses enthält somit sämtliche Objekte der Szene. Die Wurzel des Szenengraphen bildet ein `Locale`-Objekt. An diesem hängen im Regelfall zwei Teilgraphen, der `view branch graph` und der `content branch graph`. Der `view branch graph` beschreibt den virtuellen Beobachter der Szene (die sogenannte *virtuelle Kamera*) und beinhaltet Angaben über dessen Position und Blick-

---

<sup>1</sup>Die Symbolik der Grafiken in diesem Abschnitt ist mit der von SUN identisch.

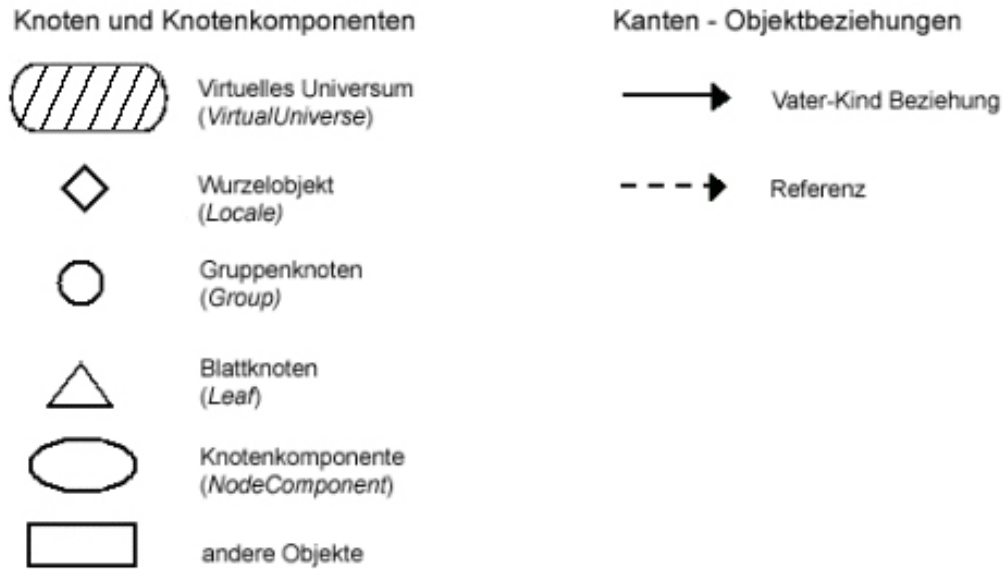


Abbildung 2.1: Symbole der Objekttypen eines Szenengraphen

richtung, Sichtweite, Blicköffnungswinkel, zu verwendende Projektion und Art des Endgeräts. So ist eine Visualisierung der Szene sowohl an herkömmlichen zweidimensionalen Monitoren als auch an dreidimensionalen Displays möglich.

Der `content branch graph` beinhaltet den geometrischen Teil der Szene, d.h. sämtliche Geometrien sowie sie beeinflussende Objekte wie beispielsweise Lichtquellen.

Während der `view branch graph` in seiner Struktur zu großen Teilen festgelegt ist, ist die Struktur des `content branch graph` abhängig von den in der Szene enthaltenen Geometrien. Er besteht aus ein oder mehreren Teilgraphen. Jeder Teilgraph hat als Wurzel einen Gruppenknoten vom Typ `Group`. Dieser dient zur Strukturierung des Szenengraphen. Jeder Teilgraph repräsentiert ein graphisches Objekt der Szene. Die Teilgraphen selbst können wieder aus einzelnen Teilgraphen bestehen, diese repräsentieren dann Teilelemente des gesamten graphischen Objekts.

Gruppenknoten dienen nicht nur zur logischen Strukturierung des Szenengraphen, sondern zur Kapselung von Informationen. Der von Group abgeleitete Transformationsknoten `TransformGroup` beinhaltet eine 4x4 Transformationsmatrix. Die dort beschriebene Transformation wird auf alle Kindknoten dieses Transformationsknotens angewendet. Sämtliche darunterliegenden Transformationen werden zusätzlich ausgeführt. Dadurch, dass ein Kindknoten immer nur mit einem einzigen Elternknoten verbunden sein kann, existiert ein eindeutiger Pfad zwischen dem Wurzelknoten der Szene und jedem einzelnen Blatt. Dadurch kann jedem Blattknoten eine eindeutige Position im Raum zugewiesen werden.

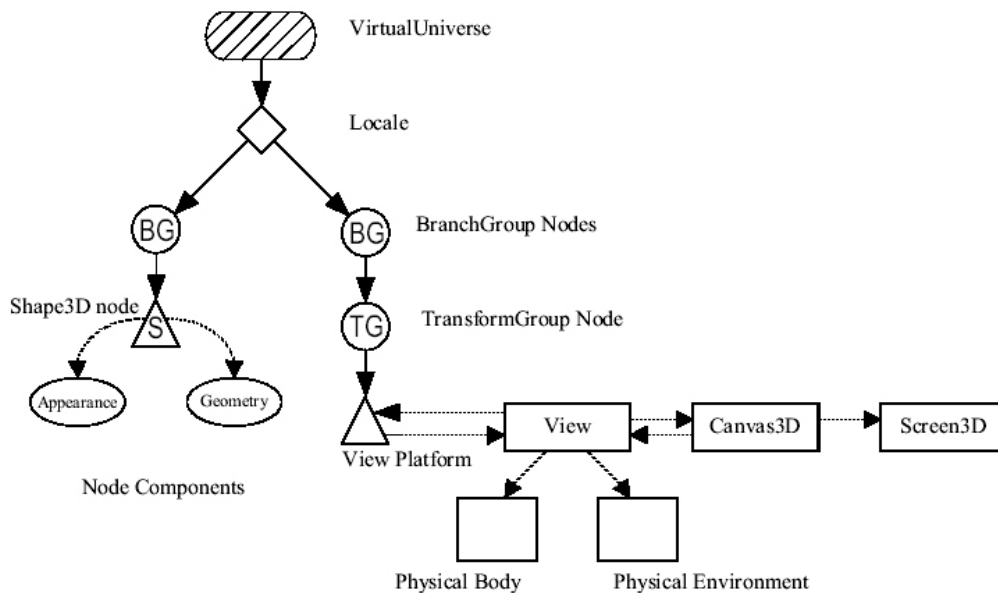


Abbildung 2.2: Struktur eines einfachen Szenengraphen

Während der logische Aufbau einer Szene, die Integration in ein Java-Programm und die Interaktion des Nutzers mit der Szene auf reinem Java basieren, greift Java 3D zum Rendern auf native Methoden zum Ansprechen der Grafikhardware zu. Derzeit werden zwei Grafikbibliotheken unterstützt:

- OpenGL,
- DirectX.

Der Vorteil in dieser Trennung liegt darin, dass der größte Teil eines Programms, nämlich die Struktur des Szenengraphen in einer einfachen und portablen Sprache geschrieben ist. Teile des Szenengraphen können somit leicht erstellt wiederverwendet werden. Für den Teil des Renderings wird auf native und somit schnelle Methoden zurückgegriffen.

## 2.3 Java 2 Platform, Micro Edition

Bei der Java 2 Platform, Micro Edition (J2ME) handelt es sich um eine Reihe von Standard Java-APIs, die an Geräte mit eingeschränkter Performanz angepasst sind. J2ME ist an die typischen Eigenschaften dieser Geräte wie die Prozessorgeschwindigkeit, den geringen Speicherplatz und die Ein- und Ausgabefähigkeiten angepasst. So stehen im Vergleich zu Standardrechnern bei einem Mobiltelefon nur eine Bildschirmgröße von wenigen Zentimetern zur Verfügung und die Eingabemöglichkeiten beschränken sich im Regelfall auf die Zifferntasten plus einige geräteabhängige Tasten. Für die optima-

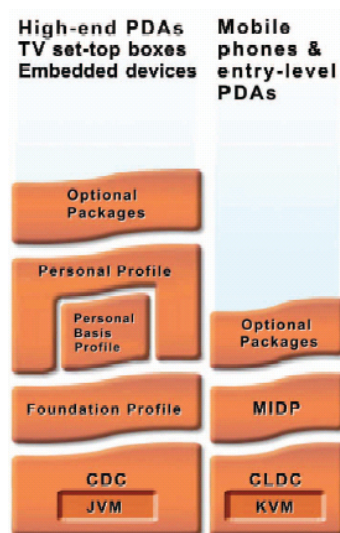


Abbildung 2.3: Schematischer Aufbau von J2ME (Quelle: [12])

le Anpassung an unterschiedliche Gerätetypen ist J2ME in Konfigurationen (configurations), Profile (profiles) und Optionale Pakete (optional packages)



aufgeteilt. Die Basisfunktionalität wird durch die Konfigurationen zur Verfügung gestellt. Sie beinhalten die Virtuelle Maschine und die grundlegenden Bibliotheken. Derzeit existieren zwei Typen von Konfigurationen. Die *Connected Device Configuration* (CDC) bildet die Grundlage für Programme auf leistungsfähigeren Geräte wie Set-Top-Boxen oder hochwertigen PDAs. Für Geräte mit langsameren Prozessor und kleinerem Speicher wie Mobiltelefonen wurde die *Connected Limited Device Configuration* (CLDC) entwickelt. Da der Speicher dieser Geräte meist nur im Kilobyte-Bereich liegt, verwendet das CLDC eine angepasste Virtuelle Maschine. Diese trägt den Namen KVM, wobei das K die Größenordnung des verwendeten Speichers angibt.

Eine weitere Anpassung an die Hardwarevoraussetzungen der Geräte findet in den Profilen statt. Diese stellen zusätzlich zu den Profilen weitere Klassen zur Verfügung. Für mobile Geräte wird das *Mobile Information Device Profile* (MIDP) zur Verfügung gestellt. Dieses bietet die von mobilen Geräten benötigte Funktionalität in Bezug auf Netzverbindung, Interaktion mit dem Nutzer, und dem Speichermanagement.

Bei auf der CDC basierenden Systemen findet eine Aufteilung der Profile statt. Unterschiedlichen Gerätetypen wird somit nur die benötigte Funktionalität zur Verfügung gestellt. Das Foundation Profile liefert die Grundlage, durch Hinzufügen von Klassen aus dem Personal Basis Profile und dem Personal Profile kann die Funktionalität schichtweise erhöht werden. Sowohl bei CDC als auch bei CLDC ist die Einbindung optionaler Pakete möglich. Diese eignen sich zur Einbindung weiterer Dienste. So haben Gerätehersteller die Möglichkeit, durch diese Module die spezifischen Funktionen ihres Geräts optimal auszunutzen.

## 2.4 Mobile 3D Graphics

Zur Erstellung interaktiver Arbeiten wird in dieser Arbeit die Mobile 3D Graphics API (M3G) verwendet. Bei dieser handelt es sich um ein optionales Paket für J2ME (siehe Kapitel 2.3). Dieses wurde von einer Expertengruppe bestehend aus führenden Mobiltelefonherstellern und Telekom-

munikationsunternehmen entwickelt. Es ist somit davon auszugehen, dass diese API in Zukunft auf modernen Mobiltelefonen verschiedener Hersteller zu einem Standard für die Darstellung dreidimensionaler Daten werden wird. Konzipiert wurde die API für Systeme basierend auf den Javabibliotheken CLDC und MIDP. Geräte mit dieser Konfiguration zeichnen sich durch langsame Prozessoren, beschränkten Speicher, fehlende Hardwareunterstützung für Fließkommazahlen und nicht vorhandene hardwarebasierter 3D-Beschleunigung aus. Um auf diesen Systemen lauffähig zu sein, liegt der Speicherbedarf einer M3G-Implementierung bei maximal 150 kB. Unterstützt werden zwei unterschiedliche Rendering-Modi, der *Retained-Mode* und der *Immediate-Mode*. Beim *Retained-Mode* werden sämtliche darzustellende Objekte in einem Szenengraphen strukturiert und verwaltet (siehe Kapitel 2.2). Der M3G-Szenengraph besteht aus Knoten (Node) und Komponenten (Component) (siehe Abb. 2.6)<sup>2</sup>. Analog zum Java 3D Szenengraphen darf ein Kindknoten nur einen Elternknoten besitzen. Zyklen sind ebenfalls nicht zulässig: Referenziert ein Objekt ein anderes Objekt, darf dieses (auch über andere Objekte) nicht das erste Objekt referenzieren (siehe Abb. 2.4). Die mehr-

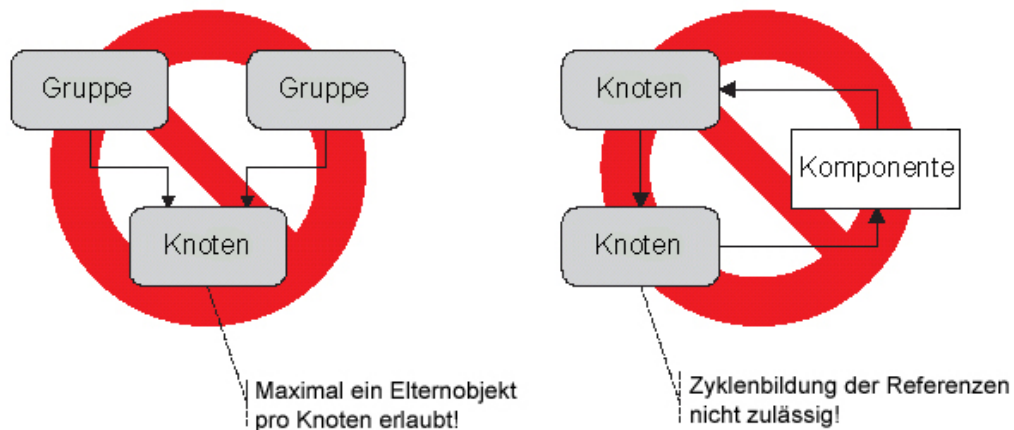


Abbildung 2.4: Ungültige Beziehungen zwischen Objekten eines M3G Szenengraphen

fache Referenzierung eines Objektes ist jedoch möglich, dies ermöglicht die Reduktion des benötigten Speicherplatzes durch die Mehrfachverwendung

<sup>2</sup>Die Symbolik innerhalb der Grafiken orientieren sich an den Symbolen der Mobile 3D Graphics Spezifikation[40]

von Informationen (siehe Abb 2.5). Die Information über die Farbe und die Materialeigenschaften eines Gebäudes muss somit nicht mehr für jedes einzelne Gebäude einzeln gespeichert werden. Für sämtliche Gebäude gleicher Materialeigenschaft wird eine Komponente, welche diese Materialeigenschaft kapselt, verwendet.

Der *Immediate Mode* dient dazu, dreidimensionale Objekte direkt zu zeich-

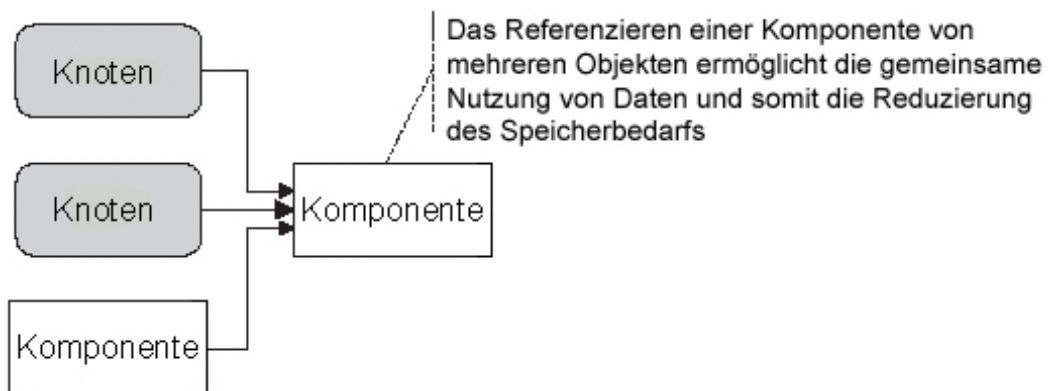


Abbildung 2.5: Mehrfache Referenzierung einer Komponente in M3G

nen. Eine Kombination beider Modi, der sogenannte *Mixed-Mode* ist ebenfalls möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wird der *Retained-Mode* verwendet, um die Struktur des Java 3D Szenengraphen übernehmen zu können und zusammengehörige Geometrien als solche zu verwalten.

Bei M3G findet eine strikte Trennung zwischen der reinen Zeichenebene und der Szenengraphenebene statt. Dies ermöglicht, die Zeichenebene an zukünftige Hardwareentwicklungen anzupassen und somit eine Beschleunigung des Zeichenvorgangs zu erzielen, während die Szenengraphenstruktur und somit auch für M3G verfasste Applikationen auf diese Zeichenebene ohne Änderungen aufgesetzt werden können. Weiterhin kann die Szenengraphenstruktur auch zur Strukturierung einer Szene auf Systemen genutzt werden, die nicht CLDC/MIDP basierend sind. In der vorliegenden Arbeit kann der M3G-Szenengraph somit auch ohne weitere Anpassungen für die Visualisierung der Daten auf schnellen PDAs verwendet werden.

Von M3G unterstützt wird der Import von Texturen, einzelnen Geometrien, kompletter Szenen und Animationen. Komplexe Simulationen können

somit an einem leistungsfähigen Rechner durchgeführt und in dreidimensionale Animationen umgewandelt werden. Diese Animationen werden dann vom mobilen Endgerät geladen und auf diesem visualisiert. Rechen- und speicherintensive Berechnungen können somit von der eigentlichen Visualisierung getrennt werden.

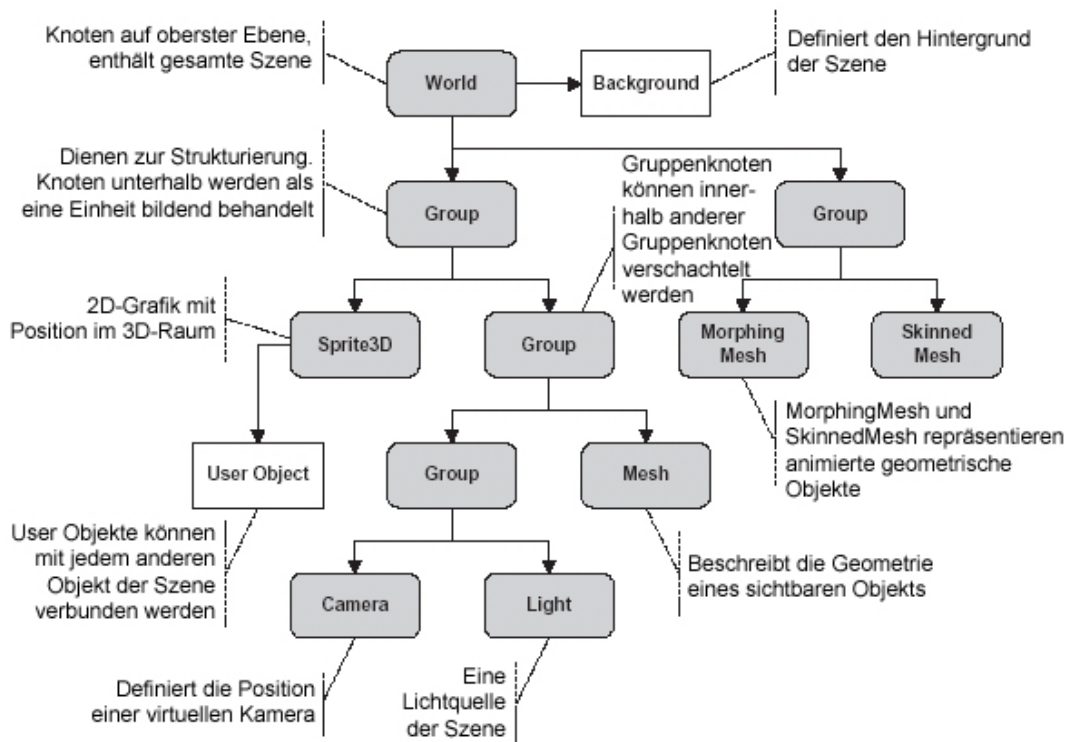


Abbildung 2.6: Struktur eines M3G-Szenengraphen

## 2.5 XML

Bei XML handelt es sich um eine vom World-Wide-Web-Konsortium W3C standardisierte Metasprache, welche zur Beschreibung von Daten eingesetzt wird. Im Unterschied zu einer bekannten Auszeichnungssprache wie HTML, welches eine festgelegte Anzahl von Tags verwendet, um das Aussehen einer Internetseite zu beschreiben, sind die Elemente von XML nicht vorgeschrieben. Stattdessen können XML-Elemente und deren Bedeutung selbst

definiert werden, XML ist somit frei erweiterbar. Weiterhin können die Inhalte eines XML-Dokuments beliebig tief verschachtelt werden, somit ist eine Beschreibung komplexer Hierarchien möglich. Durch diese Eigenschaften ist XML optimal zum Austausch jeglicher Art von komplexen Daten zwischen unterschiedlichen Programmen geeignet.

