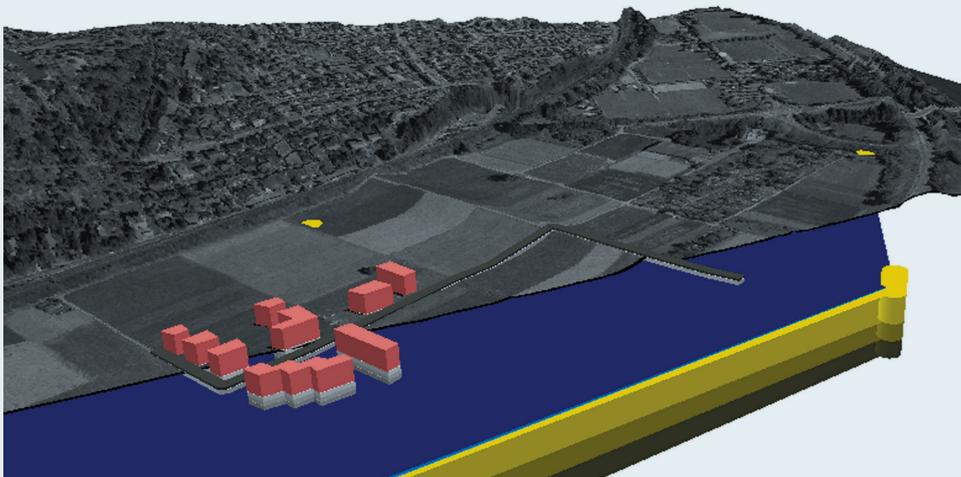


Désirée Hilbring

## 3D-GIS Visualisierung in der Umweltinformatik





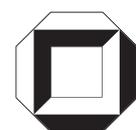
Désirée Hilbring

## **3D-GIS Visualisierung in der Umweltinformatik**



# **3D-GIS Visualisierung in der Umweltinformatik**

von  
Désirée Hilbring



---

universitätsverlag karlsruhe

Dissertation, genehmigt von der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und  
Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 2005  
Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Hans-Peter Bähr  
Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Martin Breunig

## **Impressum**

Universitätsverlag Karlsruhe  
c/o Universitätsbibliothek  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe  
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz  
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2005  
Print on Demand

ISBN 3-937300-83-X

# 3D-GIS Visualisierung in der Umweltinformatik

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTOR-INGENIEURS  
von der Fakultät für  
Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften  
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)  
genehmigte  
DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Désirée Hilbring  
aus Offenburg

Tag der mündlichen Prüfung: 25.07.2005

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Hans-Peter Bähr

Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Martin Breunig

Karlsruhe 2005



## Kurzfassung

3D-Visualisierungen werden heutzutage in vielen verschiedenen Gebieten eingesetzt. Ein großer Vorteil der 3D-Visualisierung ist, dass sie komplexe räumliche Zusammenhänge leicht verständlich darstellen kann. Die Motivation dieser Arbeit war, Eigenschaften von 3D-Visualisierungen auf ihren Nutzen im Zusammenhang mit der Visualisierung von umweltrelevanten Daten zu untersuchen und generische Lösungsmöglichkeiten für die Realisierung von 3D-Visualisierungen in Umwelthanwendungen zu entwickeln.

Basierend auf der Untersuchung bestehender 3D-Umweltvisualisierungen wurde ein Datenmodell entwickelt, das wesentliche Objekte enthält, die für die Visualisierung von umweltrelevanten Daten benötigt werden. Dieses Datenmodell unterscheidet einfache Geometrieobjekte von Darstellungsobjekten und fachbezogenen Objekten, die durch die Kombination von Geometrieobjekten entstehen können. Das Modell ist so aufgebaut, dass es mit weiteren Objekten ergänzt werden kann, um neuen Herausforderungen gerecht zu werden.

Ausgehend von diesem Datenmodell wurde ein 3D-Visualisierungssystem für die Realisierung von Umwelthanwendungen entwickelt: *GISterm 3D*. Wichtig für ein solches System sind, neben der Darstellung der 3D-Objekte in einer 3D-Szene, die mit Hilfe des Datenmodells realisiert wird, die Möglichkeiten für die Analyse dieser Szene. Deshalb wurden Interaktionsfunktionen entwickelt, die die 3D-Szene visuell manipulieren können. Abhängig von der Komplexität der Anwendungen können die Interaktionsfunktionen flexibel an die zu entwickelnden 3D-Umwelthanwendungen angepasst werden.

*GISterm 3D* wurde anhand der Entwicklung von zwei unterschiedlich komplexen Beispielanwendungen getestet: *DEMViewer* und *GeoPro<sup>3D</sup>*.

Der *DEMViewer* ist eine Anwendung für die dreidimensionale Visualisierung der Geländeoberfläche. Das Gelände kann mit individuell erzeugten Karten, die Umweltinformationen enthalten, überlagert werden. Die Bedienung des *DEMViewer*s ist auch für Laien leicht verständlich und führt den Nutzer der Anwendung schnell zum Ziel.

Im Gegensatz dazu wurden die komplexeren Funktionen von *GISterm 3D* in *GeoPro<sup>3D</sup>* getestet. *GeoPro<sup>3D</sup>* ist eine fachbezogene Umwelthanwendung für die dreidimensionale Visualisierung von Baugebieten im Zusammenhang mit der Visualisierung von Grundwasserschichten. Durch die visuelle Kombination der Objekte in der 3D-Szene können Konflikte zwischen Gebäuden und der vorliegenden Grundwassersituation entdeckt werden. Die entstandene 3D-Szene kann mittels verschiedenartiger Interaktionsfunktionen, wie dem Ausschneiden relevanter Szenenteile oder der Erzeugung von 2D-Profilschnitten, visuell analysiert werden.

Beide Anwendungen werden erfolgreich in Komponenten des Umweltinformationssystems von Baden-Württemberg eingesetzt.

Die beiden Beispielanwendungen verdeutlichen einerseits, dass 3D-Visualisierungen geeignet sind, das Verständnis von umweltrelevanten Zusammenhängen zu erhöhen. Andererseits konnte gezeigt werden, dass sich *GISterm 3D* für die Entwicklung von verschiedenartigen 3D-Umwelthanwendungen eignet. Durch den generischen Aufbau des Datenmodells, das bei Bedarf mit neuen Objekten erweitert werden kann, ist *GISterm 3D* auch für zukünftige Anforderungen neuer Anwendungen ausgelegt.

## Abstract

Three-dimensional visualisations are well established today. They are used in many fields and are able to improve the understanding of spatial coherences. The focus of this work is the analysis of environmental data. The goal is to investigate the value of three-dimensional visualisations in the field of environmental applications and to develop generic solutions.

Based on the analysis of existing three-dimensional environmental applications, a data model was developed. It contains essential objects for the visualisation of environmental data and distinguishes between geometric objects, illustration objects and technical objects. The technical objects are created using the geometric objects. For solving new challenges, it is possible to extend the data model with additional objects.

For the implementation of environmental applications a three-dimensional visualisation system was developed. The system, called GISterm 3D, applies the data model and has to fulfil two important tasks. Firstly, it has to manage the visualisation of the 3D-objects contained in the data model in a three-dimensional virtual scene. Secondly, it needs tools for the analysis of the 3D-scene. Thus, an interaction concept was developed. With the available interaction functions it is possible to adapt the system to the demands of different environmental applications.

For the test of GISterm 3D two different example applications were developed: the *DEM-Viewer* and *GeoPro<sup>3D</sup>*.

The *DEMViewer* is an application for the three-dimensional visualisation of the terrain surface. It is possible to superimpose the terrain with environmental maps, individually designed by the user of the application. The goal for the design of the *DEMViewer* handling was to develop an easy to use application, which quickly presents results.