Ein XML-Dokument besteht logisch aus einer Baumstruktur von Elementen und Attributen. Die Wurzel dieser Baumstruktur bildet das Dokumentelement. Dieses enthält sämtliche anderen Elemente., die selbst wieder als Wurzel von Teilbäumen bestehend aus anderen Elementen fungieren können.

Jedes XML-Element beginnt mit einem Start-Tag, welches den Namen des Elements in spitzen Klammern beinhaltet und endet mit einem Ende-Tag, welches aus einem Schrägstrich(Slash) gefolgt vom Namen des Elements besteht. Innerhalb dieser beiden Tags befindet sich der Inhalt des Elements. Die Eigenschaften des Elements können darin durch weitere Elemente geschachtelt werden oder über sogenannte Attribute dargestellt werden. Abbildung 2.7 zeigt als Beispiel einen Ausschnitt aus dem XML-Dokument, welches zur Übertragung der Informationen über den Nutzer an den Kartographie-Server verwendet wird (Siehe Kapitel 4.6). In diesem werden die Eigenschaften des Elements `deviceParam` durch dessen Kindelemente `plugin`, `maxTriang` und `screenSize` definiert. Deren Eigenschaften werden über die ihnen eigenen Attribute `plugin`, `pref`, `value`, `x` und `y` beschrieben.

```
<deviceParam>
  <plugin name="Java3D" pref="1"/>
  <plugin name="Image" pref="0"/>
  <maxTriang value="5000"/>
  <screenSize x="1024" y="768"/>
</deviceParam>
```

Abbildung 2.7: Ausschnitt aus einem XML-Dokument

Die in diesem Beispiel vorgestellten Elemente und deren Attribute wurden für die in dieser Arbeit entwickelten Anwendung definiert und zur Über-

mittlung von Daten eingesetzt. Hieran liegt die eigentliche Stärke von XML, sämtliche Elemente können optimal an den vorliegenden Anwendungsfall angepasst frei definiert und verwendet werden. Innerhalb dieser Arbeit wird XML aus diesem Grund zum Austausch von Daten zwischen dem Client und dem Kartographie-Server verwendet.

# Kapitel 3

## Kartographische Darstellung und Gestaltungsmittel

In diesem Kapitel werden die angewandten kartographischen Gestaltungsmittel – die sogenannte Kartographik – vorgestellt. Behandelt werden dabei die Gestaltungsmittel der „klassischen“ Kartographie im zweidimensionalen Raum. Für komplexere Operationen, bei denen die Veränderung eines Objektes in der Karte Auswirkungen auf die umgebenden Objekte hat, werden Lösungsansätze präsentiert. Da die vorgestellten Gestaltungsmittel sowohl bei der Erstellung einer zweidimensionalen Karte als auch bei der in dieser Arbeit behandelten rechnergestützten Visualisierung dreidimensionaler Daten genutzt werden können, beschränkt sich die Vorstellung der Gestaltungsmittel auf den 2D-Raum. Im Falle der Unterscheidung zwischen der Anwendung der Gestaltungsmittel im zweidimensionalen und im dreidimensionalen Raum werden diese Unterschiede explizit hervorgehoben. Weiterhin wird auf die Besonderheiten einer dynamischen Karte, durch die sich der Betrachter frei bewegen kann und in der er nicht an eine Ansicht gebunden ist, eingegangen werden.

### 3.1 Allgemeine Grundsätze

Die Internationale Kartographische Vereinigung (IKV) definiert den Begriff der Karte wie folgt: Eine „maßstäbliche verkleinerte, generalisierte und erläuterte Grundrißdarstellung von Erscheinungen und Sachverhalten der Erde,

der anderen Weltkörper und des Weltraumes in einer Ebene“ [10]. Unter einer Karte versteht man also die Darstellung realer Objekte. Jedoch ist darunter kein photorealistisches Abbild zu verstehen. Eine Karte stellt Objekte der



Abbildung 3.1: Luftaufnahme der Darmstädter Innenstadt



Abbildung 3.2: Karte der Darmstädter Innenstadt

realen Welt verkleinert dar. Aufgrund der Komplexität und hohen Anzahl der Informationen in der realen Welt, würde eine unbearbeitete verkleinerte Darstellung den Betrachter eher verwirren [17], als ihm die gewünschten Informationen zu übermitteln. Um das zu erreichen, werden die realen Objekte bei Erstellung einer Karte abstrahiert. Gleichartige Objekte werden gleich dargestellt, ungleichartige ungleich. Wichtige, für den Nutzer relevan-



te Punkte werden in der Karte notiert, unwichtige Objekte kommen in der Karte nicht vor. Charakteristische Eigenschaften werden betont, zufällige Eigenschaften werden zurückgedrängt [11].

Um die reale Welt und die darin enthaltenen Objekte zu einer abstrahierten Karte umzuwandeln, sind folgende Arbeitsschritte erforderlich:

Auf Ebene der realen Welt werden die Merkmale der Objekte, die sogenannten Objektgesetzmäßigkeiten festgestellt. Man unterscheidet hierbei zwischen Angaben über den Raumbezug eines Objekts, Angaben über sein zeitliches Verhalten und Angaben über sein substantielles Merkmal.

Der Raumbezug eines Objekts informiert über die Lage eines Objekts und den damit verbundenen geometrischen Beziehungen dieses Objekts zu anderen Objekten seiner Umgebung. Informationen über den Raumbezug dienen somit als Antwort auf die Frage: „WO ist das Objekt?“

Angaben über das zeitliche Verhalten eines Objekts informieren über die temporären Eigenschaften eines Objekts. Sie dienen somit als Antwort auf die Frage: „WANN war das Objekt wo und wie?“

Das *substantielle Merkmal* eines Objekts beschreibt die Eigenschaften eines Objektes bezogen auf sich selbst. Es liefert Informationen über die internen Eigenschaften eines Objekts und beantwortet somit die Frage nach der Art des Objekts. Diese Frage wird stets in qualitativer Hinsicht beantwortet, d.h. das substantielle Merkmal eines Objekts dient immer als Antwort auf die Frage: „WAS ist an einer bestimmten Position?“ Angaben über das Objekt können aber auch Informationen über die quantitativen Eigenschaften einschließen. Diese Angaben dienen als Antwort auf die Frage: „WIEVIEL ist an einer bestimmten Position?“

Ebenso, wie sich ein reales Objekt durch die obigen Eigenschaften beschreiben lässt, lässt sich eine Karte durch diverse Merkmale beschreiben. Der Aufbau und das Aussehen einer kartographischen Darstellung wird von diesen Merkmalen beschrieben. Die Gesamtheit der Merkmale und die Gesetzmäßigkeiten ihrer Anwendung bewirken eine typische Darstellungsweise, die

sogenannte Kartengraphik. Diese Kartengraphik bildet ein Zeichensystem, wobei jedes Zeichen eine codierte Information darstellt. Für die Anordnung der Zeichen auf einer Karte existieren exakt definierte Randbedingungen. Um den Raumbezug eines Objekts bildlich darzustellen, ist eine möglichst exakte Positionierung der Zeichen erforderlich. Weiterhin ist für die Lesbarkeit der Karte eine Mindestdarstellungsgröße der Objekte erforderlich. Diese beträgt bei einer Entfernung des Nutzers von der Karte 0,3mm [17]. Kleinere Objekte sollten in einer Karte nicht dargestellt werden, da sie ansonsten nicht mehr einwandfrei erkennbar und sie somit zur Übermittlung von klaren Informationen nicht mehr geeignet wären. Um dieses zu erreichen, müssen Objekte in ihrer Darstellung bezüglich ihrer Detaillierungsgrades oftmals vereinfacht werden, da einige ihrer geometrischen Eigenschaften nicht mehr darstellbar sind. Die Vorgänge der geometrischen Vereinfachung werden im Kapitel 3.2 vorgestellt.

Ebenso wie die Größe eines Objekts bestimmen auch Parameter wie die verwendete Farbe und der Kontrast zu anderen Objekten die Möglichkeit der Wahrnehmung. Untersuchungen zur Auswirkung dieser Parameter auf die Lesbarkeit einer Karte findet man unter [17].

Neben den Punkten bilden Linien und Flächen die Grundlage einer Karte. Man bezeichnet diese als graphische Elemente. Erweitert man die Karte in den dreidimensionalen Raum, erhält man Körper als zusätzliche graphische Elemente. Durch Kombination dieser Elemente entstehen zusammengesetzte Zeichen, die sogenannten Superzeichen. Das wichtigste Superzeichen in der Kartographie ist die Signatur, ein Kartenzeichen, d.h. ein Symbol, welches anstatt des Objekts in die Karte eingezeichnet wird.

Werden die graphischen Elemente und zusammengesetzten Zeichen so angewendet, dass sie bestimmte grafische Strukturen bilden, spricht man von grafischen Gefügen. Diese bestimmen im Wesentlichen den Gesamteindruck einer Karte. Die verwendeten Zeichen können in Form, Größe, Farbe, Füllung, Tonwert oder Orientierung variiert werden, dadurch ergibt sich eine Erweiterung

der Darstellungsmöglichkeit des vorgestellten Systems. Diese Erweiterung ermöglicht es, den Informationsgehalt eines Zeichens zu steigern. So kann die Größe eines Zeichens Aussagen über die Relevanz des dargestellten Objekts geben, während die Farbe zur Verdeutlichung des substantiellen Merkmals eines Objekts verwendet werden kann. Bei dreidimensionalen Karten dient die Transparenzierung eines Objekts zusätzlich zur Informationscodierung. Für den Nutzer nicht relevante Gebäude können relevante Gebäude verdecken. Ein zu evakuierendes kleines Gebäude kann beispielsweise von einem mehrstöckigen großen Gebäude verdeckt werden. Um den Nutzer trotz dieser Verdeckung darüber zu informieren, dass sich hinter dem ihm angezeigten Gebäude ein für ihn relevantes Gebäude befindet, sind einige kartographische Funktionen denkbar. So können die für den Nutzer irrelevanten Gebäude weggelassen, d.h. nicht in die Karte eingezeichnet werden. Dies hat jedoch zur Folge, dass die Karte kein Abbild der Realität mehr darstellt. Eine wichtige Information für den Nutzer, nämlich, dass sich zwischen ihm und dem für ihn relevanten Gebäude ein Hindernis befindet, wird nicht dargestellt. Eine weitere Möglichkeit ist das relative Verkleinern der irrelevanten Gebäude. Auch hier tritt jedoch eine Verzerrung der Abbildung der realen Welt statt. Als dritte Möglichkeit dient die Transparenzierung der für den Nutzer nicht relevanten Objekte. Diese können somit in der Karte erhalten bleiben, der Nutzer bekommt also ein realitätsgetreues Abbild der Welt. Die für ihn relevante Information ist für ihn aber weiterhin ersichtlich, da er in der Karte durch das Hindernis hindurchsehen kann.

Neben den oben angegebenen Mindestgrößen eines Objekts sind die Zeichen so zu wählen, dass sie eine semantische Funktion erfüllen. Die Aussage, die der Autor der Karte über ein reales Objekt übermitteln möchte, soll möglichst unverfälscht beim Benutzer ankommen. Hierbei müssen die Vorkenntnisse des Nutzers der Karte berücksichtigt werden. Ein Zeichen, welches bei einer Bevölkerungsgruppe eine bestimmte, allgemein verstandene Bedeutung hat, kann bei einer anderen Gruppe falsche oder gar keine Assoziationen erzielen. Ein Beispiel dafür ist das Rote Kreuz. Dieses Symbol wird in christlich geprägten Ländern allgemein als Zeichen einer Hilfsorganisation verstanden.

In islamisch geprägten Nationen wird dieses Zeichen jedoch nicht anzutreffen sein. Stattdessen wird dort der Rote Halbmond als Zeichen einer Hilfsorganisation verwendet. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass eine Karte

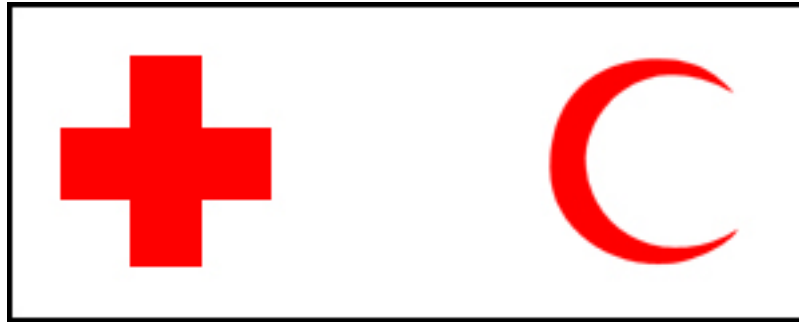


Abbildung 3.3: Unterschiedliche Symbole internationaler Hilfsorganisationen und die darin enthaltenen Zeichen nicht universell einsetzbar sind. Dies wird in dieser Arbeit durch die Austauschbarkeit der Grafiken, die für die Kartenzeichen verwendet werden, ermöglicht.

Durch Nutzung der vorgestellten Zeichen und ihren Variationen können nun Aussagen über Objektmerkmale vorgenommen werden. Objekte der realen Welt werden somit zu kartographischen Objekten. Punkte werden zur Angabe der Lage von Objekten verwendet, Linien ermöglichen es, diskrete Objekte voneinander zu trennen oder gleiche Werte in einem Kontinuum aufzuzeigen. Flächen und Körper dienen dazu, Aussagen über Qualitäten und Quantitäten flächenhafter Diskreta zu treffen.

Wie bereits erwähnt ist das wichtigste Zeichen in der Kartographie die Signatur. Diese trifft immer qualitative Aussagen über ein Objekt. Sehr oft dient sie als Information über den Raumbezug des Objekts. Eine Variation der Signatur in Form und Farbe ermöglicht es, über sie auch quantitative Informationen an den Nutzer der Karte zu übermitteln. Im Gegensatz zu zweidimensionalen Karten, bei denen der Betrachter immer an den vorgegebenen Blickwinkel gebunden ist, hat der Betrachter bei den im Rahmen dieser Arbeit generierten Karten die Möglichkeit, seine Position und seinen Blickwinkel innerhalb der Karte zu verändern. Damit der Nutzer die Karten-

zeichen bei jeder Position und Orientierung der virtuellen Kamera erkennen kann, wird das Kartenzeichen nicht statisch in der Karte eingezeichnet. Die Kartenzeichen werden als sogenannte „Billboards“ in die Karte integriert. Das bedeutet, dass sich die Symbole immer dem Nutzer zuwenden, er die Symbole also jederzeit erkennen kann, ohne die Position der virtuellen Kamera zu verändern.

In der traditionellen zweidimensionalen Kartographie werden Halbtöne als ein kartographisches Gestaltungsmittel eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Flächen, die keine gleichmäßige Färbung aufweisen. Stattdessen besitzen diese Flächen wechselnde Farbtonwerte. Diese Halbtöne werden dazu genutzt, als sogenannte Schummerung die Form eines Geländes darzustellen. Da in einer dreidimensionalen Karte die Form des Geländes bereits dreidimensional dargestellt wird, findet dieses Gestaltungsmittel in diesem Kontext keine Verwendung. Zur Darstellung qualitativer Merkmale wird dieses Mittel jedoch weiterhin angewendet.

Die höchste erläuternde Aussage einer Karte besitzt die Kartenschrift. Sie liefert dem Nutzer auf einen Blick für ihn relevante Informationen, die rein über die geometrische Darstellung nicht übermittelt werden können. Beispiele hierfür sind der Name oder die Verwendung eines Gebäudes oder die für eine Evakuierung notwendige Information über die sich darin befindliche Anzahl von Personen. Neben der rein textuellen Information, erlaubt es die Kartenschrift, durch Variation der Schrift in Form, Farbe und Größe, zusätzliche Aussagen über ein Objekt zu treffen.

Als weiteres kartographisches Gestaltungsmittel dienen Diagramme. Diese dienen zur Darstellung quantitativer Daten und werden im Regelfall zur Visualisierung einer Eigenschaft in Abhängigkeit der Zeit oder zur sachlichen Aufgliederung eines Merkmals verwendet. Das bei den Kartenzeichen verwendete „Billboard“-Verfahren wird ebenfalls bei den Diagrammen und bei der Kartenschrift eingesetzt, um dem Nutzer die Informationen „auf einen Blick“ zu liefern.

Bei den vorgestellten Gestaltungsmitteln handelt es sich um Verfahren, die bei der kartographischen Darstellung der realen Welt verwendet werden. Sie dienen also sozusagen als Werkzeuge zum Umwandeln eines realen Objekts in ein kartographisches Objekt. Wie zu Beginn dieses Abschnitts bereits erwähnt, handelt es sich bei einer Karte nicht um eine photorealistische Darstellung der realen Welt. Zur Bildung einer Karte muss eine Auswahl darüber getroffen werden, welche Objekte in welcher Form in der Karte dargestellt werden. Der methodische Prozess, der dazu notwendig ist, wird im nächsten Abschnitt behandelt.

## **3.2 Generalisierung**

### **3.2.1 Begriff der Generalisierung**

Der Versuch, sämtliche Objekte der realen Welt mit sämtlichen ihrer spezifischen Eigenschaften in einer Karte darzustellen, würde den Betrachter mit einer großen Menge an ungefilterten Informationen konfrontieren. Er bekäme nicht nur die gewünschten Daten, sondern auch eine Vielzahl an Informationen, die aufgrund ihrer Anzahl und Komplexität ihn eher verwirren würden, anstatt ihm in seinen Entscheidungen zu helfen. Feine Details realer Objekte wie kleine Vorsprünge einer Hausmauer oder Blätter eines Baumes sind aufgrund der Größenbegrenzungen (siehe Kapitel 3.1) graphischer Elemente der Kartengraphik nicht zu realisieren. In einer Karte großen Maßstabs dargestellte Objekte können in einer Karte kleineren Maßstabs eventuell nicht mehr ausreichend dargestellt werden. Weiterhin machen technische Gegebenheiten eine Reduktion der Daten erforderlich. Soll eine Karte an ein mobiles Endgerät übertragen und dort angezeigt werden, sind sowohl die relativ niedrige Bandbreite zur Übertragung der Daten als auch die geringe Rechenleistung und die aufgrund der geringen Bildschirmgröße eingeschränkte Darstellungsmöglichkeit auf dem Endgerät zu beachten. Der methodische Vorgang, der angewandt wird, um die oben genannten Punkte bei der Erstellung einer Karte zu berücksichtigen, wird in Anlehnung an den Begriff der kartographischen Generalisierung in dieser Arbeit als Generalisierung bezeichnet. Jede

Karte wird zur Optimierung bei ihrer Erstellung diesem Prozess unterzogen.