In contrast to the *DEMViewer*, *GeoPro<sup>3D</sup>* uses the more complex interaction functions of GISterm 3D for the development of a technical environmental application. *GeoPro<sup>3D</sup>* visualises the ground water situation of a specified region. Due to the visual analysis of the scene with the developed interaction functions (clipping of relevant scene parts and creating two-dimensional cross direction profiles), it is possible to detect conflicts between buildings and the ground water table.

Both applications are successfully used in components of the Environmental Information System of Baden-Württemberg.

With the development of the example applications it was possible to show that three-dimensional visualisations are useful for improving the understanding of spatial coherences in environmental applications and that GISterm 3D is capable of the creation of different three-dimensional environmental applications. The generic structure of the data model, which can be extended by new objects, allows for the development of challenging new applications.

## Danksagung

Die folgenden Personen haben mich bei der Fertigstellung der Dissertation unterstützt:

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Bähr dem Leiter des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe als Hauptreferenten und bei Herrn Professor Breunig, der das Korreferat übernommen hat.

Weiterhin möchte ich Herrn Doktor Wiesel als Leiter des Projektes am Institut und als Diskussionspartner für die fachliche Durchführung des Projektes danken.

Die Durchführung des Projektes war nur möglich durch die Hilfe von Mitarbeitern der LfU, des UVM und weiterer beteiligter Personen aus dem AJA-Umfeld.

Bei der Entwicklung des Systems kamen hilfreiche Tipps und Hinweise von Bill Hibbard und Gernot Veith, mit denen der Kontakt über die VisAD- bzw. Java3D-Mailingliste zustande kam.

Außerdem möchte ich allen Kollegen in der E6 danken, die geduldig mit mir über Probleme diskutierten.

Schließlich noch einen ganz herzlichen Dank an alle, die Korrektur gelesen haben: Helge, Marina, meine Eltern, Uwe, Uli und Steffi.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Visualisierung . . . . .	2
1.3	Visualisierung in Anwendungen der Umweltinformatik . . . . .	3
1.4	Projekthintergrund . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Überblick über die Aspekte der 3D-Visualisierung</b>	<b>5</b>
2.1	Die Wissenschaft der Visualisierung . . . . .	5
2.2	Die Bedeutung der dritten Dimension für die Visualisierung . . . . .	8
2.2.1	Definition der Dimensionen . . . . .	9
2.2.2	Einsatzgebiete von 3D-Visualisierungen . . . . .	10
2.3	Der Erfahrungshorizont des Menschen . . . . .	11
2.4	3D-Geovisualisierung: Ein Spezialfall der 3D-Visualisierung . . . . .	14
2.4.1	Visualisierung von Geodaten in Geoinformationssystemen . . . . .	14
2.4.2	Merkmale der 3D-Geovisualisierung . . . . .	15
2.4.3	Anwendungen der 3D-Geovisualisierung . . . . .	16
2.5	Ableitung von Randbedingungen der 3D-Visualisierung in Umweltanwendungen . . . . .	18
2.5.1	Daten für 3D-Visualisierungen im Umweltbereich . . . . .	18
2.5.2	Der Visualisierungszweck . . . . .	18
2.5.3	Der Nutzer . . . . .	19
2.5.4	Transformation der Daten in ein Koordinatensystem . . . . .	19
2.5.5	Die Repräsentation . . . . .	19
2.5.6	Die Interaktion . . . . .	20

2.5.7	Der Visualisierungsprozess . . . . .	21
2.5.8	Die Software . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Technische Umsetzungen von 3D-Visualisierungen</b>	<b>22</b>
3.1	Graphik-Pipeline . . . . .	22
3.1.1	Koordinatensysteme . . . . .	23
3.1.2	3D-Datenmodelle . . . . .	23
3.1.2.1	Modellierung von Einzelobjekten . . . . .	24
3.1.2.2	Verwaltung der Einzelobjekte im Szenengraph . . . . .	27
3.1.2.3	Datenmodelle für die Speicherung von 3D-Daten in Datenbanken . . . . .	29
3.1.3	3D-Darstellungstechniken . . . . .	30
3.1.3.1	Das Kameramodell . . . . .	30
3.1.3.2	Das Rendering . . . . .	31
3.1.3.3	Farbe und Farbmodelle . . . . .	32
3.1.3.4	Schattierungsverfahren . . . . .	32
3.1.3.5	Texture Mapping . . . . .	33
3.1.3.6	Interaktion und Animation in der 3D-Szene . . . . .	34
3.2	Hardware für die 3D-Visualisierung . . . . .	35
3.2.1	Ausgabegeräte . . . . .	35
3.2.1.1	Standardmonitor . . . . .	35
3.2.1.2	Systeme für die Stereobetrachtung am PC . . . . .	35
3.2.1.3	Eintauchen in die virtuelle Welt - Virtual Reality mit HMD und CAVE . . . . .	36
3.2.1.4	Kombination mit der Wirklichkeit - Augmented Reality . . . . .	37
3.2.2	Eingabegeräte . . . . .	37
3.2.2.1	Tastatur . . . . .	38
3.2.2.2	Maus . . . . .	38
3.2.2.3	Joystick . . . . .	38
3.2.2.4	3D-Eingabegeräte . . . . .	38
3.2.2.5	Datenhandschuh . . . . .	39
3.2.2.6	Trackingsysteme . . . . .	39

3.3	Software für die 3D-Visualisierung . . . . .	39
3.3.1	Allgemeine 3D-Visualisierungssysteme . . . . .	40
3.3.1.1	Visualisierungsbibliotheken . . . . .	40
3.3.1.2	Graphiksysteme - Modellierung . . . . .	41
3.3.1.3	Generische Visualisierungssysteme . . . . .	42
3.3.2	Visualisierungssysteme mit Geobezug . . . . .	42
3.3.2.1	GI-Systeme mit 3D-Visualisierungskomponenten . . . . .	42
3.3.2.2	Systeme für Geländevisualisierung . . . . .	43
3.3.2.3	Systeme für geologische Schichtenmodellierung . . . . .	44
3.3.2.4	CAD-Systeme . . . . .	44
3.3.2.5	Spezielle Visualisierungssysteme mit Geobezug . . . . .	44
3.4	Kosten . . . . .	45
3.4.1	Hardware . . . . .	45
3.4.2	Software . . . . .	46
3.5	Grenzen heutiger 3D-Visualisierungen . . . . .	46
3.6	Komponenten für ein 3D-Umweltvisualisierungssystem . . . . .	48
3.6.1	Techniken für 3D-Umweltanwendungen . . . . .	48
3.6.2	Hardware für 3D-Umweltanwendungen . . . . .	48
3.6.3	Software für 3D-Umweltanwendungen . . . . .	49
<b>4</b>	<b>3D-Visualisierungen in Anwendungen der Umweltinformatik</b>	<b>51</b>
4.1	Informationssysteme in der Umweltinformatik . . . . .	51
4.2	Daten für die Umweltinformatik . . . . .	53
4.2.1	Geodaten . . . . .	53
4.2.2	Umweltrelevante Geofachdaten . . . . .	54
4.2.2.1	Umweltobjekte . . . . .	54
4.2.2.2	Daten in Umweltdatenkatalogen . . . . .	55
4.3	3D-Visualisierungsanwendungen in der Umweltinformatik . . . . .	56
4.3.1	Anwendungen für die Öffentlichkeit . . . . .	56
4.3.2	Anwendungen für Umweltexperten . . . . .	57