Für die Aussage der Karte unwichtige oder nicht darstellbare Details werden durch Vereinfachung der Geometrie reduziert oder fortgelassen. Wichtige, thematisch relevante Objekte werden betont. Gleichartige Objekte werden gleich dargestellt. Dies geschieht, indem charakteristische Eigenschaften einer Objektgruppe dargestellt werden, spezifische Eigenheiten eines einzelnen Objekts jedoch weggelassen werden. Abbildung 3.4 zeigt das Ergebnis dieses

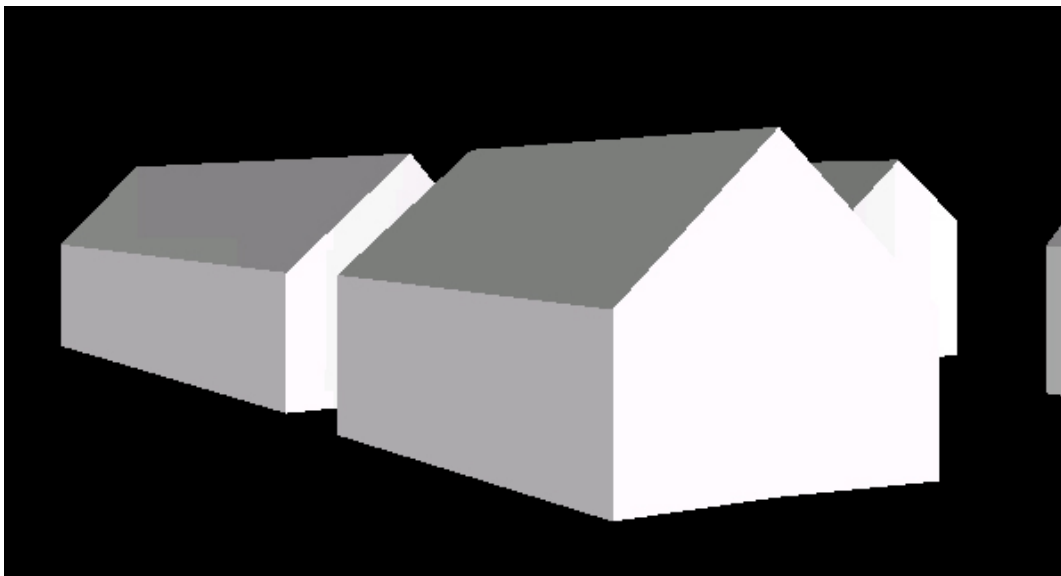


Abbildung 3.4: Generalisierte Wohnhäuser

Vorgangs. Man erkennt auf dem Bild mehrere einzelne Wohnhäuser. Diese werden jedoch nicht einzeln mit sämtlichen ihnen spezifischen Eigenschaften wie Farbe des Gebäudes, Farbe und exakte Form des Dachs, Anordnung der Fenster, Form der Haustür usw. dargestellt. Stattdessen wird durch den Prozess der Generalisierung aus einem konkreten Haus mit sämtlichen ihm und nur ihm eigenen Attributen ein abstraktes Haus, welches sich in der Darstellung auf typische Merkmale eines Hauses beschränkt. Aus der Karte ersichtlich werden die Größe des Hauses in Relation zu den Häusern seiner Umgebung und seine Form. Daraus kann der Betrachter der Karte auch ohne eine hohe Anzahl an Informationen schließen, dass es sich bei den dargestellten Gebäuden um Wohnhäuser und bei dem dargestellten Bild um einen

Kartenausschnitt einer Reihenhaussiedlung handelt.

Jede Generalisierung basiert laut [11] auf den in Abbildung 3.5 beschriebenen Generalisierungsvorgängen

- Vereinfachen,
- Vergrößern,
- Verdrängen,
- Zusammenfassen,
- Auswählen,
- Klassifizieren bzw. Typisieren,
- Bewerten.

Die sinnvolle Kombination dieser Prozesse ermöglicht die gewünschte Darstellung der Karte.

Einige der Vorgänge sind nicht unabhängig voneinander, sondern sind die Folge eines anderen. Bedingt dadurch werden einige der Generalisierungsvorgänge oftmals nicht separat betrachtet, sondern zusammengehörige Vorgänge werden begrifflich zu einem zusammengefasst (siehe [17], [24], [25]). Die elementaren Generalisierungsvorgänge werden davon jedoch nicht betroffen. Sie bilden weiterhin die Grundlage bei der Erstellung jeder Karte.

In der klassischen Kartographie war es die Aufgabe des Kartographen, die unterschiedlichen Vorgänge zu kombinieren, um daraus eine Karte zu erzeugen. Diese Generalisierung erfolgte im Regelfall intuitiv, war also von den Fähigkeiten des Kartographen abhängig. Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Arbeit eine Plattform entwickelt, welche es ermöglicht, durch Implementierung einzelner Methoden der automatischen Generalisierung eine Karte zu erzeugen. In diesen Prozess fließen unterschiedliche Parameter wie die Informationswünsche des Nutzers, die Hardwarebeschränkungen und die Abhängigkeiten der Generalisierungsvorgänge untereinander ein. Diese



weitestgehend voneinander unabhängigen Parameter und die daraus resultierenden elementaren Generalisierungsvorgänge werden im nächsten Abschnitt behandelt.

### **3.2.2 Externe Parameter und angewandte Generalisierungsvorgänge**

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, wie unterschiedliche Anforderungen an eine Karte bei deren Erstellung Konflikte herbeiführen und wie diese Konflikte durch Methoden der Generalisierung beseitigt werden. Bei den vorgestellten Methoden handelt es sich um theoretische Grundschritte, die für sämtliche kartographische Objekte verwendet werden können. Daher wird hier kein Unterschied zwischen Objekten zweidimensionaler oder dreidimensionaler Karten getroffen.

Bei der Erstellung der Karte und der Entscheidung, welche Objekte der realen Welt in welcher Darstellung in die Karte aufgenommen werden sollen, müssen unterschiedliche Parameter berücksichtigt werden. Diese Parameter sollen anhand der folgenden zwei theoretischen Nutzer eines Katastrophenmanagementsystems verdeutlicht werden:

Nutzer A ist eine Privatperson, die sich in der „Preparedness“-Phase als Entscheidungsgrundlage über den Abschluss einer Versicherung darüber informieren möchte, wie stark ihr Haus von einem Notfall betroffen wäre. Diesem Nutzer steht ein leistungsfähiger PC mit hardwarebasierter 3D-Unterstützung und einem Monitor mit hoher Bildschirmgröße und Bildauflösung zur Verfügung. Dieser Rechner ist über ein schnelles Netzwerk mit dem Internet verbunden. Diese Voraussetzungen ermöglichen es ihm, detaillierte, d.h. rechen- und speicherintensive Informationen problemlos übermittelt und dargestellt zu bekommen. Dadurch, dass der Nutzer keiner akuten Bedrohung ausgesetzt ist und keine schnellen Entscheidungen treffen muss, hat er zur Analyse dieser ihm präsentierten Informationen ein hohes Maß an Zeit zur Verfügung, kann also auch ein hohes Maß an Informationen verarbeiten und sämtliche ihm übermittelten Details sinnvoll nutzen.

Bei Nutzer B handelt es sich um eine Rettungskraft, die direkt nach einem Notfall vor Ort eingesetzt ist. Der Nutzer ist mit einem Smartphone aus-

gestattet. Dieses besitzt eine Bildschirmgröße von wenigen hundert Pixeln, einen Speicher im Kilobytebereich und keine Hardwarebeschleunigung für 3D-Daten. Aufgrund des Notfalls ist die Infrastruktur der Kommunikationsmittel eingeschränkt, dem Nutzer steht zur Übertragung der Daten nur eine instabile GSM-Verbindung mit geringer Bandbreite zur Verfügung. Er steht unter hohem Stress und muss schnelle Entscheidungen basierend auf den ihm zur Verfügung stehenden Informationen treffen. Aufgrund seiner Situation müssen die ihm präsentierten Informationen auf das Wesentliche beschränkt werden. Jede zusätzliche Information würde die technischen Mittel weiter an ihre Überlastungsgrenze führen, den Nutzer Zeit kosten und somit in seiner Arbeit behindern.

Anhand dieser zwei theoretischen Nutzer werden folgende Parameter sichtbar:

- Technische Parameter

Diese Parameter wie Rechenleistung, Netzanbindung, installierte Software usw. entscheiden darüber, was der Nutzer dargestellt bekommen **kann**.

- Nutzerspezifische Parameter

Diese Parameter wie die Art des Nutzers und die Informationen, die dieser aus der Karte erhalten möchte, entscheiden darüber, was er dargestellt bekommen **will**.

Beide Parametertypen besitzen gewisse Anforderungen an das Darstellungsbild der Karte. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen die dargestellten Objekte unterschiedlichen Generalisierungsvorgängen unterzogen werden. Tabelle 3.1 bietet eine Übersicht über die einzelnen Generalisierungsschritte und die Anforderungen, die zur Anwendung dieser Schritte führen.

Die einzelnen Generalisierungsschritte sind in der Tabelle nach logischer Zusammengehörigkeit und den Abhängigkeiten untereinander strukturiert. Der erste angewandte Generalisierungsschritt liegt in der Auswahl einzelner Objekte. Diese Auswahl ist an den Anforderungen des Nutzers an die Karte angepasst. Für die Visualisierung der Karte werden die Objekte ausgewählt,

Generalisierungsschritt	Nutzerspezifische Anforderungen	Technische Anforderungen
Auswählen	Darstellung relevanter Objekte  Erhöhung der Übersicht  Reduktion der Daten auf das Wesentliche	Reduktion der Systemlast
Bewerten	Bedeutungsabhängige Darstellung eines Objekts für den Nutzer	keine
Vereinfachen (Folge von Bewerten)	Vereinfachte Darstellung nicht wesentlicher Objekte	Reduktion der Systemlast  Berücksichtigung der Auflösung
Vergrößern (Folge von Bewerten)	Hervorhebung wesentlicher Objekte  Sofortige Erkennbarkeit für den Nutzer	Berücksichtigung der Mindestdarstellungsgröße eines Objekts
Verdrängen (Folge von Vergrößern)	realitätsgetreue Darstellung der realen Welt	realitätsgetreue Darstellung der realen Welt
Zusammenfassen	Reduktion der Daten auf das Wesentliche	Reduktion der Systemlast
Klassifizieren und Symbolisieren	Reduktion der Daten auf das Wesentliche  Selbsterklärende Karte	Reduktion der Systemlast

Tabelle 3.1: Bedingungen für die Anwendung von Generalisierungsschritten

die für die Informationswünsche des Nutzers notwendig sind. Nach der Auswahl der Objekte werden Entscheidungen darüber getroffen, wie die einzelnen Objekte dargestellt werden. Dazu findet eine Bewertung der einzelnen Objekte statt. Es wird zwischen relevanten und damit zu betonenden Objekten und weniger relevanten und somit weniger auffällig darzustellenden Objekten entschieden. Diese beiden Schritte finden aufgrund der Anforderungen des Nutzers statt, das heißt, es werden die Objekte dargestellt, die der Nutzer auf der Karte benötigt und sie werden so dargestellt, dass der Nutzer aus der Darstellung die für ihn relevanten Informationen in optimaler Form präsentiert bekommt. Diese beiden Schritte finden jetzt Anwendung in der Darstellung der einzelnen Objekte. Für den Nutzer wichtige Objekte und Informationen werden so dargestellt, dass sie dem Nutzer „ins Auge stechen“, andere Objekte, die dem Nutzer zwar dargestellt werden, die aber für ihn sekundär sind, werden unauffälliger dargestellt.

Dies kann durch verschiedene Variationen der Darstellung eines Objekts erfolgen. Ein rotes Gebäude inmitten einer Reihe grauer Gebäude ist sofort erkennbar, umgekehrt ist eine Reihe halb transparent dargestellter Gebäude unauffälliger als eine Reihe rot gefärbter Gebäude. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um einen Generalisierungsprozess, sondern um eine graphische Variation eines Kartenzeichens. Ein Objekt zu betonen bzw. es in den Hintergrund zu setzen, findet im Kontext der Generalisierung über eine Größenänderung der Geometrie statt.

Zusätzlich zu den Anforderungen des Nutzers an die Karte, werden die Generalisierungsvorgänge des Vergrößerns und des Verkleinerns durch technische Anforderungen bestimmt. Bei der traditionellen Kartographie muss die Größe der darzustellenden Objekte so gewählt werden, dass diese auf der Karte dargestellt werden können. Dies ist abhängig von der Größe der Karte als auch von der Feinheit des Drucks. Analog dazu muss bei der Visualisierung auf einem Rechner die Bildschirmgröße und die Anzahl der Pixel (Bildpunkte) berücksichtigt werden. Ein handelsüblicher PC-Monitor mit einer Bildhöhe von 20 Zoll und einer Auflösung von 1600 x 1200 Pixeln ermöglicht

eine weitaus detaillierte Darstellung eines Objekts als das Display eines Mobiltelefons mit einer Auflösung von wenigen hundert Pixeln. Somit sind feine Details eines Objekts oftmals nicht darstellbar. Diese müssen folglich nicht an das Gerät übertragen werden, es reicht also, ein vereinfachtes Modell zu verwenden. Zusätzlich zu der Darstellungsmöglichkeit müssen Eigenschaften des kompletten Systems, welches zur Visualisierung genutzt wird, berücksichtigt werden. Detaillierte dreidimensionale Modelle eines Gebäudes können mehrere Megabyte an Größe besitzen. Wie in Kapitel 2.3 erwähnt, liegt der Speicherbereich eines Mobiltelefons jedoch im Kilobyte-Bereich. Zusätzlich muss die Übertragungsgeschwindigkeit des zur Verfügung stehenden Netzes berücksichtigt werden. Wählt man als Beispiel für den mobilen Einsatz die Datenübertragungsrate des GSM-Standards, beträgt die Übertragungszeit einer nur 500kB großen Geometrie bereits mehrere Minuten. Anhand dieser Zahlen ist leicht ersichtlich, dass zur Darstellung der Karte die Komplexität der Objekte reduziert werden muss.

Die vergrößerte Darstellung eines Objekts kann ebenfalls systembedingte Ursachen haben. Objekte, die in einer Karte großen Maßstabs noch zu erkennen sind, werden bei zunehmenden Maßstab kleiner. Objekte, die auf einem PC-Monitor einige cm groß dargestellt werden und somit problemlos zu erkennen sind, verstoßen bei der Darstellung auf dem Display eines mobilen Geräts eventuell gegen die in Kapitel 3.1 behandelte Mindestgröße kartographischer Objekte. Sollen diese Objekte aufgrund ihrer Bedeutung für die Aussage der Karte weiterhin erhalten und sichtbar bleiben, müssen diese in ihrer Darstellung vergrößert werden. Ein Beispiel hierfür ist eine gebräuchliche zweidimensionale Autobahnkarte im Maßstab 1:600000. Geht man davon aus, dass eine 6-spurige Autobahn eine Breite von etwa 36 m besitzt, bedeutet dies bei maßstabsgetreuer Darstellung der Straße eine Strichbreite von unter 0,06mm, bei vierspurigen Autobahnen entsprechend weniger. Diese Strichbreite ist kaum dazu geeignet, um den Nutzer der Karte, im Regelfall einen KFZ-Fahrer, sinnvoll bei der Planung seiner Fahrtstrecke zu unterstützen. Die auf solchen Autobahnkarten verwendeten Liniensignaturen sind in der Regel über einen Millimeter breit. Dies entspräche einer realen Straßenbreite

von über 600 Metern. Hier wird deutlich, dass eine Vergrößerung eines Objekts auf der Karte die umliegenden Objekte beeinflusst. Diese können nicht mehr an der geometrisch korrekten Position eingezeichnet werden, es findet eine Verdrängung dieser Objekte statt. Der Generalisierungsvorgang der Verdrängung ist somit die Folge der vergrößerten Darstellung anderer Objekte der Karte.

Die bereits erläuterte Problematik bei der Übertragung und Darstellung komplexer Geometrien auf mobile Endgeräte bedingt aus technischer Sicht auch den Einsatz der ähnlichen Generalisierungsfunktionen „Zusammenfassen“ und „Klassifizieren und Symbolisieren“. Sowohl beim Klassifizieren als auch beim Zusammenfassen mehrerer Objekte wird die Anzahl der Geometrien und somit die Komplexität der Karte reduziert. Auch durch Verwendung eines einfachen Symbols anstatt einer Gebäudegeometrie findet eine Reduktion der Komplexität statt. Aus Sicht des Nutzers dienen diese Generalisierungsschritte dazu, die dargestellten Daten auf das Wesentliche zu reduzieren und den Informationsgehalt der Karte zu steigern. Ein Nutzer, der sich einen groben Überblick über die Bebauung eines Gebiets verschaffen möchte, benötigt nicht die explizite Darstellung jedes einzelnen Gebäudes, mehrere kleine Gebäude der realen Welt können zu einem großen Gebäude auf der Karte zusammengefasst werden. Die diesem Nutzer in Form einer Karte präsentierten Daten enthalten die für ihn wesentliche Information, nämlich die Information, an welchen Punkten das von ihm betrachtete Gebiet bebaut ist. Ersetzt man in dieser Karte Geometrien von Gebäuden, deren Bedeutung aufgrund ihrer Form nicht sofort erkennbar ist, durch selbsterklärende Symbole, wird deren Aussagekraft und somit ihre Interpretierbarkeit durch diesen Schritt der Generalisierung erhöht.

Bei den vorgestellten Verfahren handelt es sich um allgemeine Beschreibungen elementarer Generalisierungsvorgänge. Traditionell liegt die Aufgabe der Anwendung dieser Vorgänge beim Kartographen. Dieser entscheidet aufgrund seiner Erfahrung, wie er Objekte der Karte generalisiert [26] [27]. Der Einsatz von Computertechnik in der Kartographie macht es erforderlich, objektive,

d.h. mathematisch beschreibbare Verfahren zur automatischen Generalisierung einzusetzen. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Entwicklung in diesem Bereich und beschreibt die in dieser Arbeit angewandten Verfahren.

### **3.2.3 Ansätze automatischer Generalisierung**

Die automatische Generalisierung einer Karte stellt seit etwa zwei Jahrzehnten eine der größten Herausforderungen im Bereich der Kartographie dar [35]. Die Problematik hierbei liegt darin, für sämtliche Maßstäbe und für sämtliche möglichen Aussagen einer Karte eine optimale Darstellungsform der abgebildeten Objekte zu finden. Im Gegensatz zur „klassischen“, also manuellen Kartographie, bei der der Kartograph die Karte frei und nach subjektiven Gesichtspunkten gestalten kann, müssen bei der automatischen Generalisierung die anzuwendenden Schritte formal beschrieben werden.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten der letzten Jahrzehnte sind in diesem Bereich eine Vielzahl von Verfahren zur Lösung einzelner Problemfelder der Generalisierung entwickelt worden. Dabei liegt die Problematik darin, dass aufgrund der Vielzahl von Objekttypen der realen Welt und der damit verbundenen Vielzahl von charakteristischen Eigenschaften keine allgemein gültigen Generalisierungsverfahren eingesetzt werden können: Die Verdrängung, die von einer linienförmigen Signatur auf die umliegenden Objekte ausgeht, unterscheidet sich von der Verdrängung, die von flächenhaften Objekten innerhalb eines Stadtmodells auf die Objekte der Umgebung wirkt. Ähnliches gilt für die Vereinfachung von Geometrien: Sowohl bei Begrenzungslinien eines Gebäudes als auch bei einer Küstenlinie oder dem Verlauf eines Flusses handelt es sich innerhalb einer Karte um linienhafte Signaturen. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristik dieser Objekttypen kann kein einheitliches Verfahren zur Generalisierung eingesetzt werden [36]. Eine Vielzahl von entwickelten Algorithmen und deren spezifische Anwendungsgebiete findet sich in einem Forschungsbericht von Bader et al.[36].

Aufgrund der Tatsache, dass derzeit kein Algorithmus existiert, der es er-

möglich, eine für jeden Maßstab und jede Nutzeranfrage optimierte Karte durch Anwendung der Methoden der Generalisierung zu erzeugen, wurde in dieser Arbeit eine Plattform entwickelt, welche es ermöglicht, in Abhängigkeit der vorliegenden Daten und der erwünschten Aussage der Karte durch Anwendung der unterschiedlicher Generalisierungsverfahren eine nutzeroptimierte Karte zu generieren. Die technische Umsetzung der in diesem Kapitel beschriebenen theoretischen Anforderungen an eine solche Plattform bildet das Thema des folgenden Kapitels.



Elementarer Vorgang	Darstellung in der		
	Ausgangskarte	neuen Karte	
	Maßstab der Ausgangskarte		neuen Karte
Rein geometrische Generalisierung			
1 Vereinfachen			
2 Vergrößern (vor allem Verbreitern)			
3 Verdrängen (Folge von 2)			
Geometrisch-begriffliche Generalisierung			
4 Zusammen- fassen			
5 Auswählen (bzw. Fortlassen)			
6 Klassifizieren bzw. Typisieren (einschließlich Umwandeln in Signaturen)			
7 Bewerten (z. B. Betonen)			

Abbildung 3.5: Generalisierungsvorgänge

# Kapitel 4

## 3D Kartographie-Server

In diesem Kapitel wird die Realisierung der Visualisierungskomponente eines GIS besprochen. Es wird aufgezeigt, wie Kartographik und Methoden der Generalisierung genutzt werden, um Daten aus einer Geodatenbank entsprechend den Anforderungen des Nutzers optimal zu visualisieren. Zu Beginn des Kapitels wird die Struktur des Systems erläutert. Im weiteren Verlauf wird aufgezeigt, welche Bedingungen auf Datenbankebene erfüllt sein müssen, um dem System die für die Analyse und Darstellung von Geodaten notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen. Im Anschluss wird die Anwendung der kartographischen Gestaltungsmittel auf vorliegende Raumdaten aufgezeigt. Durch Umwandlung der „Rohdaten“ in der Geodatenbank in Kartenzeichen und Generalisierung dieser Zeichen wird aus den Geodaten eine Karte. Der abschließende Teil des Kapitels befasst sich mit der Konvertierung der Daten in unterschiedliche Ausgabeformate. Beispielhaft werden drei unterschiedliche Möglichkeiten zur Darstellung der Daten vorgestellt. Diese zeigen, wie durch die entwickelte Komponente die Darstellung von Geodaten für unterschiedliche Endgeräten optimiert wird.

### 4.1 Konzeption eines 3D Kartographie-Servers

Im Bereich der Visualisierung von Geodaten im Katastrophenmanagement treten verschiedene Herausforderungen auf. Diese haben ihre Ursache in der hohen Anzahl an zur Verfügung stehenden Systemen im Bereich der Datenquellen, der Vielzahl an Algorithmen zur kartographischen Abstraktion und

den unterschiedlichen Systemen, die zur Darstellung der Daten verwendet werden.

Besonders im mobilen Sektor findet eine Vielzahl von konkurrierenden Systemen zur Visualisierung ihren Einsatz. Wie [28], [29] und [30] zeigen, ist die Entwicklung auf diesem Markt schwer prognostizierbar. Lagen 2001 „PDAs voll im Trend“ befand sich der Markt 2002 „im Sturzflug“ während die Verkaufszahlen von Smartphones aufgrund steigender Leistungsfähigkeit dieser Geräte rapide zunahmen.

Eine ähnliche Problematik ist bei den zur Verfügung stehenden Daten zu beobachten. In dieser Arbeit wurde als Datenquelle eine Geodatenbank verwendet, in welcher die Geometrien der Gebäude der Stadt Darmstadt gespeichert sind. Zusätzlich sind jedoch weitere Datenquellen denkbar. So benötigen beispielsweise Einsatzkräfte in der Response-Phase aktuelle Informationen wie Angaben über Schäden oder die Anzahl eingeschlossener Personen in einem Gebäude. Diese Informationen können durch Einsatzkräfte vor Ort eingegeben, an eine Zentrale übermittelt und von dieser sämtlichen anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. In der Preparedness-Phase können Simulationen dazu genutzt werden, um Rettungskräfte auf ihren Einsatz vorzubereiten und die Öffentlichkeit über mögliche Auswirkungen einer Katastrophe zu informieren.

Um sowohl diese Vielzahl an Datenquellen als auch die Vielzahl möglicher Nutzer und der Systeme zur Darstellung zu berücksichtigen, wird die Visualisierung formal als dreischichtiges Modell betrachtet, bei dem die einzelnen Schichten über definierte Schnittstellen die benötigten Informationen austauschen, ansonsten aber unabhängig voneinander arbeiten (siehe Abbildung 4.1). Die unterste Schicht, die Datenhaltungsschicht, beinhaltet die darzustellenden Informationen. Diese können beispielsweise durch Nutzung eines Web Services, also einem verteilten System im Internet, aus unterschiedlichen Quellen zusammengeführt werden. In der Kompositionsschicht findet die Konvertierung dieser Daten in eine Karte statt. Aus für den Nutzer un-

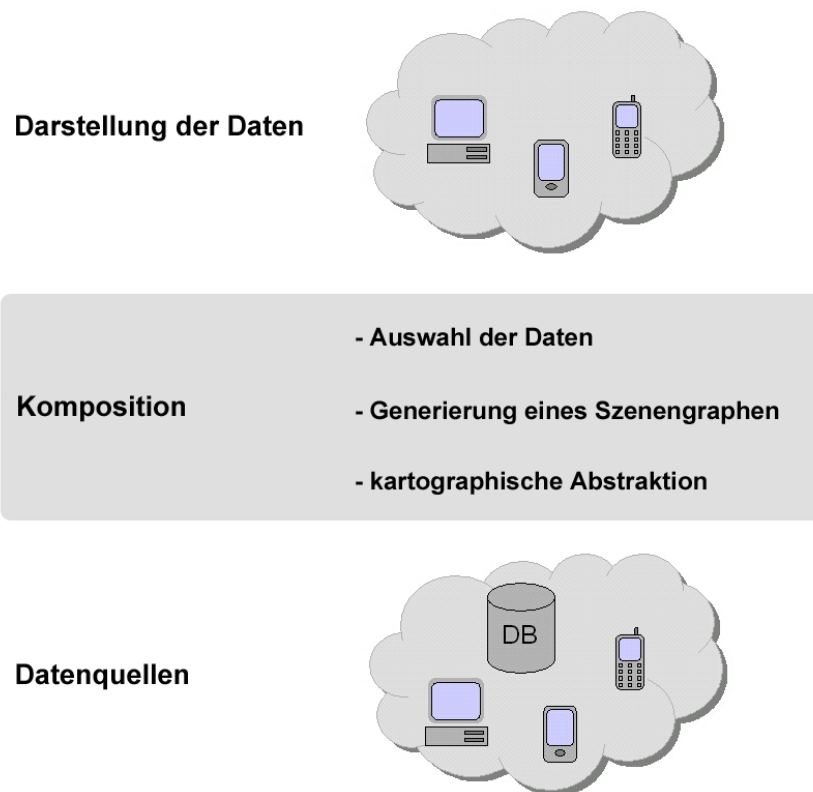


Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau der Visualisierungskomponente

übersichtlichen Zahlenwerten wird eine für ihn übersichtliche graphische Darstellung der Realität. Anhand der in Kapitel 3.2.2 vorgestellten technischen und nutzerspezifischen Anforderungen werden aus sämtlichen vorliegenden Daten diejenigen ausgewählt, die für die Aussage der Karte relevant sind. Um diese Daten für den Nutzer optimal darzustellen, wird aus ihnen durch Anwendung der Kartengraphik ein abstrahiertes Modell der Realität, eine dreidimensionale Karte.

Die Schnittstelle zwischen der Kompositionsschicht und der Darstellungsschicht bildet ein Webserver, auf den über das systemunabhängige Standard-Internetprotokoll HTTP zugegriffen werden kann.

Durch die Einteilung des Systems in drei unabhängige Schichten können ohne Änderung an der grundlegenden Struktur Änderungen und Erweiterungen

auf jeder Schicht vorgenommen werden, ohne die Gesamtfunktionalität zu beeinträchtigen.

## 4.2 Aufbau der Visualisierungsplattform

Die Zentrale Komponente der Kompositionsschicht bildet die Visualisierungsplattform. Diese erzeugt aus den in der Datenbank vorliegenden geometrischen Informationen Kartenobjekte und aus diesen Kartenobjekten durch kartographische Abstraktion eine Karte. Sämtliche geometrischen Operationen finden dabei auf Ebene eines Java 3D Szenengraphen statt, dieser dient zusätzlich zur Verwaltung und Analyse der Kartenobjekte.

Wie Kapitel 3 zeigt, existieren eine Vielzahl von möglichen graphischen Variationen der Kartenobjekte und auf sie anzuwendende Abstraktionsverfahren. Aufgrund dieser Vielzahl ist ein Automatismus zur komplett computerbasierten Erstellung von Karten bislang nicht realisiert worden. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch die Tatsache genutzt, dass einzelne Teilproblematiken der automatischen Generierung einer Karte bereits über existierende Verfahren gelöst werden. Diese Verfahren werden in der Visualisierungsplattform modular kombiniert. Das bedeutet, dass für unterschiedliche Anforderungen an eine Karte jeweils optimierte Verfahren angewendet werden können. Die Vorgehensweise wird an Abbildung 4.2 deutlich. Diese zeigt die öffentlichen Methoden der entwickelten Klasse `CartographyFunctions`.

Wie zu erkennen ist, erwartet die Klasse bei den nicht trivialen Operationen eine Vielzahl von Parametern bzw. bei den Generalisierungsvorgängen zur Klassifizierung und Betonung einzelner Objekte ein spezifisches Generalisierungsmodul. Anhand dieser Parameter werden die jeweiligen Operationen auf die als Argument übergebenen Subgraphen angewendet. Anders ausgedrückt stellt die Visualisierungsplattform die grundlegende Funktionalität zur Veränderung der Objekte im Szenengraphen zur Verfügung. Die Auswahl, welche kartographische Operation in welcher Form auf welche Objekte des Szenengraphen angewandt wird, erfolgt außerhalb der Visualisierungsplattform und wird dieser als Parameter der jeweiligen kartographischen Operation übergeben. Dies kann beispielsweise durch die manuelle Steuerung eines Kartogra-

<b>CartographyFunctions</b>
<pre> <b>void classifyObjects(Category,BranchGroup,ClassificationModule)</b> <b>void classifyObjects (BranchGroup[ ],BranchGroup,ClassificationModule)</b> <b>void labelObject (BranchGroup, String, boolean)</b> <b>void removeObject (BranchGroup)</b> <b>void setAppearance(BranchGroup, boolean, boolean, Color3f, float, boolean)</b> <b>void setLOD (BranchGroup, BranchGroup, int)</b> <b>void useSymbol (BranchGroup, BranchGroup, File)</b> <b>void scaleObject (BranchGroup, BranchGroup, double[ ])</b> <b>void exaggerateObject (BranchGroup, BranchGroup, ExaggerationModule</b> </pre>

Abbildung 4.2: Struktur der Klasse CartographyFunctions

phen geschehen. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Steuerung der Visualisierungsplattform anhand von Parametern, die die Eigenschaften des Nutzers und des von ihm zur Visualisierung verwendeten Endgerät beschreiben. Anhand dieser Parameter wird entschieden, welche Objekte welcher Operation unterzogen werden.

### 4.3 Erweiterung der Datenbank

Dieser Abschnitt beschreibt die Erweiterungen, welche an der die Datenbasis dieser Arbeit bildenden Datenbank vorgenommen wurden. Es wird aufgezeigt, wie dadurch die Unabhängigkeit von Kompositions- und Datenhaltungsschicht realisiert wurde. Gleichzeitig werden die neu hinzugefügten Felder und deren Bedeutung bei der Generierung einer dreidimensionalen Karte vorgestellt.

Die Datengrundlage dieser Arbeit bildet eine am Fraunhofer IGD entwickelte objektrelationale Datenbank. Diese bietet die Möglichkeit des Zugriffs auf ein dreidimensionales Stadtmodell der Stadt Darmstadt. Die Geometrien der einzelnen Gebäude liegen darin in Form von Punkten, Linien und Flächen vor. Semantische Informationen über die einzelnen Geometrien sind in dieser Datenbankstruktur nicht implementiert. Zur automatischen Generierung einer Karte werden diese jedoch benötigt, da durch sie der Einsatz kartogra-

phischer Abstraktionsverfahren und die endgültige Darstellung der Objekte innerhalb der Karte bestimmt wird.

Um die Unabhängigkeit von Kompositions- und Datenhaltungsschicht zu ermöglichen, d.h. die realisierte Plattform zur Generierung einer Karte auch auf Basis anderer Datenbankstrukturen anwenden zu können, wurden die vorhandenen Tabellen nicht inhaltlich erweitert. Stattdessen wurde eine neue Tabelle namens KATMAN eingefügt, die sämtliche Informationen, die für die Generierung einer Karte benötigt werden, enthält. Diese Tabelle kann ohne strukturelle Änderungen auf anderen Datenbanken angewandt werden.

Als Primär- und Sekundärschlüssel der Tabelle dient das Feld ID. Anhand dieses kann jede Entität innerhalb der Tabelle identifiziert werden, weiterhin findet über dieses Feld die Zuordnung zur existenten Datenbankstruktur, d.h. die Verbindung zu dem in der Datenbank enthaltenen dreidimensionalen Objekt statt.

Die Bedeutung dieses Objekts wird über das Feld OSKA definiert. Dieses beschreibt die Funktion des Objekts, d.h. ob es sich bei der dargestellten Geometrie beispielsweise um ein Wohnhaus oder um eine öffentliche Einrichtung handelt. Die Verschlüsselung dieser Funktion erfolgt dabei anhand des von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) vorgegebenen Objektschlüsselkataloges (OSKA) [37]. Dieser weist jeder Gebäudeart eine eindeutige Schlüsselnummer zu, anhand derer die Funktion dieses Gebäudes ermittelt werden kann. Zusätzlich zu der Funktion eines Objektes ist dessen relative Relevanz im Vergleich zu anderen Objekten der selben Funktion notwendig. Im Falle einer Katastrophe könnte eine typische Fragestellung des Nutzers an eine Karte sein: „Zeige mir sämtliche Krankenhäuser auf, die in der Lage sind, eine Vielzahl von Verletzten zu versorgen“. D.h. der Nutzer benötigt nicht die Anzeige sämtlicher Krankenhäuser, sondern nur die Anzeige derjenigen, die für ihn relevant sind. Dieser abstrakte Begriff der Relevanz wird über das Datenbankfeld RELEVANCE festgelegt. Zur automatischen Erkennung von Landmarken werden die Felder SEMANTIC\_VALUE und EXPLICIT\_MARK

verwendet (siehe Kapitel 4.7.1).

Es besteht die Möglichkeit, zusätzlich zur geometrischen Information eine textuelle Information über das Objekt in der Datenbank zu hinterlegen, welcher in der Karte dem Nutzer als Kartenschrift zur Erläuterung des Objekts angezeigt werden kann. Diese textuelle Information findet sich im Feld `FEATURE_TEXT`.

## 4.4 Kommunikation zwischen Server und Datenbank

Die im Rahmen dieser Arbeit visualisierten Daten stammen aus der im vorigen Abschnitt vorgestellten relationalen Datenbank. Die Unabhängigkeit der Kompositionsschicht von Erweiterungen oder Veränderungen der Grundstruktur der Datenbank wurde über die Trennung von geometrischen und semantischen Informationen über die Tabelle `KATMAN` realisiert. Um den Zugriff auf andere Daten wie Simulationsergebnisse oder von mobilen Einsatzkräften vor Ort eingegebenen aktuellen Informationen zu ermöglichen, wurde eine Schnittstelle zwischen der Kompositionsschicht und der Datenhaltungsschicht definiert. Diese Schnittstelle bilden die Klassen des entwickelten Java-Pakets `geo_dbase`. Die zentrale Aufgabe dieses Pakets, nämlich die Kommunikation mit den Datenquellen bildet die Klasse `GeobaseInterface`. Diese stellt die Verbindung zu den Datenquellen her und übermittelt deren geometrische Informationen an die Klasse `J3DExporter`. Diese konstruiert aus jeder erhaltenen Objektgeometrie einen Java 3D Teilgraphen. Die Teilgraphen sämtlicher Geometrien werden über `GeobaseInterface` an die Visualisierungsplattform übergeben und dort in den Szenengraphen zur Erzeugung der Karte eingehängt.

Dadurch, dass die Visualisierungsplattform keinen direkten Kontakt zu den Datenquellen besitzt und die erhaltenen Daten unabhängig von deren ursprünglicher Struktur und Herkunft durch `GeobaseInterface` als Java 3D



Teilgraphen zur Verfügung gestellt werden, ist die Visualisierungsplattform unabhängig von der darunter liegenden Datenhaltungsschicht. Bei Veränderungen an dieser müssen nur Modifikationen an den Klassen der Schnittstelle vorgenommen werden, die eigentliche Visualisierung bleibt davon unberührt.

Innerhalb der letzten beiden Abschnitte wurde gezeigt, welche Voraussetzungen auf Datenbankebene geschaffen sein müssen, um die zum Erzeugen einer thematischen Karte benötigten Informationen zur Verfügung zu stellen. Weiterhin wurde eine Schnittstelle präsentiert, welche die Anwendung der entwickelten Visualisierungsplattform auf unterschiedliche Datenquellen ermöglicht. Der folgende Abschnitt stellt die grundlegende Struktur des Szenengraphen vor, der zur Anordnung und Verwaltung der Kartenobjekte verwendet wird. Anschließend wird ein Verfahren vorgestellt, welches als eine Art Filter anhand einer Nutzeranfrage aus den gesamten vorliegenden Daten diejenigen auswählt, die für die gewünschte Aussage der Karte notwendig sind. Weiterhin wird der schematische Aufbau der Visualisierungsplattform, die zur Umwandlung der aus der Datenbank geladenen Objekte in Kartenobjekte verwendet wird, präsentiert. Die darin implementierten Verfahren zum Erzeugen der Kartengraphik und deren Bedeutung für die Aussage der Karte werden abschließend vorgestellt.

## 4.5 Struktur des 3D-Kartographie Szenengraphen

Sämtliche geometrischen Operationen, d.h. die Umwandlung der Gebäudemodelle aus der Datenbank in Kartenobjekte finden in Java 3D als Operationen auf dem Szenengraphen statt. Um dem Nutzer die freie Navigation durch die Karte zu ermöglichen, diese optimal darzustellen und dabei den Rechenaufwand zu minimieren, wird die Grundstruktur des Szenengraphen (siehe Kapitel 2.2) um zusätzliche Elemente erweitert. Abbildung 4.3 zeigt die Struktur. Auf Seiten des `view branch graph` werden Objekte vom Typ `MouseRotate`, `MouseTranslate` und `KeyNavigatorBehavior` zur Positionierung und Orientierung der virtuellen Kamera in der Szene verwendet. Diese

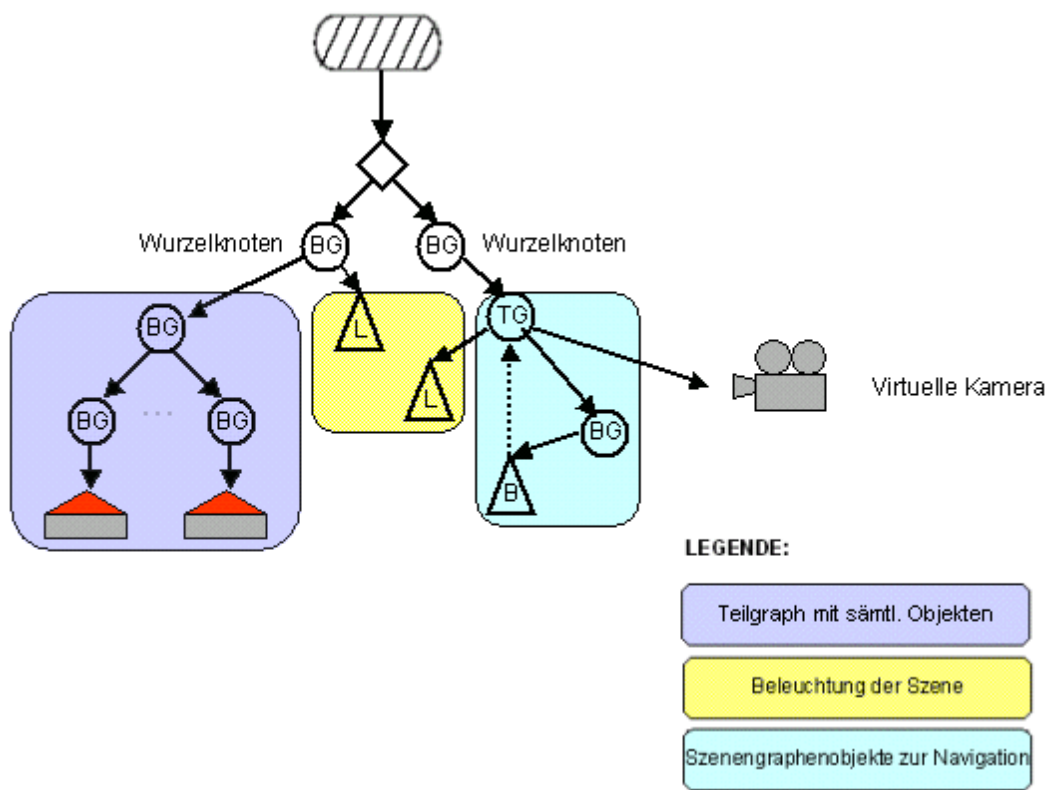


Abbildung 4.3: Struktur des Szenengraphen in der Visualisierungsschicht

von Behavior abgeleiteten Objekte ermöglichen es, die Werte des Transformationsknotens der Kamera durch Maus- und Tastatureingaben während der Laufzeit zu modifizieren.