4.4	Schlussfolgerungen für das 3D-Visualisierungssystem für Umweltanwendungen . . . . .	65
<b>5</b>	<b>Datenmodell zur Realisierung von 3D-Visualisierungen für Umweltanwendungen</b>	<b>66</b>
5.1	Objekte für Umweltanwendungen . . . . .	66
5.1.1	3D-Objektgeometrien für Umweltanwendungen . . . . .	66
5.1.2	Darstellungsobjekte (Objekte zur Unterstützung der Darstellung)	69
5.1.3	Fachbezogene Objekte . . . . .	71
5.2	Aufbau eines 3D-Datenmodells . . . . .	75
5.2.1	Datenmodell der Objektgeometrien . . . . .	77
5.2.2	Datenmodell der Darstellungsobjekte . . . . .	79
5.2.3	Datenmodell der fachbezogenen Objekte . . . . .	81
5.2.4	Verwendung des Datenmodells . . . . .	86
<b>6</b>	<b>Implementierung - GISterm 3D</b>	<b>87</b>
6.1	Realisierung von GISterm 3D - Ein 3D-Desktop-GIS für Umweltanwendungen . . . . .	87
6.1.1	Ziel von GISterm 3D . . . . .	87
6.1.2	Technische Voraussetzung von GISterm 3D: GISterm . . . . .	87
6.1.3	Komponenten von GISterm 3D . . . . .	91
6.2	3D-Service . . . . .	92
6.2.1	Erzeugung der virtuellen Welt mit den notwendigen Grundfunktionen	93
6.2.1.1	Implementierung der virtuellen Welt mit Java 3D . . . . .	93
6.2.1.2	Integration der virtuellen Welt in ein 2D-GIS . . . . .	94
6.2.2	Inhalt für die virtuelle Welt . . . . .	96
6.2.2.1	Geometrie-Objekte . . . . .	96
6.2.2.2	Darstellungsobjekte . . . . .	97
6.2.2.3	Fachbezogene Objekte . . . . .	98
6.2.2.4	Positionierung der generierten Objekte . . . . .	104
6.2.2.5	Integration in den Szenengraph des 3D-Service . . . . .	105
6.2.3	Licht für die virtuelle Welt . . . . .	106
6.2.4	Interaktion in der virtuellen Welt . . . . .	108

6.2.4.1	Allgemeine Interaktionsarten . . . . .	109
6.2.4.2	3D-GIS-Interaktionen . . . . .	122
6.2.4.3	3D-UIS spezifische Interaktionsarten . . . . .	125
6.3	Integration digitaler Geländemodelle . . . . .	127
6.3.1	DGM-Tiler . . . . .	127
6.3.1.1	Datenvorverarbeitung . . . . .	127
6.3.1.2	Raster-Kachelung . . . . .	128
6.3.1.3	Implementierung . . . . .	128
6.3.2	Height-Service . . . . .	131
6.3.2.1	Entscheidung für ein passendes DGM . . . . .	131
6.3.2.2	Zugriff auf die DGM-Daten . . . . .	132
6.4	Überprüfung der Randbedingungen für 3D-Umweltvisualisierungen . . . . .	133
<b>7</b>	<b>Evaluierung des implementierten Systems anhand von 3D-Umweltanwendungen</b>	<b>135</b>
7.1	Implementierte 3D-Visualisierungsanwendungen im UIS Baden-Württemberg . . . . .	135
7.1.1	DEMViewer - Visualisierung digitaler Geländemodelle . . . . .	135
7.1.1.1	Anwendungsgebiete und Nutzertypen . . . . .	136
7.1.1.2	Datengrundlage . . . . .	137
7.1.1.3	Beschreibung des DEMViewers . . . . .	141
7.1.1.4	Technische Realisierung innerhalb von GIStern . . . . .	143
7.1.1.5	Ansätze zur Realisierung einer Internetversion des DEMViewers . . . . .	144
7.1.1.6	Evaluierung des DEMViewers . . . . .	145
7.1.2	Grundwasservisualisierung mit GeoPro <sup>3D</sup> - Ein Anwendungsbeispiel aus der Hydrogeologie . . . . .	146
7.1.2.1	Anwendungsgebiete und Nutzertypen . . . . .	146
7.1.2.2	Datengrundlage . . . . .	147
7.1.2.3	Beschreibung von GeoPro <sup>3D</sup> . . . . .	148
7.1.2.4	Technische Realisierung . . . . .	160
7.1.2.5	Evaluierung von GeoPro <sup>3D</sup> . . . . .	166
7.2	Evaluierung der Anwendungen . . . . .	167

7.2.1	Erfahrungen bei der Benutzung der Umwelthanwendungen . . . . .	168
7.2.2	Vorteile der 3D-Visualisierungen für Umwelthanwendungen . . . . .	168
7.2.3	Nachteile der 3D-Visualisierungen für Umwelthanwendungen . . . . .	172
7.2.3.1	Fazit der Evaluierung . . . . .	175
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>176</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Chernoff Gesichter . . . . .	7
2.2	Cone Tree . . . . .	7
2.3	Ball-and-stick Modell . . . . .	8
2.4	Visualisierungspipeline . . . . .	8
2.5	Ein Polygon in verschiedenen Dimensionen . . . . .	9
2.6	Beispiele von 3D-Visualisierungen . . . . .	11
2.7	Beispiel für flächenhafte Aufteilung der Objekte in der Wahrnehmung . . . . .	12
2.8	Die blaue Farbe hilft bei der Erkennung von Wasser . . . . .	14
2.9	Überhöhung der Geländedarstellung . . . . .	16
2.10	Gelände mit topograph. Karte (li.) und Orthophoto (re.) . . . . .	16
2.11	Stadtmodell von Hamburg aus: [COORS und ZIPF 2005] . . . . .	17
2.12	Geologisches Modell aus: [COORS und ZIPF 2005] . . . . .	17
3.1	Koordinatensystem von Java 3D . . . . .	23
3.2	Geometrische 3D-Modelle . . . . .	25
3.3	Geometrieelemente von vertex-basierten Einzelobjekten . . . . .	26
3.4	Der geometrische Aufbau eines Jojo . . . . .	26
3.5	Szenengraph . . . . .	27
3.6	ViewBranchGraph . . . . .	28
3.7	ContentBranchGraph . . . . .	29
3.8	Begrenzung der 3D-Szene durch das View Frustum in der Draufsicht . . . . .	31
3.9	Abbildung des geometrischen Modells auf dem Ausgabemedium [GEOINFORMATION.NET 2004] . . . . .	31
3.10	Koordinatensystem eines Texturbildes . . . . .	33

3.11	Head-Mounted Display (Image courtesy: www.5DT.com) [5DT FIFTH DIMENSION TECHNOLOGIES 2004] . . . . .	36
3.12	Virtual-Reality-Techniken . . . . .	37
3.13	Archeoguide visualisiert virtuelle Objekte an touristischen Stätten [IST 2004] . . . . .	37
4.1	Struktur des UIS Baden-Württemberg [UVM 2005] . . . . .	52
4.2	Drei-Wege-Objektmodell . . . . .	55
4.3	Visualisierung eines Gletschers (blau) in einem Tal (grau) [BIEGGER et al. 2002] . . . . .	57
4.4	Einsatz des AR-Systems mit Gebäudemodell (li.) und Hochwasser (re.) [COELHO 2004] . . . . .	58
4.5	Visualisierung des FEFLOW-Modellgebiets mit Projektionen (links) und Blockbeschneidung (rechts) (Bild ist Eigentum von Waterloo Hydrogeologic, Inc.) [Waterloo Hydrogeologic Software 2004] . . . . .	59
4.6	Visualisierung von Gebäudemodellen und der darunter liegenden Grundwasserfläche mit Bohrungen in MELINDA [FZK 2004] . . . . .	59
4.7	Windfeldvisualisierung (blaue Pfeile) und Schadstoffkonzentration (rot) [KRASS et al. 2004] . . . . .	60
4.8	Modellierung des Wasserhaushaltes in Bäumen. Figure 2 in [GROTE et al. 2003] . . . . .	61
4.9	Mit Hauptwindrichtungen texturierte Geländedarstellung [NETHERER et al. 2002] . . . . .	61
4.10	Mit HyMap-Klassifizierung texturiertes Geländemodell [CHEVREL et al. 2002] . . . . .	61
4.11	Identifizierung von potentiellen Deponiestandorten anhand statistischer Analyse und daraus resultierender 3D-Darstellung in Frage kommender Gebiete (aus: ISPRS XXth Congress [MALINVERNI und GIOIA 2003]) . . . . .	62
4.12	Ansicht der Mount-Everest Region von Westen (aus: ISPRS XXth Congress [GRUEN and RODITAKIS 2003]) . . . . .	62
5.1	Punkt- und Linienobjekte . . . . .	67
5.2	Oberflächen . . . . .	67
5.3	Windfeld [GEOINFORMATION.NET 2004] . . . . .	68
5.4	Volumenobjekte . . . . .	68
5.5	Primitive: Quader, Zylinder, Kugel, Kegel, Prisma, Dreiecksprisma . . . . .	69
5.6	Grundwassermessstelle mit Identifikationsnummer . . . . .	69