Zum Ausleuchten der Szene werden zwei Lichtquellen verwendet. Für die Grundbeleuchtung der Objekte wird eine diffuse Lichtquelle verwendet, welche unabhängig von ihrer Position sämtliche von ihr beleuchteten Objekte der Szene gleich beleuchtet. Aufgrund der Positionsunabhängigkeit dieser Lichtquelle, wird diese keiner Transformation unterzogen und direkt an den Wurzelknoten gehängt. Als Hauptlichtquelle wird ein gerichtetes Licht verwendet. Dieses befindet sich „im Unendlichen“, hat also keine definierte Position im Raum. Im Gegensatz zum Diffuslicht strahlt das gerichtete Licht jedoch in eine bestimmte Richtung. In Java 3D wird der Richtungsvektor des Lichts in Zusammenhang mit dem Beobachtungswinkel zur Berechnung der

Darstellung eines Objekts verwendet. Die Darstellung eines Objekts ist somit abhängig von diesen beiden Vektoren. Wie in Kapitel 3.1 gezeigt, dient die Farbgebung eines Kartenobjekts dazu, Informationen über dessen substantielles Merkmal zu kodieren. Um dem Nutzer der Karte eine eindeutige Information zu übermitteln, ist es notwendig, dass die Farbe eines Gebäudes unabhängig vom Abstand der virtuellen Kamera zu diesem und unabhängig vom Blickwinkel stets gleich bleibt (siehe Kapitel 4.7.2.3). Um dieses zu ermöglichen, wird die gerichtete Lichtquelle so implementiert, dass der Richtungsvektor des Lichts immer der Blickrichtung des Nutzers entspricht. Realisiert wird dieses im Szenengraphen dadurch, dass die Lichtquelle als Kindknoten der Transformation der virtuellen Kamera implementiert wird. Dadurch wirkt sich jede Änderung der Orientierung der virtuellen Kamera automatisch auf den Richtungsvektor der Lichtquelle aus.

Auf die Verwendung anderer Lichttypen, welche aufgrund nicht paralleler Richtungsvektoren und abnehmender Lichtstärke sehr rechenintensiv sind, wurde verzichtet. Die Verwendung der vorgestellten zwei Lichttypen ermöglicht es, den dreidimensionalen Eindruck einer Szene optimal darzustellen, dabei aber den Rechenaufwand minimal zu halten und somit die Darstellung der Karte und die Navigation in dieser zu beschleunigen.

Eine weitere Erweiterung des Szenengraphen liegt in der Einbindung der `FeatureTable`. Diese Tabelle beinhaltet die semantischen Informationen über jedes im Szenengraphen gehaltene Objekt, stellt also somit eine Kopie der in Kapitel 4.3 beschriebenen Datenbanktabelle dar. Durch diese Kopie wird die Trennung zur Datenbankschicht vollzogen. Sämtliche Operationen können ohne wiederholte Datenbankabfragen vorgenommen werden. Weiterhin werden in dieser Tabelle die Objekte verwaltet, die als Folge der kartographischen Abstraktion (z.B. durch Zusammenfassung mehrere einzelner Geometrien zu einer) neu entstehen.

Der vorgestellte erweiterte Szenengraph dient nun als Grundlage, um die Geoobjekte aus der Datenbank zu verwalten, der kartographischen Gestaltung zu

unterziehen und anschließend zu visualisieren. Jedes einzelne geladene Objekt wird dazu als einzelner Teilgraph unterhalb der Offset-Transformation an den Szenengraphen gehängt. Somit kann jedes Objekt durch Bearbeitung des Teilgraphen einzeln bearbeitet werden. Die Verknüpfung der einzelnen Objekte, die für voneinander abhängige Generalisierungsmethoden notwendig ist, findet über die `FeatureTable` statt.

In diesem Abschnitt wurde die grundlegende Struktur des Szenengraphen vorgestellt. Es wurde aufgezeigt, wie Erweiterungen der Grundstruktur die Navigation und die optimale Darstellung bei gleichzeitiger Minimierung des Rechenaufwands ermöglichen. Die Struktur des Szenengraphen wurde so konzipiert, dass sowohl einzelne Objekte unabhängig voneinander als auch komplette Objektgruppen kartographisch abstrahiert werden können. Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die Kommunikation zwischen dem Client und dem Server und die Daten, die zur Generierung einer nutzeroptimierten Karte benötigt werden.

## 4.6 Kommunikation zwischen Client und Server

Zur Generierung einer für den Nutzer optimierten Karte benötigt die Visualisierungsschicht Angaben über die technischen und nutzerspezifischen Parameter. Diese werden bei der Anfrage des Clients an den Server im Textformat über das Standard-Internetprotokoll HTTP übermittelt. Zur Kodierung der Parameter wird deswegen die textbasierte Auszeichnungssprache XML verwendet, die aufgrund ihrer Plattformunabhängigkeit den Austausch von Daten zwischen unterschiedlichen Systemen ermöglicht. Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die Umsetzung der Parameter in ein XML-Dokument, welches vom Server ausgewertet und zur Generierung der Karte verwendet wird. Entsprechend den in Kapitel 3.2.2 behandelten zwei Typen externer Parameter wird das XML-Dokument in zwei Hauptelemente gegliedert. Das Element `userParam` dient zur Übertragung nutzerspezifischer Parameter, das Element `deviceParam` zur Übertragung technischer Parameter. Anhand beider ent-

scheidet das System, wie Kartengraphik und kartographische Abstraktion auf welche Objekte der Datenbank anzuwenden sind.

Da derzeit noch kein geeignetes System existiert, welches die Parameter automatisch in einem XML-Dokument kodiert, wurde für die im Rahmen dieser Arbeit erfolgte prototypische Umsetzung ein Web-Interface erzeugt, an welchem der Nutzer die Eingabe der notwendigen Parameter vornimmt. In Abweichung zum theoretischen Konzept liegt das XML-Dokument also nicht bereits auf dem Client vor, sondern wird serverseitig erzeugt und anschließend direkt zur Generierung der Karte verwendet. Zukünftige Weiterentwicklungen werden diese zugegebenermaßen für den Nutzer umständliche Art der Dateneingabe jedoch automatisieren und somit auch wieder eine Trennung zwischen der Darstellungs- und der Visualisierungsschicht erzeugen.

#### 4.6.1 Nutzerspezifische Parameter

Die in `userParam` gekapselte geographische und thematische Auswahl der Geoobjekte dient der Visualisierungsschicht als Entscheidungsgrundlage darüber, welche Gebäude in welcher Form dargestellt werden. Dies geschieht anhand einer vom Nutzer festgelegten geometrischen und thematischen Auswahl. Abbildung 4.4 zeigt den strukturellen Aufbau des Dokuments, welches zur Beschreibung der Auswahl verwendet wird.

Die geometrische Auswahl wird dabei durch die XML-Elemente `mapSize`, `position` und `orientation` repräsentiert. Das Element `mapSize` beinhaltet die Gauss-Krüger Koordinaten (siehe A) des unteren linken und des oberen rechten Eckpunkts der gewünschten Karte. Anhand dieser Auswahl werden die Gebäudemodelle, deren Koordinaten innerhalb des ausgewählten Bereichs liegen, aus der Datenbank geladen.

Die gewünschte Position der virtuellen Kamera wird über das `position`-Tag bestimmt. Zum Festlegen der Blickrichtung dienen die Attribute des Elements `orientation`. Deren mögliche Werte definieren in Anlehnung an

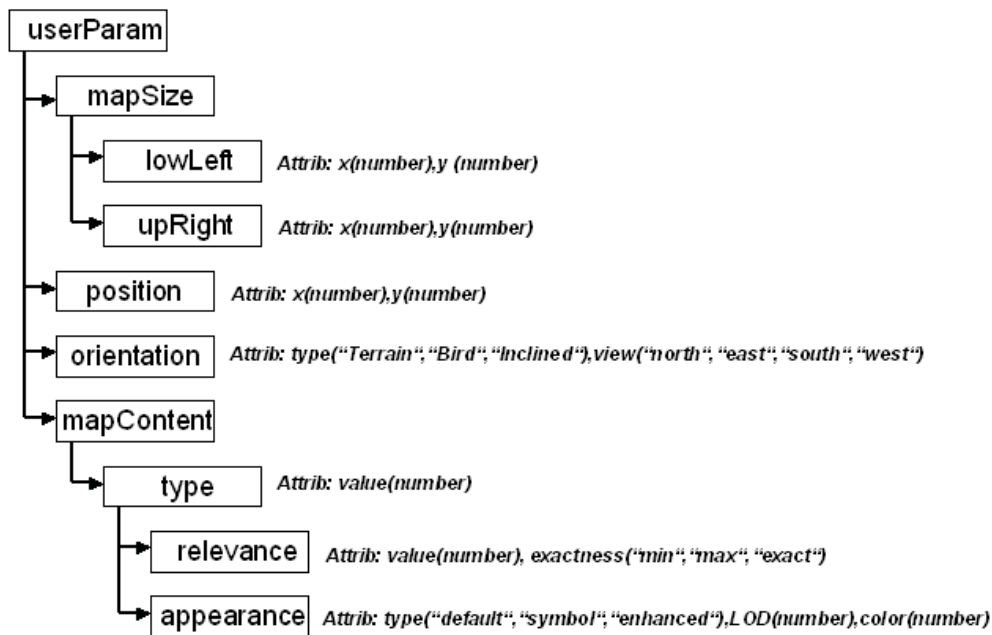


Abbildung 4.4: Struktur zur Beschreibung nutzerspezifischer Parameter

[41] drei unterschiedliche Betrachtungsmodi. Zur Übermittlung von Informationen über die Objekte in der näheren Umgebung des Nutzers dient der **Terrain**-Modus. In diesem befindet sich die virtuelle Kamera auf Augenhöhe, dem Benutzer wird also eine Karte dargestellt, die seiner Perspektive in der realen Welt entspricht.

Zur Übersicht über die gesamte Karte dient der **Bird**-Modus. In diesem ist die Blickrichtung der virtuellen Kamera senkrecht auf die Karte gerichtet. Die Entfernung der Kamera zur Karte wird dabei so gewählt, dass der Nutzer eine Übersicht über den gewünschten Kartenausschnitt erhält. Dieser erscheint ähnlich wie eine zweidimensionale Karte aus der Vogelflugperspektive.

Der **Inclined**-Modus positioniert die virtuelle Kamera zwischen den beiden anderen Modi. Diese wird kurz überhalb der den Nutzer umgebenden Gebäude positioniert. Die Blickrichtung der Kamera ist dabei schräg nach unten. Der Nutzer bekommt dadurch wie im **Terrain**-Modus die Gebäude seiner näheren Umgebung angezeigt. Die erhöhte Position ermöglicht es jedoch, zusätzliche Objekte angezeigt zu bekommen, die aus der realen Perspektive des Nutzers nicht zu erkennen sind. Die entstandene Karte eignet sich also opti-

mal als Übersichtskarte der näheren Umgebung.

Zur thematischen Auswahl und zur Bestimmung der Darstellung der gewünschten Objekte dienen die Kindelemente von `mapContent`. Jeder Objekttyp, der in der Karte dargestellt werden soll, wird über das `type`-Element definiert. Einheitlich zur Datenbank wird darin zur Beschreibung der darzustellenden Objekte der OSKA-NRW verwendet. Innerhalb von `type` findet noch eine zusätzliche Verfeinerung der Abfrage statt. Über die Attribute von `relevance` wird diese auf Objekte einer bestimmten Relevanz beschränkt. Eine beispielhafte Anfrage eines Nutzers lautet also: „Zeige mir sämtliche Krankenhäuser, Polizeistationen und Feuerwachen mit einer Mindestrelevanz von 3“. Konkrete Beispiele für diesen abstrakten Begriff der Relevanz sind die Dringlichkeit einer Evakuierung, die Anzahl der in einem Gebäude befindlichen Personen, die Verfügbarkeit von Hilfsmitteln und Personal usw. Für jeden der ausgewählten Objekttypen wird im `appearance`-Element die gewünschte Darstellung festgelegt. Dessen Attribute definieren den Detaillierungsgrad („Level of detail“/„LOD“), die eventuelle Betonung und die Farbe der zu visualisierenden Gebäude.

## 4.6.2 Technische Parameter

Zusätzlich zu der geometrischen und thematischen Auswahl benötigt die Visualisierungsschicht noch Angaben über die technischen Parameter des Nutzerendgeräts. Diese Informationen bilden die Entscheidungsgrundlage dafür, in welchem Format die Daten an den Client übermittelt werden. Weiterhin bedingen die technischen Parameter die Anwendung kartographischer Generalisierungsvorgänge. Abbildung 4.5 zeigt die Struktur des Dokuments zur Beschreibung der technischen Parameter.

Eine generierte Karte kann dem Nutzer in einer Vielzahl von Formaten übermittelt werden (siehe Kapitel 4.8). Diese sind sowohl von der Rechenleistung des Endgeräts als auch von der auf ihm installierten Software abhängig. Diese Angaben erhält die Visualisierungsschicht über die Elemente `plugin`, `maxTriang` und `screenSize`.

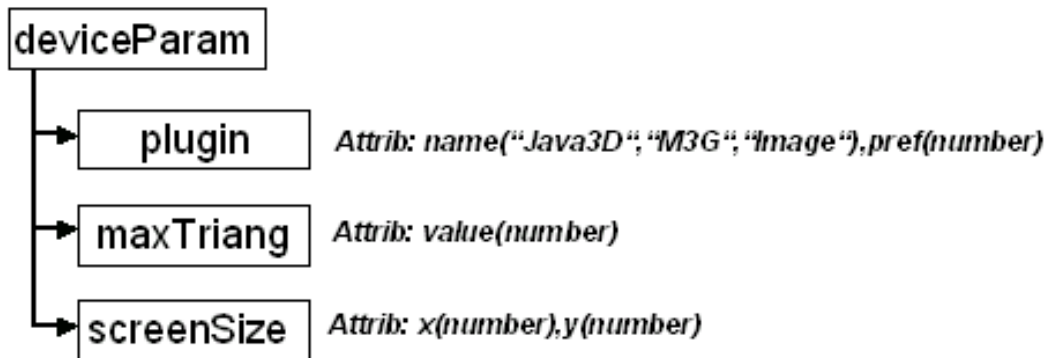


Abbildung 4.5: Struktur zur Beschreibung technischer Parameter

Jedes `plugin`-Element beinhaltet als Attribute eine auf dem Rechner installierte, zur Darstellung der Karte geeignete Software. Da auf einem leistungsfähigen PC mehrere Darstellungsprogramme installiert sein können, beinhaltet jedes `plugin`-Element ein `pref`-Attribut. Jedem Format wird über dieses Attribut ein Zahlenwert zugewiesen. Dieser gibt an, in wie weit der Client dieses Format bevorzugt und dementsprechend möglichst von der Visualisierungsschicht zur Erstellung der Karte genutzt werden soll.

Die Entscheidung darüber, ob die Karte in dem meistpräferierten Format abgebildet wird, trifft die Visualisierungsschicht anhand des Elements `maxTriang`. Dieses beschreibt die maximal mögliche Komplexität des Modells, um noch auf dem verwendeten Endgerät dargestellt werden zu können. Da dreidimensionale geometrische Objekte in der Regel als Dreiecksnetze vorliegen, und sich somit die Komplexität eines Modells über die Anzahl der darin enthaltenen Dreiecke bestimmen lässt [31], wird diese zur Beschreibung der Komplexität in `maxTriang` genutzt.

Die Sichtbarkeit von Details der Darstellung wird bei abnehmender Bildschirmgröße reduziert. Dabei besteht die Gefahr der Unterschreitung der Mindestdarstellungsgröße. Zur Vermeidung dessen wird die Bildschirmgröße über das Element `screenSize` an die Visualisierungsschicht übermittelt.



## 4.7 Kartographische Abstraktion und Generalisierung

Nachdem die Geoobjekte aus der Datenbank geladen wurden, besteht der nächste Schritt der Visualisierungsschicht darin, anhand der Client-Parameter, diese Objekte in Kartenobjekte umzuwandeln und diese zu generalisieren. Dieser Vorgang wird im folgenden Abschnitt beschrieben. Zu Beginn wird ein Verfahren vorgestellt, welches es ermöglicht, aus den vorliegenden Geodaten automatisch Landmarken zur Navigationsunterstützung zu generieren. Den zweiten Teil des Abschnitts bildet die detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte, die bei der Umwandlung der Geoobjekte in kartographische Objekte in dieser Plattform angewendet werden.

### 4.7.1 Automatische Generierung von Landmarken

Nach Coors [31] setzt sich die Bedeutung eines Objekts für die Aussage einer Karte aus drei Eigenschaften zusammen, nämlich seiner Relevanz in Abhängigkeit der Nutzeranfrage, seiner Bedeutung als Referenzobjekt innerhalb der Karte und seiner Eignung als Landmarke. Der folgende Abschnitt beschreibt die Bedeutung einer Landmarke für die Aussage der Karte und stellt ein Verfahren vor, mit dem automatisch die Eignung eines Objekts als Landmarke bestimmt werden kann. Dieses orientiert sich an dem von Raubal und Winter entwickelten Verfahren zur automatischen Erkennung von Landmarken [34].

Bei Landmarken handelt es sich um Objekte, die sich aufgrund ihrer spezifischen Form oder Bedeutung von den Objekten ihrer Umwelt unterscheiden und somit als besonders markant erscheinen. Untersuchungen aus den Bereichen der Kognition, der Geowissenschaften und der Informatik zeigen, dass Landmarken sowohl im mentalen Abbild der Umwelt als auch bei Wegbeschreibungen genutzt werden [34]. Untersuchungen im Bereich von Navigationsapplikationen haben ergeben, dass die Qualität einer Wegbeschreibung durch die Verwendung von Landmarken steigt, während die Nichtverwendung von Landmarken zu einer negativen Bewertung der Karte führt [33].

Dieser hohe Beitrag, den Landmarken sowohl bei der geistigen Erfassung der Karte als auch bei der Navigation haben, machen sie zu einem effektiven Hilfsmittel zur Orientierung für den Nutzer.

Eine Festlegung per Definition, welche Objekte als Landmarken geeignet sind, ist nicht möglich, da die Eignung eines Objekts als Landmarke nur im Vergleich mit den Objekten seiner Umgebung zu ermitteln ist. Ein Fachwerkhaus inmitten einer erhaltenen historischen Altstadt dient kaum als Landmarke, da es von mehreren ähnlichen Fachwerkbauten umgeben ist. In einem modernen Wohngebiet ist ein Fachwerkhaus jedoch ein untypischer und auffälliger Anblick und somit als Landmarke geeignet.

Diese Eignung wird anhand der visuellen Bedeutung und der semantischen Bedeutung der Objekte ermittelt. Objekte, die optisch einen hohen Kontrast zu den Objekten ihrer Umgebung besitzen, sind visuell bedeutsam. Ein Beispiel hierfür ist das oben erwähnte Fachwerkhaus in einem modernen Wohngebiet.

Objekte, die sich aufgrund einer besonderen Bedeutung oder einem hohen Bekanntheitsgrad von ihrer Umwelt unterscheiden, sind semantisch bedeutsam. Deutlich wird dieses bei typischen Ortsbeschreibungen wie „direkt vor der Post“ oder „am Rathaus“. Auch wenn sich „Post“ und „Rathaus“ vom Erscheinungsbild nicht von den Objekten ihrer Umgebung unterscheiden, dienen sie aufgrund ihrer Nutzung und damit verbundenen Bedeutung als Landmarke. Dies kann durch explizite Zeichen am Objekt verstärkt werden: Mehrere gelbe Fahnen mit symbolisiertem Posthorn vor einem Gebäude weisen dieses eindeutig als Postgebäude aus.

Bei der Bestimmung der visuellen Bedeutung werden zwei Eigenschaften des Objekts berücksichtigt: Zum einen das Volumen, da übermäßig große oder übermäßig kleine Objekte optisch aus ihrer Umgebung herausragen, zum anderen die Form des Objekts. Sehr flache Objekte mit großer Grundfläche wie zum Beispiel Fabrikhallen sind ebenso auffällig wie Objekte mit sehr geringer Grundfläche aber großer Höhe (z.B. Fernsehtürme). Formal beschreibt

das Verhältnis von Höhe zu Grundfläche diese Eigenschaft. Weiterhin fallen Objekte auf, deren Form von der typischen Rechtecksform abweicht, ein Beispiel hierfür ist die typische Bauform von Kirchen. Um diese Eigenschaft zu bestimmen, wird die Abweichung von Objektvolumen und Volumen des kleinstmöglichen Hüllquaders berechnet.

Zur Bestimmung der semantischen Bedeutung eines Objekts wird zum einen dessen Bekanntheitsgrad, bedingt durch beispielsweise seinem historischen Wert oder der allgemeinen Bekanntheit, und zum anderen das Vorhandensein expliziter Zeichen am Objekt betrachtet. Da auf Basis der vorliegenden Daten keine automatische Bestimmung dieser Eigenschaften möglich ist, wurden diese als eigene Felder in der dieser Arbeit zugrunde liegenden Datenbank hinterlegt und fest mit dem Objekt verknüpft.