5.7	Das Ziel des Wanderweges (rote Linie) in der TK25 [LFU 2005a] ist mit einem Burg-Symbol gekennzeichnet. . . . .	70
5.8	Pfeilglyphen zur Visualisierung von Strömungsdaten [STAHL UND WEISS 2005] . . . . .	70
5.9	Prismenkarte von Niedersachsen . . . . .	71
5.10	Fachbezogene Oberflächen . . . . .	72
5.11	Nadelbaum (links) und Laubbaum (rechts) . . . . .	72
5.12	Technosphäre: Gebäude- (links) und Trassenobjekt (rechts) . . . . .	73
5.13	Bohrloch . . . . .	73
5.14	Windkraftanlage [JOHN 2005] . . . . .	73
5.15	Grenzlinie eines Kreises . . . . .	74
5.16	3D-Isolinien [TADDEI 1999] . . . . .	74
5.17	Querschnitt durch eine 3D-Szene mit geologischen Schichten . . . . .	75
5.18	Paketübersicht des Datenmodells . . . . .	76
5.19	Klassendiagramm der 3D-Objektgeometrien . . . . .	77
5.20	Klassendiagramm der Darstellungsobjekte . . . . .	80
5.21	Klassendiagramm der fachbezogenen Oberflächenobjekte . . . . .	82
5.22	Klassendiagramm von den Objekten der Technosphäre . . . . .	83
5.23	Klassendiagramm der Vegetationsobjekte . . . . .	83
5.24	Klassendiagramm der besonderen Objekte . . . . .	84
5.25	Klassendiagramm von virtuellen Objekten . . . . .	85
6.1	Service Schnittstelle . . . . .	89
6.2	Integration von Java 3D in ein Betriebssystem . . . . .	89
6.3	Komponenten von GIStern 3D . . . . .	91
6.4	Content- und ViewBranchGraph . . . . .	93
6.5	Erzeugung der virtuellen Welt . . . . .	94
6.6	Integration der virtuellen Welt in GIStern . . . . .	94
6.7	Integration von 3D-Layern in den 3D-Viewer . . . . .	95
6.8	3D-Geländeobjekte . . . . .	98
6.9	Speicherplatzverbrauch von Texturen . . . . .	99
6.10	Implementierung der Visualisierung digitaler Geländemodelle . . . . .	100

6.11	Teilstücke für die Geländeerzeugung . . . . .	100
6.12	Zusammengesetztes Geländestück . . . . .	101
6.13	3D-Objekt einer TIN-Oberfläche . . . . .	102
6.14	Bounding Box eines 3D-Objektes . . . . .	105
6.15	Integration von 3D-Layern in die 3D-Szene . . . . .	105
6.16	Gleichmäßige Ausleuchtung einer Erdkugel . . . . .	106
6.17	Flat-Shading . . . . .	107
6.18	Gouraud-Shading . . . . .	107
6.19	Beleuchtungsfunktionen im Eigenschaftsfenster . . . . .	107
6.20	Integration des Lichts in den Szenengraph . . . . .	108
6.21	Elemente des Übersichtsfensters . . . . .	109
6.22	Funktionen des Übersichtsfensters . . . . .	110
6.23	Seitenansicht im Übersichtsfenster zur Höhenabschätzung der Betrachter- position . . . . .	110
6.24	Realisierung des Übersichtsfensters . . . . .	111
6.25	Orientierungsfenster mit Ostachse (grün), Nordachse (rot) und Höhenach- se (blau) . . . . .	111
6.26	Virtual Input Device - Navigationsfenster . . . . .	112
6.27	Navigationsfunktionen . . . . .	113
6.28	Integration der Navigation in den Szenengraph . . . . .	114
6.29	Realisierung der Navigation . . . . .	114
6.30	Tiefenpuffereffekt von zwei Flächen . . . . .	115
6.31	Berechnung der vorderen und hinteren Clipping-Ebene des View Frustums	116
6.32	Selektionsbutton . . . . .	116
6.33	Funktionsweise des Picking nach [SUN MICROSYSTEMS (C) 2005] . . . .	117
6.34	<code>SceneGraphPath</code> eines gepickten Objektes . . . . .	117
6.35	Selektion eines Gebäudes . . . . .	118
6.36	Realisierung des Picking . . . . .	118
6.37	Integration des Picking in den Szenengraph . . . . .	119
6.38	Informationsbutton . . . . .	119
6.39	Änderung der Hintergrundfarbe . . . . .	120

6.40	Realisierung des Clipping . . . . .	120
6.41	Änderung der Hintergrundfarbe . . . . .	121
6.42	Die Linien markieren die Position der vertikalen Ebenen für das Clipping	122
6.43	Die Nachladefunktion im Übersichtsfenster (Kamera gibt Blickrichtung an, Nachgeladen wird in Pfeilrichtung) . . . . .	123
6.44	Realisierung des Nachladens neuer Geländeobjektteile . . . . .	124
6.45	Überhöhung der Geländedarstellung . . . . .	124
6.46	Szenengraph mit Skalierungsknoten . . . . .	124
6.47	Einstellen der Profilposition . . . . .	125
6.48	Realisierung der Profilerzeugung . . . . .	126
6.49	Profil in der Hauptansicht und Profilposition (rot) im Übersichtsfenster .	126
6.50	Die roten Punkte (links) werden in die neue Datei übernommen (rechts) .	129
6.51	Realisierung des DGM-Tilers . . . . .	130
6.52	Wahl der DGM-Auflösung . . . . .	131
6.53	Schnittstelle des Height-Service . . . . .	132
7.1	Das gleiche Gebiet in perpektivischer 3D-Visualisierung in 50m-, 5m- und 1m-Auflösung . . . . .	137
7.2	Fertig bearbeitete Gebiete des 5m-DGM in Baden-Württemberg im Juli 2004 . . . . .	138
7.3	Die 3D-Geländeform im Bereich des Kreises Tuttlingen in 50m-Auflösung	139
7.4	Nutzung der verschiedenen DGM-Auflösungen . . . . .	139
7.5	Individuell erzeugte 2D-Karte auf Basis der TK 25 . . . . .	141
7.6	User-Interface des DEMViewers . . . . .	142
7.7	Geländeoberfläche ohne (links) und mit Textur (rechts) . . . . .	142
7.8	DEMViewer-Szene . . . . .	143
7.9	Klassendiagramm des DEMViewers . . . . .	144
7.10	GeoPro <sup>3D</sup> -Menü in GISterm . . . . .	148
7.11	GISterm-Kartenansicht (TK 25) mit Grundwassermessstellen, Karten aus [LFU 2005a] . . . . .	149
7.12	Benutzerdialog für die Erzeugung einer GeoPro <sup>3D</sup> -Szene . . . . .	150
7.13	Benutzerdialog zur Digitalisierung der Baustellen . . . . .	151
7.14	Digitalisierte Objekte (weinrot) in der GISterm-Kartenansicht (TK 25) .	152

7.15	GeoPro <sup>3D</sup> -Szene (Beschreibung siehe unten)	153
7.16	Baustellen-Clipping	155
7.17	Messstellen-Clipping	155
7.18	Erzeugung von Trassenquerprofilen	156
7.19	DGM-Nachlade-Menü im Übersichtsfenster	157
7.20	Nachladen von Messstellen und Gelände mit Hilfe des Übersichtsfensters	158
7.21	Auswahl neuer Messstellen in der 2D-Karte	158
7.22	Ergänzung der Szene durch in der 2D-Karte gewählte neue Messstellen	159
7.23	Löschen von Messstellen	159
7.24	Integration von GeoPro <sup>3D</sup> in GISterm	160
7.25	Erzeugung einer GeoPro <sup>3D</sup> -Szene	160
7.26	Elemente der GeoPro <sup>3D</sup> -Szene	162
7.27	Baustellen-Clipping	164
7.28	Messstellen-Clipping	164
7.29	Erzeugung von Trassenquerprofilen	165
7.30	Regenerierung der GeoPro <sup>3D</sup> -Szene	165
7.31	Online-Hilfe von GeoPro <sup>3D</sup>	166
7.32	Geländevisualisierung ohne (links) und mit Gebäude (rechts)	169
7.33	Die Umgebung von Teck visualisiert mit Hilfe von Höhenlinien (links ca. 1:105000) und schattierter 3D-Visualisierung (rechts)	169
7.34	Visualisierung von Überschwemmungsgebieten	170
7.35	Hydrogeologische Schichten unter der Erde	171
7.36	Dasselbe Baugebiet in 3D-Visualisierung (links) und in 2D-Karte (rechts)	171
7.37	Visualisierung von Gebirgsgelände mit Hilfe von Schummerung	172
7.38	Das quadratische (hintere) Gebäude wird teilweise vom 5-eckigen (vorderen) Gebäude verdeckt.	173
7.39	Das zweite Gebäude wird in der linken Perspektive vollständig vom ersten Gebäude verdeckt	173
7.40	2D-Kartenausschnitt mit Koordinaten (links) und 3D-Szenenausschnitt ohne Koordinaten (rechts)	174

# Tabellenverzeichnis

4.1	3D-Visualisierungsanwendungen der Umweltexperten nach Umweltobjekten kategorisiert . . . . .	64
4.2	3D-Visualisierungsanwendungen der Umweltexperten, kategorisiert nach den Wechselbeziehungen zwischen der Umwelt und der Technosphäre . .	64
6.1	Vergleich von Java-basierten 3D-Visualisierungsbibliotheken . . . . .	90
7.1	Kenntnisse der Nutzergruppen . . . . .	136
7.2	Speicherverbrauch der digitalen Geländemodelle für die Fläche von Baden-Württemberg . . . . .	140
7.3	Kenntnisse der potentiellen GeoPro <sup>3D</sup> -Nutzer . . . . .	147



# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

3D-Visualisierungen werden heutzutage in vielen unterschiedlichen Bereichen erfolgreich eingesetzt (siehe Abschnitt 2.2.2). Die Möglichkeit mit Hilfe der dritten Dimension räumliche Zusammenhänge verständlich zu visualisieren, hilft bei der Analyse von Daten und fördert die Entstehung neuer Erkenntnisse.

In den letzten Jahrzehnten ist das allgemeine Bewusstsein für die Umwelt gestiegen. Die Auswirkungen des Menschen auf die Umwelt werden beobachtet und erfasst. Dadurch fallen immer mehr umweltrelevante Daten an, die ausgewertet werden müssen. Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Nützlichkeit des Einsatzes von 3D-Visualisierungen für die visuelle Analyse dieser Daten.

Zur Zeit gibt es für 3D-Visualisierungen im GIS-Bereich und der Umweltinformatik noch keine wirklichen Standards und kaum kommerzielle Produkte [WIESEL 2003]. Darum sollen in dieser Dissertation die Integration von 3D-Visualisierungen in der Umweltinformatik auf besondere Aspekte untersucht werden und mögliche Lösungsansätze für solche Visualisierungen erarbeitet werden.

Aufgabe ist die Konzeption eines generischen Systems, also eines allgemeingültigen Systems, für die Realisierung von 3D-Visualisierungen in Umweltsanwendungen. Eine wichtige Eigenschaft eines generischen Systems ist die Wiederverwendbarkeit des Lösungsansatzes. Das System soll die aktuellen Anforderungen bedienen und an neue Herausforderungen flexibel angepasst werden können.

Dafür ist es notwendig, einerseits die allgemeinen Anforderungen an 3D-Visualisierungen zu untersuchen, und diese andererseits unter dem Aspekt der Visualisierung von umweltrelevanten Daten zu betrachten. Aus den Erkenntnissen soll ein generisches und erweiterbares Datenmodell entwickelt werden, mit dessen Hilfe umweltrelevante Daten visualisiert werden können. Dieses Modell soll im System für die Realisierung von 3D-Visualisierungen in Umweltsanwendungen umgesetzt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Analyse der dargestellten Daten. Dies erfolgt im Allgemeinen zuerst durch Exploration der visualisierten Daten. Darauf folgt der Wunsch, die Daten flexibel manipulieren zu können. Dies soll mit Hilfe von verschiedenen Interaktionsfunktionen realisiert werden, die möglichst intuitiv bedienbar sein sollen, damit sich

der Anwender auf die fachlichen Aspekte der Visualisierung konzentrieren kann. Das entwickelte Visualisierungssystem soll anhand der Implementierung von zwei Beispielanwendungen getestet werden. Da Umweltinformationssysteme (UIS) im Bereich der Umweltinformatik bedeutende und vielfältige Aufgaben übernehmen, sollen die beiden entwickelten Anwendungen in ein UIS integriert werden.

Die Arbeit beginnt mit den notwendigen Begriffsdefinitionen, die für das Verständnis der folgenden Kapitel notwendig sind, und gibt einen kurzen Einblick in das Forschungsprojekt, mit dessen Hilfe diese Dissertation erstellt werden konnte.

## 1.2 Visualisierung

Allein die Herkunft des Begriffs Visualisierung vom lateinischen „visualis“, zum Sehen gehörig, zeigt, dass mit dem Begriff ein großes Gebiet abgedeckt wird. Deswegen wird im Folgenden versucht, den Begriff der Visualisierung genauer zu definieren:

„Der Ausdruck Visualisierung bezeichnet die Darstellung eines abstrakten Sachverhaltes mit optischen Mitteln [WIKIPEDIA 2004b]“.

oder alternativ:

„Allgemein betrachtet, kann man unter Visualisierung die Darstellung eines Sachverhaltes, einer Idee oder geistigen Vision in eine für die menschliche Vorstellungskraft und das menschliche Auge sichtbare Form verstehen [MACH 2000].“

Demnach ermöglicht die Visualisierung neben der Aufbereitung sichtbarer auch die Darstellung nicht sichtbarer oder schwer vorstellbarer Dinge.