Zur Bestimmung der Eignung als Landmarke wird jedes aus der Datenbank geladene Objekt auf die oben genannten Eigenschaften überprüft. Dies geschieht vor der kartographischen Abstraktion der Gebäude, da durch diese die ursprünglichen Eigenschaften der Objekte verändert werden (z.B. durch Betonung) oder verloren gehen (z.B. durch Zusammenfassung oder Symbolisierung) und somit der Bezug zu den Objekten der realen Welt verloren geht. Da sich eine Landmarke nur durch den Vergleich mit den Objekten ihrer Umgebung als solche definiert, werden die Eigenschaften der Objekte mit denen der sie umgebenden Gebäude verglichen. Dazu wird für jede Eigenschaft der Mittelwert sämtlicher Gebäude ermittelt. Dieser beschreibt sozusagen ein „typisches“ Gebäude. Weicht bei einem der Objekte der Karte einer der Eigenschaften merklich vom Mittelwert ab, ist diese in der Umgebung des Objekts einzigartig. Je mehr dieser einzigartigen Eigenschaften ein Objekt besitzt, desto mehr unterscheidet es sich von den Objekten seiner Umgebung und ist folglich desto mehr als Landmarke geeignet.

Bei der Erstellung der Karte werden die Objekte mit der höchsten Eignung als Landmarke eingefügt, die Anzahl der darzustellenden Landmarken kann dabei durch einen Parameter  $num_{landmark}$  bestimmt werden, je höher

$num_{landmark}$  ist, desto mehr Landmarken werden dargestellt. Damit der Nutzer der Karte sich anhand der Landmarken orientieren kann, werden diese nicht durch Generalisierungsvorgänge vereinfacht, sondern mit dem höchsten Detaillierungsgrad (LOD) dargestellt, damit ihre typischen Eigenschaften – besonders die geometrischen – in der Karte enthalten bleiben. Der Parameter  $num_{landmark}$  sollte deshalb so gewählt werden, dass dem Nutzer zwar eine ausreichende Anzahl an Orientierungspunkten zur Verfügung gestellt wird, dabei aber die Komplexität der Karte nicht die Darstellungsmöglichkeiten des Endgeräts übersteigt oder die erwünschte Aussage der Karte durch eine zu hohe Anzahl an Landmarken „überschrieben wird“. Eine Karte, in der beispielsweise sämtliche Krankenhäuser mit maximaler Entfernung von 2km zum Nutzer hervorgehoben dargestellt werden sollen, verliert an Aussage, wenn sie zum größten Teil aus Landmarken besteht und somit die Krankenhäuser nicht mehr den optischen Schwerpunkt der Karte bilden.

## 4.7.2 Erzeugen der Kartengraphik

Im nachfolgenden Abschnitt wird aufgezeigt, wie über Manipulationen des Java 3D Szenengraphen die Geoobjekte in kartographische Objekte umgewandelt werden. Dabei wird die Bedeutung der einzelnen Schritte sowohl in textueller Form als auch anhand von graphischen Beispielen dargestellt.

### 4.7.2.1 Erzeugen von Signaturen

Analog zur klassischen Kartographie ist das hilfreichste Superzeichen bei einer dreidimensionalen Karte die Signatur. Diese findet ihren Einsatz sowohl zur Darstellung der Objektgesetzmäßigkeiten als auch als Mittel der kartographischen Abstraktion.

Um den Nutzer der Karte mit der Signatur ein vernünftiges Hilfsmittel zur Verfügung zu stellen, muss der Nutzer das entsprechende Symbol kennen, die Auswahl des Zeichens muss sich also am Kenntnisstand des Nutzers orientieren. Um dies zu erreichen, existiert keine feste Verknüpfung zwischen einem Gebäudetyp und einem Symbol. Ein Objekt aus der Datenbank kann somit nutzerabhängig durch unterschiedliche Symbole dargestellt werden. Die Zuordnung zwischen Nutzer und verwendetem Symbol findet über den in

den Client-Parametern festgelegten Symboltyp statt. Für jeden dieser Typen existiert auf dem Server ein Verzeichnis, welches die nutzerspezifischen Symbole enthält. Jedes dieser Verzeichnisse enthält alle notwendigen Symbole als einzelne Dateien. Die Bezeichnung der Dateien entspricht dabei der OSKA-Schlüsselnummer. Möchte ein Nutzer also das in Deutschland gebräuchliche Symbol für eine Schule angezeigt bekommen, wird die im Symbolverzeichnis GER enthaltene Datei 1121 (OSKA-Schlüsselnummer für allgemeinbildende Schulen) als Symbol verwendet.

Dieses Symbol wird nach der Auswahl als Teilgraph in den Java 3D Szenengraphen eingehängt und in der FeatureTable als neues Objekt im Szenengraphen registriert. Der Aussage der Karte entsprechend kann die ursprüngliche Geometrie jetzt aus der Karte entfernt oder in abstrahierter Form dargestellt werden. Trägt die ursprüngliche Form des Gebäudes nicht zu einer relevanten Aussage bei, wird diese aus der Karte entfernt. Ist die Form eines Gebäudes für die Karte ausschlaggebend, handelt es sich bei ihr beispielsweise um eine Landmarke zur Navigationsunterstützung des Nutzers (siehe Kapitel 4.7.1), wird dieses Objekt in der Karte beibehalten.

Da das verwendete Symbol als Teil des Szenengraphen verwendet wird, können sämtliche Java 3D Objekte als Symbol verwendet werden. Das mögliche Spektrum reicht dabei von texturierten Flächen bis hin zu animierten dreidimensionalen Modellen. Um die Kompatibilität zu leistungsschwächeren Endgeräten zu gewährleisten und die Komplexität des Modells zu minimieren, wurde im Rahmen dieser Arbeit zur Symbolisierung eine zweidimensionale Fläche verwendet, welche mit dem entsprechenden Symbol aus einer Bilddatei texturiert wird. Bei der Verwendung eines Symbols in einer dreidimensionalen Karte, durch die der Nutzer frei navigieren kann, ist zu beachten, dass die Blickrichtung des Nutzers im Unterschied zu einer zweidimensionalen Karte nicht festgelegt ist. Um das Kartenzeichen für den Nutzer aus jeder Position sichtbar zu machen, wird das Symbol durch ein von Behavior abgeleitetes Objekt vom Typ `Billboard` transformiert. Dieses `Billboard`-Objekt richtet ein referenziertes Objekt immer so aus, dass dessen Z-Achse zur Position der

virtuellen Kamera zeigt. Das Symbol wird somit konstant dem Nutzer zugewendet.

Um das substantielle Merkmal – also die Relevanz – eines Objektes anhand des Symbols zu beschreiben, wird dieses einer Skalierung unterzogen. Symbole eines Objektes hoher Relevanz werden größer als Symbole eines Objektes niedriger Relevanz dargestellt. Der folgende Abschnitt beschreibt weitere Methoden, die zur Visualisierung der Eigenschaften der kartographischen Objekte dienen.

#### 4.7.2.2 Kartenschrift

Bei der Kartenschrift handelt es sich um eine Sonderform der Signatur. Ebenso wie die im vorigen Abschnitt beschriebenen Symbole ermöglicht sie die Beschreibung eines Objekts und dessen Merkmale. Im Gegensatz zu den Symbolen, deren Bedeutung vom Nutzer interpretiert oder in einer Legende nachgeschlagen werden muss, informiert sie den Nutzer der Karte auf direktem Wege, erleichtert somit die Lesbarkeit der Karte. Weiterhin erhöhen Beschriftungen die inhaltliche Aussage einer Karte, da sie die Möglichkeit bieten, Informationen zu übermitteln, die alleine anhand von Symbolen nicht darstellbar sind. Sie erweitern somit deren Aussage.

Dies wird an Abbildung 4.6 deutlich: Zusätzlich zu dem roten Kreuz als



Abbildung 4.6: Einsatz von Kartenschrift zur zusätzlichen Informationsübermittlung

Symbol für ein Krankenhaus werden dem Nutzer anhand der Beschriftung

zusätzliche, nicht aus dem Zeichen ableitbare Informationen zur Verfügung gestellt.

Zur Beschriftung eines Objekts wird der Inhalt des in Kapitel 4.3 beschriebenen Datenbankfeldes `FEATURE_TEXT` verwendet. Dieser wird oberhalb des dargestellten Objektes angebracht. Technisch realisiert wurde die Beschriftung durch Nutzung der Java 3D Klasse `Text2D`, wobei analog zum vorigen Abschnitt die Kartenschrift über ein `Billboard`-Objekt orientiert wird und somit immer dem Nutzer zugewandt ist. Die Relevanz eines Objekts wird über die verwendete Schriftgröße kodiert, durch Variation der Schriftfarbe werden zusätzliche Aussagen über das Objekt getroffen. Einen detaillierten Überblick über die Bedeutung von Farbe bei kartographischen Objekten liefert der nächste Abschnitt.

#### 4.7.2.3 Farbe und Transparenz

Qualitative und quantitative Eigenschaften eines Objekts werden über dessen Farbe kodiert. Dabei werden unterschiedlichen Objekttypen unterschiedliche Farbtöne zugewiesen, anhand derer der Nutzer qualitative Aussagen über die angezeigten Objekte treffen kann. Dies wird an Abbildung 4.7 deutlich. Der Betrachter der Karte erkennt anhand der Farbe sofort, dass es sich auf der Karte um zwei unterschiedliche Gebäudetypen handelt. Da die angezeigten Gebäude geometrisch ähnlich sind, findet die Unterscheidung zwischen den Gebäuden hierbei nur über die abweichenden Farben der Objekte statt.

Durch unterschiedliche Farbtöne können nur qualitative Unterscheidungen zwischen Objekten vorgenommen werden, der Nutzer erkennt also nur, dass sich ein blaues Gebäude von einem roten Gebäude unterscheidet. Quantitative Eigenschaften können somit alleine durch Variation des Farbtons nicht kommuniziert werden [17]. Dies wird erst durch Änderungen der Farbsättigung eines Objekts erreicht. Abbildung 4.8 zeigt zwei Gebäudereihen mit jeweils dem gleichen Farbton aber unterschiedlicher Farbsättigung. Der Betrachter kann also sowohl qualitative Unterscheidungen (*blau*  $\neq$  *rot*) als auch quantitative Unterscheidungen (*hellrot* = *rot*, *dunkelrot* = *rot* **aber** *hellrot*

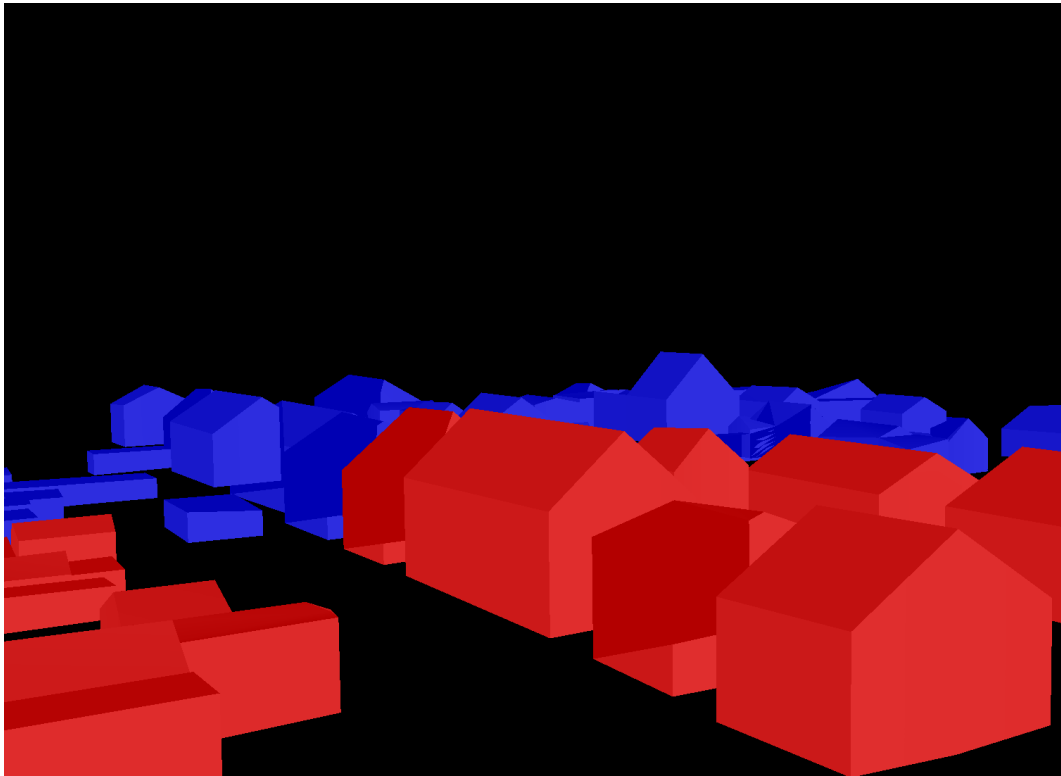


Abbildung 4.7: Kodierung von qualitativen Eigenschaften über Farbe

(*!= dunkelrot*) treffen. Die Unterteilung erfolgt dabei auf Basis einer Farbskala, anhand derer der Wertebereich des quantitativen Merkmals in einzelne Abschnitte unterteilt wird. Jedem Abschnitt wird dann eine entsprechende Farbsättigung zugewiesen.

Ebenso wie bei den Kartenzeichen sollte bei der Auswahl der anzuwendenden Farben darauf geachtet werden, dass diese dem Kenntnisstand des Nutzers angepasst sind. Dies wird bei einigen Objekttypen durch einfache Assoziationen erzielt, so werden Wasserflächen im Regelfall in einer Karte immer blau und Wälder, Parkanlagen usw. immer grün dargestellt. Da solche allgemein verständlichen Assoziationen nicht für sämtliche Gebäudetypen in einem Stadtmodell existieren, wird die Nutzeranpassung hier über die Client-Parameter vorgenommen. Der Nutzer wählt für jeden Gebäudetyp den Farbton aus, in der das Gebäude dargestellt werden soll. Die Variation der Farb-



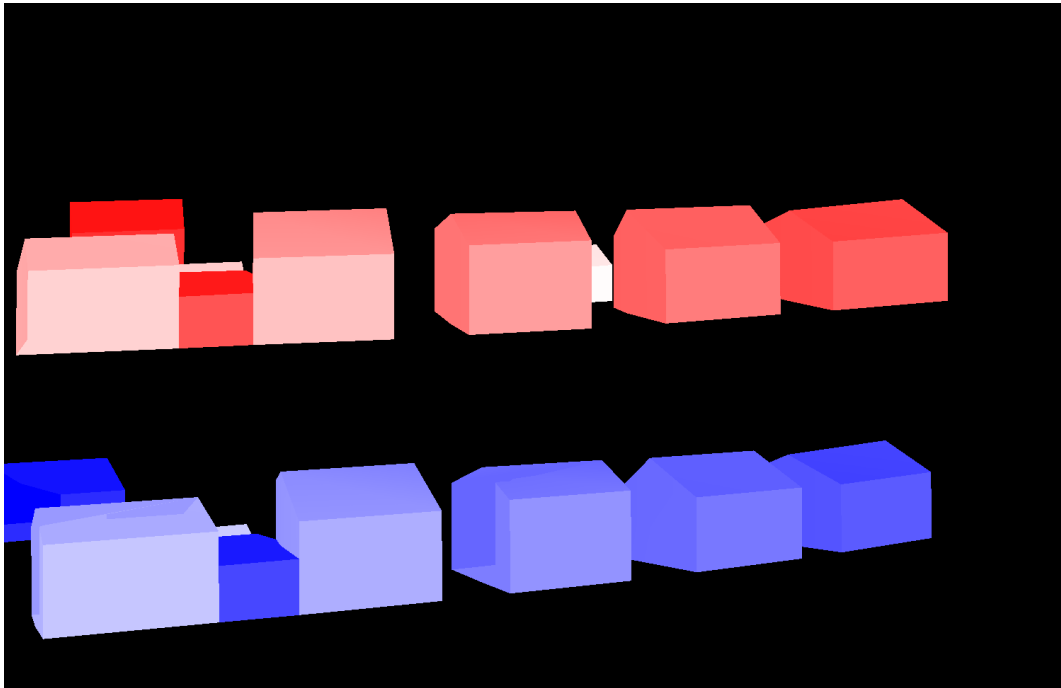


Abbildung 4.8: Kodierung von quantitativen und qualitativen Eigenschaften über Farbe

sättigung findet anhand der Relevanz des Gebäudes statt.

Die errechnete Farbe eines Objekts kann diesem auf Ebene des Szenengraphen durch zwei unterschiedliche Methoden zugewiesen werden:

- als Objekt vom Typ `ColoringAttributes`,
- als Farbwerte innerhalb des dem graphischen Objekt zugeordneten `Material`-Objekts.

Die Zuordnung einer Farbe  $RGB$  über die `ColoringAttributes` erzeugt ein Objekt mit **exakt** der Farbe  $RGB$ . Dies erfolgt unabhängig von im Szenengraphen aktiven Lichtquellen und unabhängig vom Blickwinkel der virtuellen Kamera auf das Objekt. Der Vorteil hiervon liegt darin, dass das Objekt aus jeder Position gleich dargestellt wird, die über die Farbe kodierten qualitativen und quantitativen Merkmale bleiben somit unverfälscht. Für die Darstellung einer dreidimensionalen Karte ist diese Methode der Kolorierung

jedoch nur bedingt geeignet, da der dreidimensionale Eindruck der Karte beim Nutzer durch Farbwechsel innerhalb eines Objektes entsteht. Flächen eines Gebäudes, auf die der Benutzer direkt schaut, werden heller als ihm nicht direkt zugewandte Flächen dargestellt. Farbgrenzen zwischen den Flächen werden als Kanten interpretiert. Abbildung 4.9 zeigt den Unterschied zwischen einem Gebäude mit leicht abweichenden Flächenfarben und dem gleichen Gebäude, bei dem die Farbe über die `ColoringAttributes` definiert ist. Bei diesem ist aufgrund der exakt gleichen farblichen Darstellung

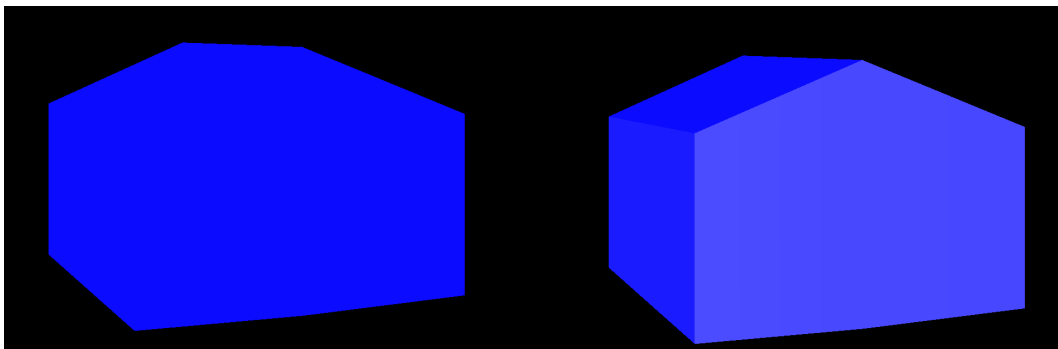


Abbildung 4.9: Auswirkung der Farbe auf 3D-Eindruck

jeder Fläche die eigentliche Form für den Nutzer nicht erkennbar.

Um den dreidimensionalen Eindruck einzelner Gebäude der Karte entstehen zu lassen, muss die farbliche Darstellung der einzelnen Flächen eines Gebäudes in Abhängigkeit des sie beleuchtenden Lichtes und des Blickwinkels der virtuellen Kamera vorgenommen werden. Dies geschieht durch die Zuweisung der Objektfarbe über das `Material`-Objekt. Über dieses Objekt können jeder Geometrie des Szenengraphen Materialeigenschaften zugeordnet werden. Diese werden verwendet, um die Darstellung eines beleuchteten Objekts zu beschreiben.

Java 3D unterscheidet hierbei zwischen vier unterschiedlichen Farbkomponenten einer Geometrie:

- *ambient color*,
- *diffuse color*,

- *emissive color*,
- *specular color*.

*Ambient color* bezeichnet die Farbe, die ein Objekt besitzt, wenn es Umgebungslicht (*ambient light*) reflektiert, *diffuse color* bezeichnet die Objektfarbe bei Reflexion von gerichtetem Licht, *specular color* bezeichnet ebenfalls die Objektfarbe bei gerichtetem Licht, zusätzlich wird bei dieser Farbe die Glanzeigenschaft *shininess* des Objekts bei der Berechnung der Farbe berücksichtigt. *Emissive color* bezeichnet die Farbe, die ein Objekt unabhängig von Lichtquellen als Eigenleuchten von sich gibt.