In [SCHUMANN und MÜLLER 2000a] wird die Bedeutung der Visualisierung diskutiert. Durch die in der Visualisierung präsentierten Objekte können Ergebnisse abgeleitet werden, die das Verständnis für die Daten verbessern und dadurch die Kommunikation über die Daten erleichtern. Die Analyse der Daten soll unterstützt werden, in dem die Bilder der Visualisierung so aufgebaut werden, dass der Betrachter nicht nur in der Lage ist, den Inhalt zu sehen, sondern auch zu erkennen, zu verstehen und zu bewerten. Das heißt, innere Zusammenhänge der Daten sollen mittels der Visualisierung aufgedeckt werden. Erfolgreich ist eine Visualisierung dann, wenn der Betrachter in der Lage ist, die in der Visualisierung wahrgenommenen Strukturen mit den in der Realität existierenden Sachverhalten in Verbindung zu bringen.

Diese Arbeit untersucht einen Spezialfall der allgemeinen Visualisierung. In diesem Spezialfall werden zwei Teilaspekte der allgemeinen Visualisierung kombiniert, nämlich

1. die 3D-Visualisierung und
2. die Visualisierung von umweltrelevanten Daten.

Ziel ist es, die Möglichkeiten zur Verbesserung des Verständnisses von umweltrelevanten Daten mittels der 3D-Visualisierung, also die Nützlichkeit von 3D-Visualisierungen im Umweltbereich, zu untersuchen.

## 1.3 Visualisierung in Anwendungen der Umweltinformatik

Die Bedeutung und Umsetzung von Visualisierungen ist im Allgemeinen nicht auf die Anwendung in rechnergestützten Systemen beschränkt. Allerdings kann auf Computer heutzutage in vielen Bereichen nicht mehr verzichtet werden. So hat sich in den 80er Jahren eine neue Forschungsrichtung entwickelt: die *Umweltinformatik*. Sie beschäftigt sich mit Anwendungen im Umweltschutz und kann folgendermaßen definiert werden:

„Umweltinformatik ist eine Teildisziplin der Angewandten Informatik, die mit Methoden und Techniken der Informatik diejenigen Informationsverarbeitungsverfahren analysiert, unterstützt und mitgestaltet, die einen Beitrag zur Untersuchung, Behebung, Vermeidung oder Minimierung von Umweltbelastungen und Umweltschäden leisten können [PAGE und HILTY 1995].“

Die Umweltinformatik benutzt Methoden anderer Forschungsgebiete der Informatik. Sie beschäftigt sich mit Datenbanksystemen und Geoinformationssystemen, Modellbildung und Simulation, Wissensbasierten Systemen, Benutzerschnittstellen und Softwareergonomie, Computergraphik und Visualisierung und die Integration von bestehenden in neue Systeme.

Da das Ziel der Dissertation die Analyse der Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Visualisierungen in Umweltanwendungen ist, ist die Problemstellung dieser Arbeit eindeutig dem Gebiet der Umweltinformatik zuzuordnen.

Viele Entwicklungen aus dem Forschungsbereich der Umweltinformatik werden in *Umweltinformationssystemen (UIS)* eingesetzt, deren Aufgabe die Bereitstellung von Umweltinformationen ist. Die Festlegung einer Definition des Begriffs Umweltinformationssystem ist nicht einfach. O. Günther beschreibt Umweltinformationssysteme folgendermaßen:

„Environmental information systems are concerned with the management of data about the soil, the water, the air, and the species in the world around us. The collection and administration of such data is an essential component of any efficient environmental protection strategy. Vast amounts of data need to be available to decision makers, mostly (but not always) in some kind of condensed format. The requirements regarding the currency and accuracy of the information are high. Details vary between applications [GÜNTHER 1998].“

Eine andere Definition für das Umweltinformationssystem lautet folgendermaßen:

„Ein UIS ist ein Informationssystem, das Umweltinformationen bereitstellt. Ein UIS besteht in der Regel aus mehreren Umweltdatenbanken mit verschiedenen Umweltdatenbeständen. Es bietet leistungsfähige Zugriffs- und Auswertemethoden zur Ableitung von Umweltinformationen. Aufgrund der Vielfalt der potentiellen Nutzer eines UIS bestehen unterschiedlichste Anforderungen an die Charakteristika eines UIS [GEOINFORMATIK-SERVICE 2005].“

Aus diesen Definitionen wird ersichtlich, dass Umweltinformationssysteme unterschiedliche und komplexe Aufgaben übernehmen. Sie bestehen aus vielen verschiedenen Komponenten und Anwendungen, die für die Bearbeitung von hochspeziellen Fachaufgaben benötigt werden.

Andererseits haben die Umweltinformationssysteme und die allgemeinen Visualisierungen ein gemeinsames Ziel. Sie sollen, wie in 1.2 erwähnt, das Verständnis von und die Kommunikation über Daten verbessern. Dieses Ziel sollte mit Hilfe von 3D-Visualisierungen, die in Umweltinformationssysteme integriert werden, zu erreichen sein.

## 1.4 Projekthintergrund

Dieses Ziel ist auch die Grundlage für das Projekt, in dessen Rahmen die Dissertation entstanden ist.

Zweck des Projektes ist der Einsatz von 3D-Visualisierungen im Rahmen des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg. Das UIS von Baden-Württemberg enthält Lösungen und Konzepte für die Bearbeitung von allgemeinen Umweltaufgaben und übernimmt die Verwaltung von Umweltinformationen in Baden-Württemberg. Im „UIS wird die gesamte Verarbeitung von Umweltinformationen unter der Regie des Ministeriums für Umwelt und Verkehr (UVM) über die Ressortbereiche hinweg koordiniert“ [UVM 2004]. Die entsprechenden 3D-Visualisierungen werden im Projekt „3D-Visualisierung im Umweltinformationssystem (UIS) Baden-Württemberg“, das Teil des Verbundprojektes „AJA - Anwendungen Java-basierter und anderer leistungsfähiger Lösungen in den Bereichen Umwelt, Verkehr und Verwaltung“ ist, entwickelt. Das Projekt wird vom „Ministerium für Umwelt und Verkehr“ und der „Landesanstalt für Umweltschutz“ von Baden-Württemberg finanziert und betreut [UVM 2004], [LFU 2004].

Die entstandenen 3D-Visualisierungsanwendungen sind innerhalb des UIS in das Projekt WAABIS (Wasser-, Abfall-, Altlasten-, Bodeninformationssystem) integriert. Dort werden Module und Fachanwendungen realisiert, die bei der Bearbeitung der Umweltaufgaben eingesetzt werden [FHG IITB 2004].

# Kapitel 2

## Überblick über die Aspekte der 3D-Visualisierung

Diese Arbeit befasst sich mit einer besonderen Form der Visualisierung, nämlich der 3D-Visualisierung im Umweltbereich. Deswegen beschäftigt sie sich zu Beginn mit den wissenschaftlichen Aspekten der Visualisierung. Dabei wird zunächst auf die allgemeine Visualisierung und anschließend auf die Bedeutung der dritten Dimension in Visualisierungen eingegangen. Für die Wahrnehmung der dritten Dimension sind die Erfahrungen des Menschen in der Realität nützlich. Sie werden im Anschluss diskutiert.

Hilfreiche Hinweise für den Einsatz von 3D-Visualisierungen in Umweltsanwendungen kann eine weitere Form der Visualisierung bieten: die Geovisualisierung, die deshalb in diesem Kapitel vorgestellt wird. Die für die Erzeugung von 3D-Umweltvisualisierungen relevanten Aspekte der wissenschaftlichen Visualisierung werden am Schluss des Kapitels zusammengefasst.

### 2.1 Die Wissenschaft der Visualisierung

Wie am Zitat frei nach René Descartes zu erkennen ist, hat die Visualisierung schon immer eine wichtige Rolle gespielt :

„Imagination or visualization, and in particular the use of diagrams, has a crucial part to play in scientific navigation“ [SCHUMANN und MÜLLER 2000a].

In den 80er Jahren entstanden einerseits zunehmend riesige Datenmengen durch neue Sensoren und Messinstrumente, andererseits konnte die verbesserte Rechenleistung von Computern benutzt werden, um die entstandenen Daten auszuwerten und zu visualisieren. Aus dieser Zeit stammt das folgende Zitat, das die Bedeutung der Visualisierung erläutert:

„*Visualisation* is a method of computing. It transforms the symbolic into the generic, enabling researchers to observe their simulations and computations. Visualization offers a method for seeing the unseen. It enriches the process

of scientific discovery and fosters profound and unexpected insight. In many fields it is already revolutionizing the scientists do science“ [MCCORMICK et al. 1987].

1986 wurde von der National Science Foundation (NSF) [NATIONAL SCIENCE FOUNDATION 2005] ein Komitee gebildet, das Empfehlungen für die Produktivität in der Hard- und Softwareentwicklung geben sollte. Als Folge entstand ein neues Forschungsgebiet: „*Visualisation in Scientific Computing (VisC)*“ oder die „*Wissenschaft der Visualisierung*“.

Wichtige Ziele des Forschungsgebietes werden in [GEOINFORMATION.NET 2004] und [OWEN 2005] diskutiert:

- Die Visualisierung dient primär der Exploration und Auswertung von Daten und Informationen.
- VisC dient der Detektion in den Daten verborgener Zusammenhänge. Neue Einsichten sollen gewonnen werden und Nicht-Sichtbares soll sichtbar gemacht werden.
- Das Verstehen von Konzepten und Prozessen soll erweitert werden.
- Die Visualisierung soll effektiv sein und signifikante Eigenschaften hervorheben.
- Es wird ein hoher Interaktionsgrad benötigt.
- Eine Qualitätskontrolle für Messungen und Simulationen ist notwendig.
- Die Kombination verschiedener Visualisierungstechniken sollte zur Verbesserung der Darstellung eingesetzt werden.
- Die Dimensionalität der untersuchten Daten sollte berücksichtigt werden.
- Mit Hilfe der Visualisierung soll eine Grundlage für die Kommunikation und die Zusammenarbeit geschaffen werden.

Viele dieser Ziele treffen auch für 3D-Umweltvisualisierungen zu. Die umweltrelevanten Daten sollen so aufbereitet werden, dass sie gut analysiert werden können. Dies kann mit Hilfe von Interaktionsfunktionen erreicht werden, die an die speziellen Anforderungen von umweltrelevanten Daten angepasst werden müssen. Bei Benutzung der Funktionen für die Analyse der Daten entstehen entweder neue Erkenntnisse, die von Fachleuten diskutiert werden können, oder bekannte Strukturen werden für Laien verständlich aufbereitet.

Die Herangehensweise an eine gute Visualisierung wird im „Curriculum for Visualization“ erklärt [DOMIK 2004]. Es behandelt die folgenden Themengebiete der Visualisierung:

- *Data*: Daten stammen aus verschiedenen Quellen, wie zum Beispiel aus mathematischen Modellen, aus computergestützten Berechnungen oder aus menschlichen oder maschinengestützten Datenerfassungen. Diese Daten müssen vor der Visualisierung erfasst werden.

- *User and Tasks*: Wenn Daten visualisiert werden sollen, muss zunächst der Zweck der Visualisierung festgelegt werden. Was hat der Nutzer für eine Aufgabe? Das bedeutet, dass einerseits die Fähigkeiten und Grenzen des Nutzers bei der Interpretation von Bildern (siehe auch 2.3) untersucht und andererseits die Aufgaben des Nutzers beachtet werden sollten. Die Visualisierung und die dem Nutzer zur Verfügung stehenden Werkzeuge sollen an die Aufgabe angepasst werden.
- *Mapping*: Mapping beschreibt den Prozess, mit dessen Hilfe die Daten in eine visuell wahrnehmbare Form gewandelt werden.
- *Representation*: Für die eigentliche Visualisierung der Daten existieren viele verschiedene Techniken, die folgendermaßen kategorisiert werden können:
  - Statistische Darstellungen wie Liniendiagramme, Histogramme, Säulendiagramme oder Segmentdiagramme
  - Scatterplots
  - Die Verwendung von Symbolen wie Glyphen oder Icons für das codieren von Informationen (siehe Abbildung 2.1)



Abbildung 2.1: Chernoff Gesichter

- Die Verwendung von Koordinaten
- Die Visualisierung mit Hilfe von Karten, Oberflächen und Rasterbildern
- Die Visualisierung von Partikeln oder Strömungslinien
- Die Volumenvisualisierung mit Schnitten und Isoflächen
- Die Visualisierung mit Hilfe eines Cone Tree (Ein dreidimensionaler Visualisierungsbaum)(siehe Abbildung 2.2)

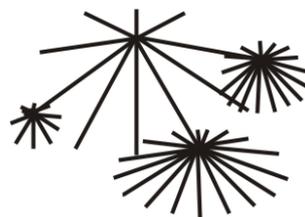


Abbildung 2.2: Cone Tree

- Die Visualisierung mit Hilfe eines Ball-and-stick Modells (Die dreidimensionale Visualisierung von Verknüpfungen mittels Knoten und Kanten) (siehe Abbildung 2.3)

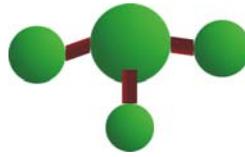


Abbildung 2.3: Ball-and-stick Modell

- *Interaction Issues*: Interaktionsfunktionen sollten so aufgebaut werden, dass sie leicht verständlich und nachvollziehbar sind, das heißt, sie sollten den Fähigkeiten des Nutzers angepasst werden. Die entstandenen Programme sollten deswegen einem Evaluierungsprozess unterzogen werden.
- *Concepts of the Visualization Process*: Es existieren verschiedene Konzepte für den Visualisierungsprozess. Das bekannteste ist die Visualisierungspipeline (siehe Abbildung 2.4) [SCHUMANN und MÜLLER 2000a]. Im ersten Schritt der Visualisierungspipeline werden die Rohdaten aufbereitet. Dabei werden zum Beispiel die Datenmengen ergänzt oder reduziert. Oft werden auch Filter angewendet, um die Daten zu glätten oder Schwellenwertoperationen durchzuführen. Deshalb wird im Englischen der Fachbegriff des *Filtering* verwendet. Der Bezeichnung des zweiten Schrittes in der Visualisierungspipeline lautet *Mapping*. Beim Mapping werden nicht geometrische Daten in Geometriedaten überführt. Im letzten Schritt der Visualisierungspipeline, dem *Rendering* (siehe Abschnitt 3.1.3.2), wird aus den Geometriedaten ein Bild generiert [SCHUMANN und MÜLLER 2000a].

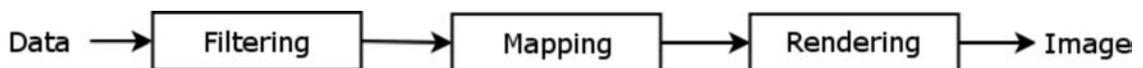


Abbildung 2.4: Visualisierungspipeline

- *Systems and Tools*: Die verschiedenen Konzepte werden in unterschiedlichen Visualisierungssystemen eingesetzt. Einen Überblick über die Software im 3D-Visualisierungsbereich gibt Abschnitt 3.3.

Weitere Informationen über Scientific Visualization sind in [SCHUMANN und MÜLLER 2000a], [CHEN 2003] und [PICKOVER and TEWKSBURY 1994] enthalten.