Die Kombination dieser vier Farbkomponenten anhand der Java 3D Beleuchtungsgleichung ([38]) ergibt die endgültige Darstellung der einzelnen Pixel eines Objekts. Diese ist im Wesentlichen abhängig vom Winkel zwischen dem Normalenvektor einer beleuchteten Fläche und dem Richtungsvektor des auftreffenden Lichts. Bei einem Winkel von 90 Grad zwischen den beiden Vektoren ist der Anteil von *diffuse color* und *specular color* gleich null, ein Winkel von 0 Grad (Licht trifft senkrecht auf die Fläche auf) bedeutet maximale Helligkeit.

Da sich der Nutzer der Karte in dieser frei bewegen kann und die Richtung der Lichtstrahlen seiner Blickrichtung entspricht, verändert sich die Farbe eines Objekts in Abhängigkeit seines Blickwinkels auf ein Objekt. Um quantitative Merkmale eines Objekts eindeutig über die Variation der Farbe zu kodieren, sind die einzelnen Farbkomponenten so zu wählen, dass sich die Farbe eines Objekts bei einem Blickwinkel zwischen 0 und 90 Grad auf dieses Objekt nur minimal verändert. Damit ist garantiert, dass der Nutzer bei jedem Blickwinkel auf ein Objekt die gleiche Aussage über dessen quantitatives Merkmal bekommt. Abbildung 4.10 zeigt ein schlechtes Beispiel für die Auswahl der Farbkomponenten. Aufgrund der hohen Auswirkung des Betrachtungswinkels auf die Objektfarbe kann keine eindeutige Aussage über das quantitative Merkmal dieses Objekts vorgenommen werden. Ein gutes Beispiel wird in Abbildung 4.11 gezeigt. Dort sind die Farbkomponenten so gewählt, dass der Nutzer bei jedem Blickwinkel auf ein Objekt zutreffende

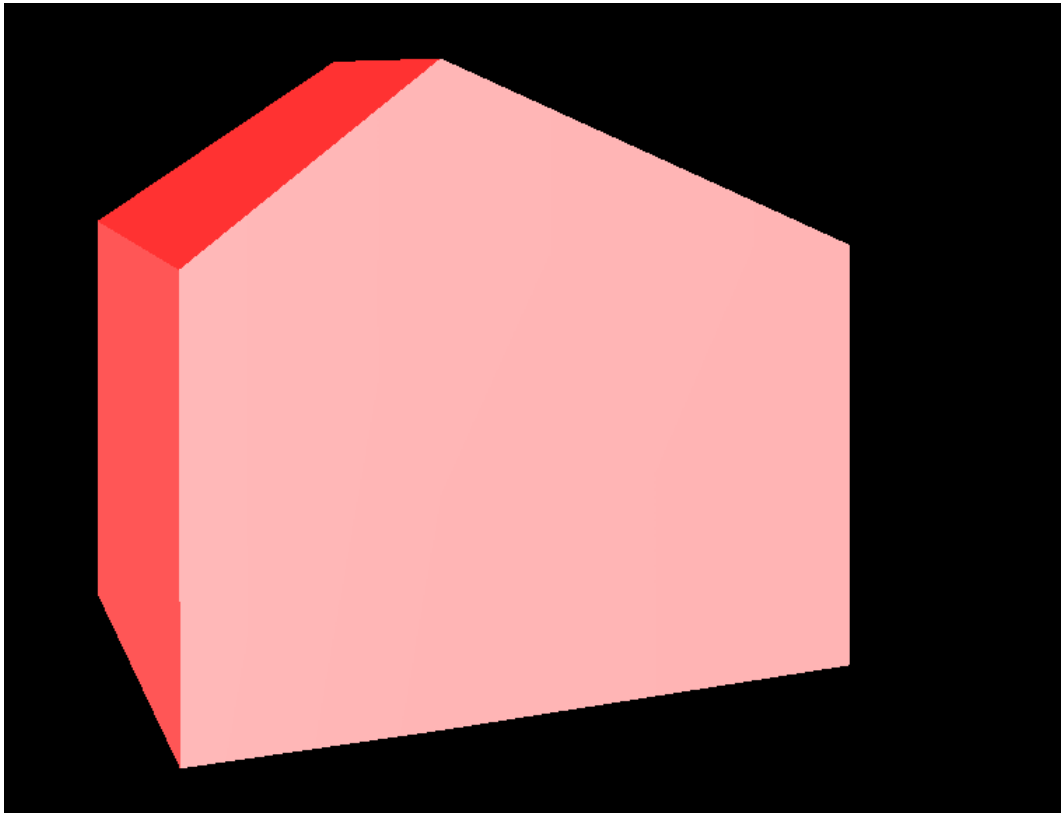


Abbildung 4.10: Ungeeignete Farbkomponenten zur Kodierung quantitativer Merkmale

quantitative Aussagen über dieses treffen kann. Die Festlegung der Werte der einzelnen Farbkomponenten erfolgte anhand empirischer Messungen. Eine optimalen Darstellung der Objekte fand bei einem `DiffuseColor` mit der Farbe  $(0.2f, 0.2f, 0.2f)$  und einem `SpecularColor` mit der Farbe  $(0.5f, 0.5f, 0.5f)$  statt.

Zusätzlich zur Darstellung qualitativer und quantitativer Merkmale eines Objekts dient die Farbe eines Objekts als Mittel zur Betonung dieses Objekts in der Karte. Ein farbiges Objekt inmitten nicht farbiger Objekte ist für den Nutzer sofort sichtbar und wird somit betont. Analog dazu kann zur negativen Betonung eines Objekts dieses transparent dargestellt werden. Dies geschieht über ein vom `Appearance`-Objekt einer Geometrie referenzierten `TransparencyAttributes`-Objekts. Anhand diesem können Objekte, die nicht

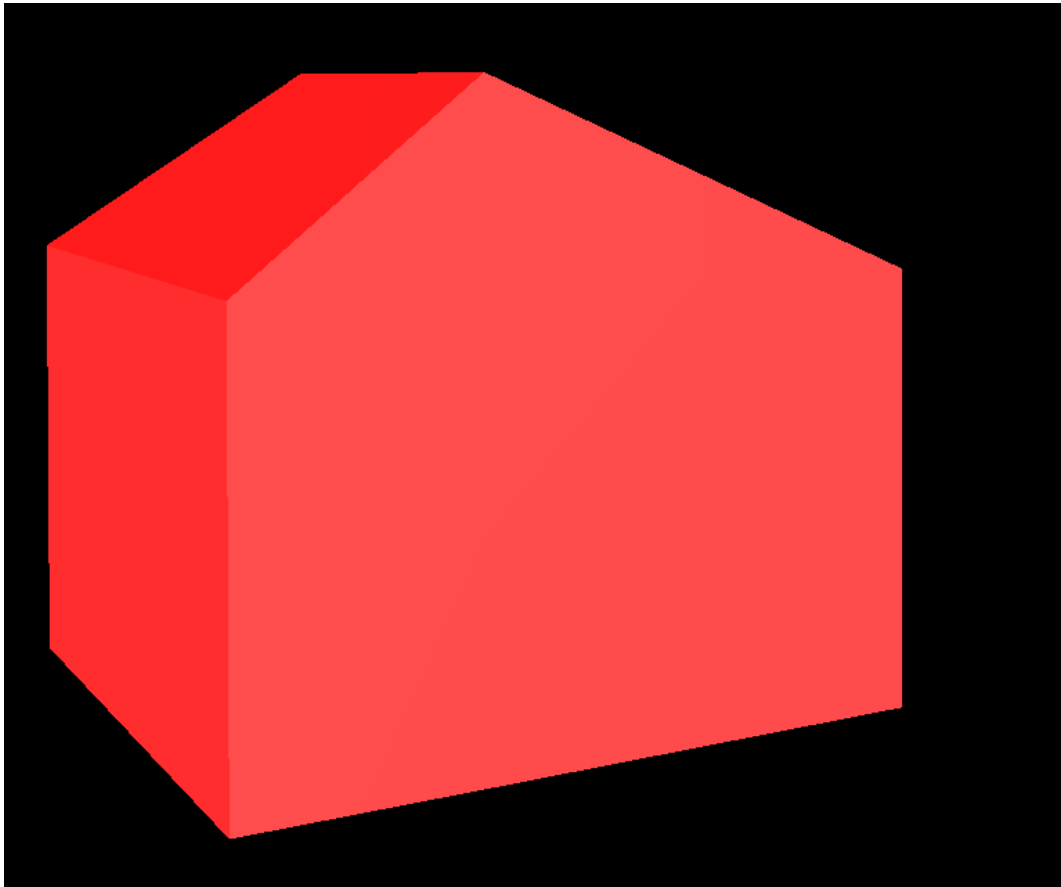


Abbildung 4.11: Geeignete Farbkomponenten zur Kodierung quantitativer Merkmale

im Interessensfokus des Nutzers liegen, optisch zurückgedrängt werden, ohne die geometrische Aussage der Karte zu beeinflussen (siehe Kapitel 3.1).

#### **4.7.2.4 Betonung und Verdrängung**

Im vorigen Abschnitt wurde ein Verfahren zur Betonung eines Objekts innerhalb der Karte aufgrund der Variation seiner Farbe vorgestellt. In diesem Abschnitt wird die Betonung im Sinne der kartographischen Generalisierung, also als Betonung durch Vergrößerung eines Objekts verstanden. Durch die Vergrößerung des Objekts wird der Gesamteindruck der Karte gestört. Der ursprüngliche Abstand zu den umgebenden Gebäuden wird reduziert, bei zu hoher Vergrößerung werden benachbarte Objekte überlappt (siehe Abbildung

4.12).

Um wieder ein der Realität entsprechendes Abbild innerhalb der Karte zu

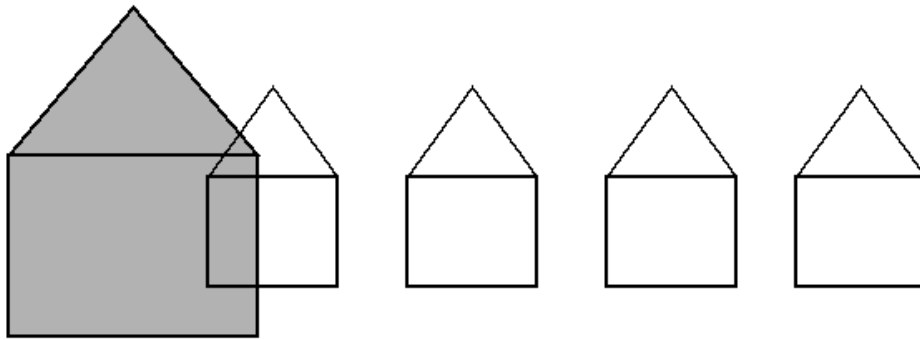


Abbildung 4.12: Problem der Überlappung bei Betonung von Objekten

erzeugen, werden die umgebenden Gebäude verdrängt, das heißt von ihrer ursprünglichen Position verschoben. Diese Verschiebung wirkt sich wiederum auf deren benachbarte Gebäude aus usw. Zur Lösung dieser Problematik wurde ein auf der Arbeit von Lichtner [3] basierendes Verfahren implementiert. Bei diesem wird um das betonte, also vergrößerte Objekt eine Verdrängungszone definiert. Innerhalb dieser Verdrängungszone werden die benachbarten Objekte verschoben. Außerhalb dieser Zone findet keine Verdrängung mehr statt. Um dieses zu erreichen, nimmt die Verdrängung ausgehend vom betonten Objekt zum Rand der Verdrängungszone linear ab, d.h. die Objekte in direkter Nachbarschaft werden stärker verschoben als die Objekte am Rand der Verdrängungszone (siehe Abbildung 4.13).

Dadurch, dass für sämtliche Eckpunkte des verdrängten Gebäudes die Verdrängung separat berechnet wird, findet zusätzlich zur Verdrängung eine Verkleinerung der verdrängten Objekte statt. Bei extremer Betonung eines Objekts wäre die Verzerrung der umgebenden Gebäude zu hoch und würde den Gesamteindruck der Karte erheblich stören. Zur Behebung dieser Problematik werden die Gebäude, deren Stauchung einen gewissen Schwellenwert überschreitet, aus der Karte entfernt. Als Schwelle wird der von Lichtner genannte Wert von 9%, der eine für den Nutzer relativ unauffällige Stauchung

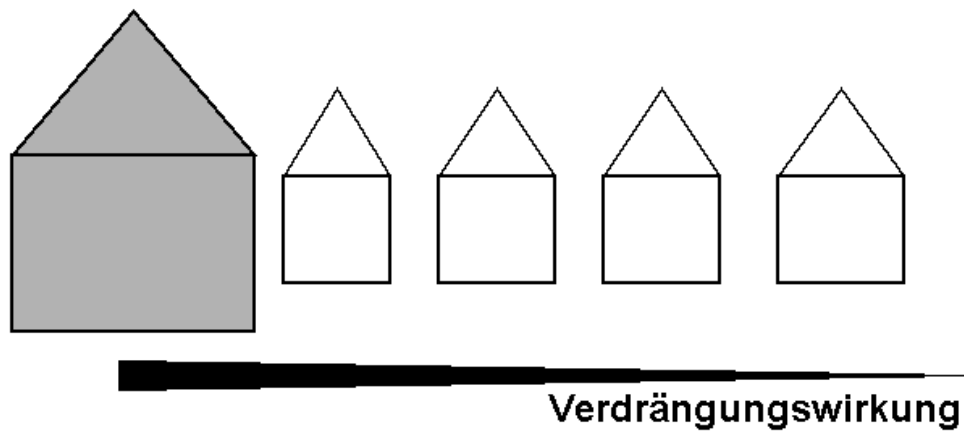


Abbildung 4.13: Verdrängungswirkung ausgehend von einem betonten Objekt

darstellt, verwendet.

#### 4.7.2.5 Darstellungsstufen eines Objekts

Im Gegensatz zur Betonung eines Objekts kann dieses innerhalb der Karte auch geometrisch abgeschwächt werden. Objekte, die nicht im Interessenfokus des Nutzers liegen, werden somit optisch zurückgedrängt. Weiterhin dient die Abschwächung zur Reduktion der Komplexität eines Objekts und wird zur Generierung einer Karte für ein mobiles Endgerät somit als wirksames Mittel verwendet. Innerhalb dieser Arbeit wurde die Darstellung eines Objekts in drei unterschiedlichen Darstellungsstufen (sogenannte *Level of Detail*, *LOD*) realisiert. Ein Objekt mit LOD 0 besitzt den höchsten Detaillierungsgrad, seine Geometrie wird ohne geometrische Abstraktion angezeigt, somit findet keine weitere Operation auf Szenengraphenebene statt.

Bei der Darstellung mit LOD 1 wird der Hüllquader des Objekts in der Karte angezeigt, seine eigentliche Form ist nicht mehr erkennbar, die Information über dessen Ausdehnung und Position im Raum bleibt weiterhin erhalten. Auf Szenengraphenebene wird dazu die ursprüngliche Geometrie aus dem Szenengraphen entfernt und der Hüllquader als neues Objekt in den Szenen-

graphen eingehängt und in der `FeatureTable` als Objekt des Szenengraphen registriert.

Die einfachste Form der Darstellung, aber auch die Form mit der geringsten Darstellung liefern Objekte mit LOD 2. Bei diesen wird nur noch ihre räumliche Lage durch eine Kugel repräsentiert, die an der Position ihres Zentrums positioniert wird. Die Vorgänge auf Szenengraphenebene finden analog zu LOD 1 statt.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der Komplexität der Karte bildet das Zusammenfassen mehrerer gleichwertiger Gebäude. Dieser Generalisierungsvorgang wird sowohl zur Darstellung der Zusammengehörigkeit mehrerer Objekte – z.B. den Häusern einer Reihenhaussiedlung oder den einzelnen Gebäuden eines Firmengeländes – als auch zur Einhaltung der Mindestdarstellungsgröße der dargestellten Objekte eingesetzt. Befinden sich Objekte in einer hohen Entfernung zur virtuellen Kamera, werden diese in einem kleinen Maßstab dargestellt, wird dabei die erforderliche Mindestdarstellungsgröße unterschritten, werden sie mit den Objekten ihrer Umgebung zusammengefasst. Die neu entstandene Geometrie wird dabei als neue Geometrie in den Szenengraphen eingehängt und registriert.

## 4.8 Visualisierung der Karte

Durch Anwendung der kartographischen Gestaltungsmittel und Abstraktion der Objekte ist eine nutzer- und aussageoptimierte Karte entstanden. Diese liegt zu diesem Zeitpunkt noch auf dem Server vor und muss zur endgültigen Visualisierung an die Darstellungsschicht, d.h. an den Client übermittelt werden. Dazu steht eine Vielzahl von Formaten zur Übermittlung und Beschreibung der Daten zur Verfügung. In dieser Arbeit wurden prototypisch drei unterschiedliche Formate implementiert. Diese optimieren die Darstellung der Daten auf drei unterschiedlichen Typen von Endgeräten:

Zur Darstellung der Daten auf einem leistungsfähigen Personal Computer oder Notebook wird der Java 3D Szenengraph vom Server auf den Client übermittelt und diesem innerhalb eines Applets zur Verfügung gestellt.

Zur Visualisierung auf modernen, performanten Mobiltelefonen, welche die



Darstellung dreidimensionaler Geometrien ermöglichen, erfolgt eine Konvertierung des Java 3D Szenengraphen in einen M3G Szenengraphen zur Visualisierung der Daten auf dem mobilen Endgerät.

Für leistungsärmere Endgeräte wird aus dem Szenengraphen eine statische Grafik zur Anzeige auf dem Endgerät erzeugt.

Sämtlichen dieser Übertragungsformaten ist gemein, dass der Zugriff des Clients auf die bereitgestellten Dateien über das HTTP-Protokoll erfolgt. Durch die Verwendung dieses Standardprotokolls und der Bereitstellung der Daten in drei unterschiedlich komplexen, durch frei verfügbare Software darstellbaren Formaten, wird die optimale Darstellung der Karte auf unterschiedlichen Endgeräten ermöglicht.

#### **4.8.1 Visualisierung als Java 3D Applet**

Zur Übermittlung der Daten an den Client wird der komplette Szenengraph mit den kartographischen Objekten und den `Behavior`-Objekten zur Navigation innerhalb der Szene mit Hilfe der Klassen des Java 3D-Pakets `com.sun.j3d.utils.scenegraph.io` serialisiert, d.h. in eine Datei umgewandelt, die sämtliche Objekte und deren Membervariablen enthält. Diese Datei wird anschließend über das Internetprotokoll HTTP an den Client übertragen und dort in einem Java Applet, welches vom Kartographie-Server zur Verfügung gestellt wird, dargestellt. Die Darstellung innerhalb eines Applets bietet den Vorteil, dass die graphische Oberfläche, die zur Anzeige des Szenengraphen benötigt wird, nicht über ein separates Programm erstellt werden muss, sondern bereits im Applet enthalten ist und innerhalb eines Browserfensters angezeigt wird. Die Karte kann somit auf jedem Rechner, auf dem Java und die Java 3D API installiert ist, ohne zusätzliche Programme angezeigt werden.

#### **4.8.2 Visualisierung als Mobile 3D Graphics Midlet**

Zur Darstellung der Daten auf modernen, leistungsfähigen Mobiltelefonen, die zur Darstellung dreidimensionaler Grafiken geeignet sind (siehe Abbildung 4.14), wird die Mobile 3D Graphics API verwendet. Da derzeit noch



Abbildung 4.14: Darstellung der Karte auf einem mobilen Endgerät

keine Anwendung zur Konvertierung des Java 3D Szenengraphen und dessen Objekten in einen M3G Szenengraphen existiert, wird zur Übertragung der Kartenobjekte an das mobile Endgerät XML eingesetzt. Dazu wird die Baumstruktur des optimierten Java 3D Szenengraphen auf dem Server traversiert und in ein XML-Dokument abgebildet. Dieses XML-Dokument wird dem Nutzer auf dem Server zur Verfügung gestellt. Im Unterschied zur Visualisierung des Szenengraphen innerhalb eines Java-Applets, muss auf dem Endgerät sowohl ein XML-Parser zum Auslesen des XML-Dokuments als auch eine geeignete Applikation (ein sogenanntes Midlet) zur Interpretation der Daten und Generierung des M3G Szenengraphen installiert sein. Eine solche Anwendung wurde im Rahmen dieser Arbeit realisiert. Diese liest mit Hilfe des Parsers das XML-Dokument aus und erzeugt anhand dessen Elementen wieder eine Szenengraphenstruktur. Betrachtet man die Tatsache, dass die M3G-API von führenden Unternehmen im Mobilfunksektor entwickelt wurde, ist davon auszugehen, dass sich diese API zur Darstellung drei-

dimensionaler Daten auf mobilen Endgeräten in diesem Sektor als Standard durchsetzen wird und somit in Zukunft Werkzeuge zur serverseitigen Generierung von M3G-Szenengraphen zur Verfügung stehen. Der derzeit noch bestehende Widerspruch zwischen dem Konzept dieser Arbeit, also der Trennung von Client und Server durch Nichtverwendung spezifischer Software, wäre damit aufgehoben.

### 4.8.3 Visualisierung als statische Grafik

Zur Darstellung der Karte auf einem mobilen Endgerät geringer Performanz wird der Java 3D Szenengraph in eine statische Grafik konvertiert, in der der Nutzer im Unterschied zu den vorangegangenen Darstellungsformaten seine Position und Blickrichtung nicht ändern kann. Dazu wird aus der in den Client-Parametern definierten Position und Orientierung der virtuellen Kamera eine „Aufnahme“ der generierten Karte erzeugt. Dies erfolgt durch das sogenannte *off-screen rendering*. Dabei wird das `Canvas3D`, auf welches die von der virtuellen Kamera erfassten Objekte gezeichnet werden, nicht auf dem Monitor dargestellt. Stattdessen werden die Bildinformationen durch Aufruf der Methode `renderOffScreenBuffer` in ein `ImageComponent2D`, also in eine Java-Repräsentation einer Grafik, geschrieben. Durch die Java-Klasse `JPEGImageEncoder` des Java-Pakets `com.sun.image.codec.jpeg` wird diese Grafik in das JPEG-Bildformat konvertiert. Dieses wird aufgrund der hohen Kompression und der damit verbundenen geringen Dateigröße eingesetzt, um die Übertragungszeit der Karte vom Server an das Endgerät möglichst gering zu halten und gleichzeitig den Ressourcenverbrauch auf diesem zu minimieren. Der Zugriff des Clients auf die erzeugte Bilddatei erfolgt über HTTP.

Da es sich bei der erzeugten Grafik um eine statische Karte handelt, ist der Nutzer der Karte an das serverseitig generierte Bild gebunden. Dieser Nachteil wird dadurch minimiert, dass der Nutzer die gewünschte Position und Orientierung der virtuellen Kamera anhand der Client-Parameter vor Erzeugen der Karte bestimmen kann. Dadurch liefert ihm das erzeugte Bild eine optimale Ansicht der dreidimensionalen Objekte seiner Umgebung. Aufgrund der freien Festlegbarkeit der Blickrichtung und der Darstellung

dreidimensionaler Objekte, liefert ihm diese Form der Karte einen höheren Informationsgehalt und eine höhere Nutzeranpassung als eine herkömmliche zweidimensionale Karte.

## 4.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Verfahren vorgestellt, welches es ermöglicht, Objekte aus einer Geodatenbank durch Kartengraphik und Methoden der kartographischen Generalisierung nutzeroptimiert darzustellen. Dazu wird eine dreischichtige Architektur vorgestellt, welche formal die an der Visualisierung einer Karte beteiligten Komponenten beschreibt. Auf oberster Schicht befindet sich der Nutzer mit technischen und inhaltlichen Anforderungen an die Karte, auf unterster Schicht befinden sich die Datenquellen, die die Basis der Karte bilden. Zwischen diesen beiden Schichten arbeitet der entwickelte Kartographie-Server. Dieser erzeugt aus den „Rohdaten“ der Datenquelle durch Anwendung kartographischer Gestaltungsmittel eine Karte, welche exakt an die Interessen des Nutzers angepasst ist und ihm somit die für ihn relevanten Informationen liefert. Dabei werden die Objekte der Karte so abstrahiert, dass sie auf dem vom Nutzer verwendeten Endgerät optimal dargestellt werden können und somit dem Nutzer in kürzester Zeit die gewünschte Information übermitteln. Zur Demonstration dieser Endgerätemanpassung wurde für drei unterschiedlich performante Typen von Endgeräten eine optimierte Karte generiert.

# Kapitel 5

## Zusammenfassung und Ausblick

### 5.1 Ergebnisse der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Visualisierungssystem zur Darstellung von Geodaten entwickelt. Dieses System ermöglicht es, durch Anwendung kartographischer Gestaltungsmittel die Darstellung der Karte zu optimieren. Die für einen Nutzer relevanten Objekte einer Karte werden optisch hervorgehoben, für ihn uninteressante Informationen werden herausgefiltert. Dadurch wird es dem Nutzer ermöglicht, relevante Daten in kürzester Zeit aus der Karte abzuleiten.

Die Optimierung der Daten erfolgt dabei sowohl unter Berücksichtigung der vom Nutzer erwünschten thematischen Aussage der Karte als auch unter Berücksichtigung des von ihm verwendeten Endgeräts zur Visualisierung. Dies wird durch die Anwendung kartographischer Abstraktionsverfahren auf die Objekte der Karte erreicht. Diese ermöglichen es, gewünschte Objekte zu betonen und irrelevante Objekte durch Vereinfachung zu minimieren. Die Karte wird somit in ihrer Komplexität reduziert, ohne an Inhalt zu verlieren. Die Anwendung der Abstraktionsverfahren wird dabei so gewählt, dass die Karte den maximalen Informationsgehalt bei gleichzeitig minimierter Systembelastung des sie darstellenden Endgeräts liefert.

Durch Verwendung offener Protokolle und Sprachen zur Generierung und Visualisierung der Karte wird die Systemunabhängigkeit zwischen den ein-

zelenen beteiligten Komponenten erzielt. Der Nutzer des Servers ist also nicht an ein bestimmtes Endgerät oder an die Installation spezifischer Software gebunden. Sowohl der Zugriff auf den Server als auch die Darstellung der Karte ist für mehrere Kategorien von Endgeräten realisiert worden.

Weiterhin wurde eine strikte Trennung zwischen den Datenquellen und der Visualisierungsplattform geschaffen. Mit Ausnahme der definierten Schnittstelle arbeitet die Visualisierungsplattform unabhängig von der darunter liegenden Datengrundlage.

Durch diese Trennung der einzelnen an der Visualisierung beteiligten Schichten wurde die strukturelle Unabhängigkeit und somit die Austauschbarkeit und Erweiterbarkeit der einzelnen Komponenten realisiert.

## 5.2 Anregungen und Erweiterungen

Um die entwickelte Plattform effektiver nutzen zu können, sind einige Erweiterungen und Verbesserungen denkbar. Bei Testläufen fiel auf, dass selbst auf leistungsfähigen Endgeräten mit hardwarebasierter Grafikkbeschleunigung die Objekte der Karte artefaktbehaftet dargestellt wurden. Dies ließ sich auch durch die Minimierung der Komplexität der Karte nicht beseitigen. Es wird somit angeregt, die Ursachen dieser Artefakte zu untersuchen und zur ein verfahren zur störungsfreien Darstellung der Karte zu entwickeln.

Sinnvoll ist auch die Anbindung zusätzlicher Datenquellen über die entwickelte erweiterbare Schnittstelle zur Visualisierungsplattform. Anhand dieser könnte die Aktualität und somit der Aussagegehalt der Karte beträchtlich gesteigert werden.

Die Erstellung des XML-Dokuments zur Kommunikation zwischen dem Client und dem Server wurde in dieser Arbeit nur prototypisch „per Hand“ umgesetzt. Denkbar wäre die Entwicklung eines Verfahrens zur Klassifikation unterschiedlicher Nutzergruppen. Für jede Nutzergruppe könnte ein Profil erzeugt werden, anhand dessen diese Nutzergruppe und deren Voraussetzungen identifiziert werden könnten. Durch diese Identifikation könnten die für diese Nutzergruppe am besten geeigneten Gestaltungsmittel und Generali-

sierungsverfahren zur Optimierung der Karte ihren Einsatz finden.

Weiterhin denkbar ist besonders im Bereich mobiler Endgeräte die Verbindung von Verfahren zur Positionsbestimmung mit der Visualisierungsplattform. In Kombination mit der Anbindung zusätzlicher, regelmäßig aktualisierter Datenquellen könnten dem Nutzer aktuelle, positionsabhängige Informationen innerhalb der Karte zur Verfügung gestellt werden.

Ein Problem bei der automatischen Generalisierung einer hohen Anzahl von Objekten stellt die Rechenzeit dar. Um – besonders im Katastrophenfall – die Zeit zur Generierung der Karte zu minimieren, wäre die Anbindung einer Multirepräsentationsdatenbank (MRDB) wünschenswert. Da in einer solchen Datenbank bereits unterschiedlich abstrahierte Repräsentationen der einzelnen Geometrien vorhanden sind, kann die Darstellung der Objekte ohne zeitaufwendige Berechnung von Generalisierungsalgorithmen verändert werden.

Die semantische Bedeutung eines Objekts, die zur Berechnung dessen Eignung als Landmarke benötigt wird, wurde für diese Arbeit anhand der subjektiven Meinung des Verfassers in die Datenbank eingegeben. Sinnvoll wäre die Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Bestimmung der semantischen Bedeutung eines Objekts.

# Anhang A

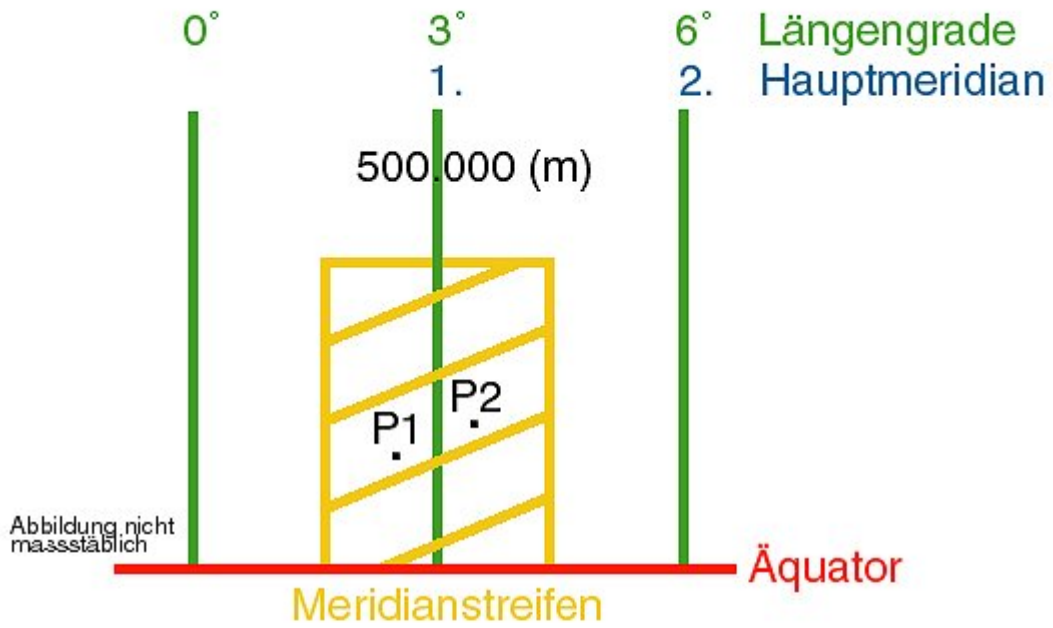
## Gauss-Krüger Koordinaten

Bei Gauss-Krüger Koordinaten handelt es sich um rechtwinklige ebene, d.h. zweidimensionale Koordinaten. Diese bestehen aus Rechts- und Hochwert, eine Angabe über die Höhe über dem Meeresspiegel erfolgt nicht. Die Abbildung der näherungsweise kugelförmigen Oberfläche der Erde anhand der durch die Gauss-Krüger Koordinaten beschriebenen Ebene führt zu Verfälschungen der Längen-, Winkel- und Flächentreue. Zur Minimierung dieser Verzerrungen wird der Rechtswert in seiner Ausdehnung begrenzt. Dazu werden Streifen in der Breite von drei Längengeraden gebildet (Meridianstreifensystem). Dabei bezeichnet der Rechtswert den senkrechten Abstand der Position vom Hauptmeridian. Zur Vermeidung negativer Rechtswerte ist der Rechtswert auf dem Hauptmeridian nicht 0 sondern 500000.

Der Hochwert bezeichnet die Entfernung eines Punktes vom Äquator. Als Längeneinheit wird bei Gauss-Krüger Koordinaten der Meter verwendet.



# Gauss-Krüger Koordinaten



	<u>P1</u>	<u>P2</u>
Rechtswert	14 <sub>12863</sub> 87,137 km westlich 3° (500.000-412.863)	15 <sub>87137</sub> 87,137 km östlich 3°
Hochwert	53 <sub>28145</sub> 5328,145 km nördlich des Äquators	54 <sub>71321</sub> 5471,321 km nördlich des Äquators

Heike Ulmer

Abbildung A.1: Gauss-Krüger Koordinaten (Quelle: [39])

# Literaturverzeichnis

- [1] Holweg, Daniel; Jasnoch, Uwe:  
GIS-Unterstützung im Katastrophen- und Notfallmanagement  
Deutsche Gesellschaft für Kartographie, Kartographische Schriften.  
Band 7: Visualisierung und Erschließung von Geodaten. Beiträge des  
Seminars GEOVIS 2003, 27.-28. Februar 2003, Hannover, 133-140
- [2] Zipf, Alexander; Leiner, Richard:  
Anforderungen an mobile Geo-Datenbanken für Katastropheninfor-  
mations und -warnsysteme.  
MDBIS Workshop „Datenbankmechanismen für mobile Anwendungen“  
der Gesellschaft für Informatik (GI). Arbeitskreis Mobile Datenbanken  
und Informationssysteme (MDBIS). 10.-11.04.2003. Karlsruhe.
- [3] Lichtner, W.:  
Ein Ansatz zur Durchführung der Verdrängung bei der EDV-gestützten  
Generalisierung in topographischen Karten.  
WissArbUH, Nr. 66  
Hannover, 1976
- [4] Das Net-Lexikon  
<http://www.net-lexikon.de>
- [5] Emergency Management in the United States  
Livestock in Disasters / Unit 4  
Federal Emergency Management Agency (FEMA)  
[http://training.fema.gov/emiweb/downloads/is111\\_Unit%204.pdf](http://training.fema.gov/emiweb/downloads/is111_Unit%204.pdf)

- [6] deutsches Notfallvorsorge-Informationssystem deNIS  
<http://www.denis.bund.de>
- [7] Federal Emergency Management Agency (FEMA)  
<http://www.fema.gov>
- [8] Klein, Ulrich; Opierzynski, Ralf:  
 Emergency Management als Anwendungsfeld innovativer Informations-  
 technologien: Nutzung von Synergiepotentialen raum-zeitlicher Analy-  
 sewerkzeuge  
 Projektbericht Fabrikökologie  
 Fraunhofer IFF  
 Institut Fabrikbetrieb- und automatisierung  
<http://www.iff.fhg.de/de/forschung/10971.htm>
- [9] Leitinger, Sven H.:  
 GIS im Einsatz- und Katastrophenmanagement  
 Geo-Kolloquium  
 KF Uni Graz  
 Institut für Geographie und Raumforschung  
 Mai 2003  
[http://kfunigraz.ac.at/geowww/fernerkundung/site/gfe\\_start/geo\\_kolloquium/pdf/leitinger](http://kfunigraz.ac.at/geowww/fernerkundung/site/gfe_start/geo_kolloquium/pdf/leitinger)
- [10] Mehrsprachiges Wörterbuch kartographischer Fachbegriffe  
 International Cartographic Association, Commission II.  
 Chairman: E. Meynen. - Wiesbaden : Steiner, 1973.  
 LXXXIII, 573 S. ; 29 cm
- [11] Hake, Günther:  
 Kartographie  
 1. Allgemeines, Erfassung der Informationen, Netzentwürfe, Gestal-  
 tungsmerkmale, topographische Karten.  
 6., neubearb. Auflage  
 Sammlung Göschen; 2165  
 de Gruyter, 1982

- [12] Sun Microsystems  
<http://www.sun.com>
- [13] Lutz, Monika; Emmel, Sonja:  
cliXX Java 3D - Der Grundkurs  
Verlag Harri Deutsch  
Frankfurt a.M., 2000
- [14] Selman, Daniel:  
Java 3D Programming  
Manning  
Greenwich, 2002
- [15] Bouvier, Dennis J.:  
Getting Started with the Java 3D API  
<http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/>
- [16] OpenGL - The Industry's Foundation for High Performance Graphics  
<http://www.opengl.org>
- [17] Robinson, Arthur H.; Morrison, Joel L.; Muehrcke, Phillip C.; Kimerling,  
A. Jon; Guptill, Stephen C.:  
Elements of Cartography  
Sixth Edition  
John Wiley & Sons, Inc., 1995
- [18] GIS und Internet-Tutorial  
<http://www.gis-tutor.de>
- [19] Artimo, Kirsi:  
The Bridge Between Cartographic and Geographic Information Systems,  
1994  
In MacEachren, A.M. and D.R.F. Taylor, (eds):  
„Visualization in Modern Cartography“  
Elsevier Science Ltd., Oxford, 1994, S. 45-62.

- [20] Pressman, Roger S.:  
Software Engineering: A Practitioners Approach  
3rd ed., McGraw Hill, 1992
- [21] Interaktive Triangulation  
Conzett, R.; Frank, A.; Misslin, C.  
VIII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung  
Zürich, 1980  
<ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/frank/rcafcmkurs80.pdf>
- [22] TellMaris website  
<http://www.tellmaris.com>
- [23] Location aware Visually Enhanced Ubiquitous Services)  
<http://loveus.intranet.gr>
- [24] Meng, Liqiu:  
Automatic Generalization of Geographic Data  
VBB Viak, 1997  
<http://129.187.92.218/publications/meng/paper/generalization1997.pdf>
- [25] Dr. Conrad, Catherine T.:  
Principles of Cartography  
Lecture, Saint Mary's University, Halifax, CA, 2002  
<http://husky1.stmarys.ca/ccconrad/336/webpage.htm>
- [26] Niemelä, Osmo  
Cartographic Generalization as Seen from the Point of View of Topographic Maps  
40th Anniversary Meeting - Keynote Lecture February 2, 1997  
Cartographic Society of Finland  
<http://www.kartogra.fi/niemela-generalization.htm>
- [27] Galanda, Martin:  
Automated Polygon Generalization in a Multi Agent System  
Dissertation, Zürich 2003

[http://www.carto.net/papers/martin\\_galanda/  
martin\\_galanda\\_polygon\\_generalization.pdf](http://www.carto.net/papers/martin_galanda/martin_galanda_polygon_generalization.pdf)

- [28] Sietmann, Richard:  
PDAs voll im Trend  
heise online news, 03.01.2001  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/14220>
- [29] PDA-Markt im Sturzflug  
heise mobil, 24.07.2002  
<http://www.heise.de/mobil/newsticker/meldung/29342>
- [30] Studie: Smartphone-Verkäufe übertreffen Handhelds  
heise online news, 25.03.2003  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/35620>
- [31] Coors, Volker:  
Dreidimensionale Karten für Location Based Services.  
in: Zipf/ Strobl (Eds.) Geoinformation mobil, Wichmann, S. 14-25, 2002.
- [32] Vonhoegen, Helmut:  
Einstieg in XML  
Galileo Press GmbH, Bonn, 2002
- [33] Elias, Birgit; Hampe, Mark:  
Kontextbezogene Kartengenerierung für Routing-Anwendungen Technical Paper, Workshop Design kartenbasierter mobiler Dienste, Mensch und Computer 2003, Stuttgart, 09.09.03.
- [34] Raubal, Martin; Winter, Stephan:  
Enriching Wayfinding Instructions with Local Landmarks  
In: Egenhofer, Max J.; Mark, David M. (Eds.)  
Geographic Information Science.  
Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2478.  
Springer, Berlin, S. 243-259
- [35] Coors, Volker:  
Graphical Abstraction and Progressive Transmission in Internet-based

3DGeoinformationssysteme

Dissertation

Darmstadt, 2003

- [36] Bader et al.:  
AGENT Workpackage D2 - Selection of Basic Algorithms  
Technical Report, Department of Geography, University of Zurich  
Zürich, 1999
  
- [37] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)  
<http://www.adv-online.de>
  
- [38] Java 3D Specification  
<http://java.sun.com/products/java-media/3D/reference/api/index.html>
  
- [39] Gauss-Krüger Koordinaten  
<http://www.geologie.uni-freiburg.de/root/blackboard/karten/gauss-k.html>
  
- [40] Mobile 3D Graphics API Specification  
<http://jcp.org/en/jsr/detail?id=184>
  
- [41] Schilling, Arne; Coors, Volker:  
3D Maps on Mobile Devices  
[www.tellmaris.com/pdf/mobile\\_maps.pdf](http://www.tellmaris.com/pdf/mobile_maps.pdf)