## 2.2 Die Bedeutung der dritten Dimension für die Visualisierung

Dieser Abschnitt beschäftigt sich zunächst mit unterschiedlichen Gesichtspunkten der Definition der dritten Dimensionen. Auf dieser Grundlage wird der Begriff der 3D-Visualisierung für diese Arbeit definiert. Anschließend werden Einsatzgebiete von allgemeinen 3D-Visualisierungen beschrieben, deren unterschiedlichen Einsatzgebiete einen Eindruck der visuellen Möglichkeiten vermitteln, die mit Hilfe von 3D-Visualisierungen erreichbar sind.

### 2.2.1 Definition der Dimensionen

Der Dimensionsbegriff ist mit verschiedenen Bedeutungen belegt und wird unter „wissen.de“ für den Bereich der Geometrie folgendermaßen definiert:

„[Dimension ist] im gewöhnlichen Raum die drei Maße Länge, Breite, Höhe zur Beschreibung der Ausdehnung von Körpern. Ein Punkt hat keine, eine Linie eine Dimension, ein flächenhaftes Gebilde zwei, ein räumliches Gebilde drei Dimensionen. Die Anzahl der Dimensionen eines Gebildes entspricht der Anzahl der zur Festlegung eines seiner Punkte notwendigen Koordinaten [WISSEN.DE GMBH 2004]“.

Veranschaulicht bedeutet das, dass das gleiche Objekt unterschiedliche Dimensionen besitzen kann: Das eine Polygon wird durch Punkte mit Koordinatentupeln beschrieben, während das andere Polygon durch Punkte mit Koordinatentripeln beschrieben wird, bei denen der  $z$ -Wert in allen Punkten der gleiche ist (siehe Abbildung 2.5). Die geometrische Form der beiden Objekte ist gleich, aber die Dimension des Raumes, in dem die Objekte visualisiert werden, ist unterschiedlich.

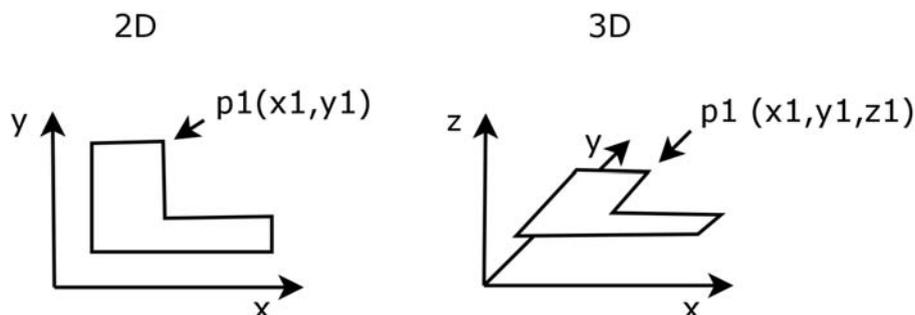


Abbildung 2.5: Ein Polygon in verschiedenen Dimensionen

In [SCHUMANN und MÜLLER 2000a] wird unter anderem die Dimensionalität der Daten mit Hilfe des Beobachtungsraumes definiert. Der Beobachtungsraum ist der Raum, in dem die Daten erhoben werden. Er ist vom physikalischen Raum abstrahiert, kann also zum Beispiel nur eine oder beliebig viele Dimensionen enthalten. Die Dimensionen, die den Beobachtungsraum aufspannen, werden als unabhängige Variable bezeichnet.

Ein ähnlicher Ansatz wird in [GEOINFORMATION.NET 2004] verfolgt. Dort wird die dritte Dimension mit Hilfe des Darstellungsraumes definiert: Die Bezeichnung „3D“ bezieht sich dabei auf die Dimension des Darstellungsraumes. Dieser wird durch drei Koordinatenachsen aufgespannt. Der dargestellte Inhalt ist nicht notwendigerweise ebenfalls dreidimensional (Körper). Es können ebenso null- (Punkt), ein- (Linie) oder zweidimensionale (Fläche) Objekte dargestellt werden. Außerdem muss nicht jeder Raumpunkt eines Objektes definiert sein, wie das beim Volumenmodell der Computergraphik der Fall wäre (siehe auch 3.1.2.1).

In der Geoinformatik sind dagegen die folgenden Definitionen für die Dimensionalität eines Geoinformationssystems üblich:

- *Zweidimensional:*

„[Ein Geoinformationssystem ist zweidimensional], wenn seine Geometriedaten sich lediglich auf x,y-Koordinaten (Planimetrie) beziehen und keine Höhenangaben vorliegen [BILL 1999a].“

- *Zweieinhalbdimensional:*

„[Ein Geoinformationssystem ist zweieinhalbdimensional], wenn zur Lagegeometrie die Höhe z als Attribut gespeichert ist. Diese Art der Höhenintegration wird auch als Sachdatenabsorption bezeichnet [BILL 1999a].“

- *Dreidimensional:*

„[Ein Geoinformationssystem ist dreidimensional], wenn die x,y,z-Koordinaten in hinreichender Dichte vollständig für das gesamte Teilgebiet abgespeichert sind [BILL 1999a].“

Die beschriebene Sachdatenabsorption, enthalten in der Definition von „zweieinhalbdimensional“, kann zum Beispiel für die Verwaltung von digitalen Geländemodellen gelten. Werden die x,y-Koordinaten des DGM in der Datenbank gespeichert und der Höhenwert als codierter Farbwert, so liegen zweieinhalb Dimensionen vor. Für die Visualisierung des DGM im virtuellen Raum wird ein 3D-Objekt erzeugt, dessen Stützpunkte x,y,z-Koordinaten besitzen. Damit ist das Objekt dreidimensional.

Die Beschreibung der verschiedenen Definitionen zeigt, dass die dritte Dimension mit Hilfe verschiedener Sichtweisen festgelegt werden kann. Die zu dieser Arbeit passende Definition ist die des Darstellungsraumes, da solch ein Raum die Grundlage für die im Folgenden beschriebenen Entwicklungen bildet. Im Darstellungsraum werden die Objekte entweder mit Hilfe von x-,y-,z-Koordinaten erzeugt oder als 2D-Objekt an einer x-,y-,z-Koordinatenposition visualisiert.

Das Ausgabemedium, in dem die im dreidimensionalen Darstellungsraum erzeugte Szene visualisiert wird, kann verschiedene Dimensionen haben. In den meisten Fällen ist das Ausgabemedium zweidimensional (Standardbildschirm), allerdings ist die Visualisierung in einem *Cave* („Raum zur Projektion einer dreidimensionalen Illusionswelt“ [WIKIPEDIA 2004a]) ebenfalls möglich. Die Projektion der drei Dimensionen auf ein zweidimensionales Ausgabemedium ist eine Herausforderung für die Wahrnehmung des Menschen (siehe Abschnitt 2.3).

## 2.2.2 Einsatzgebiete von 3D-Visualisierungen

Heutzutage werden in vielen Bereichen 3D-Visualisierungen verwendet. Beispiele sind die Modellierung von Werkstücken im Maschinenbau, die Visualisierung von Gebäuden in der Architektur oder Archäologie, die Visualisierung ganzer Städte als 3D-Stadtmodelle für Stadtplanungszwecke oder die Nutzung von 3D-Darstellungen in touristischen Projekten. Um einen Eindruck der Möglichkeiten von 3D-Visualisierungen zu vermitteln, werden im Folgenden einige beispielhafte 3D-Visualisierungen aus diesen Themenbereichen beschrieben:

Im Maschinenbau werden 3D-Visualisierungen verwendet, um Werkstücke zu modellieren (siehe Abbildung 2.6(a)), oder die Bewegungen von Werkzeugmaschinen oder Robotern realitätsnah darzustellen. Der Informationsgehalt bei solchen Simulationen ist höher als in statischen oder dynamischen 2D-Darstellungen und bietet durch die schnelle Erfassung von Prozesssituationen im praktischen Betrieb Vorteile.

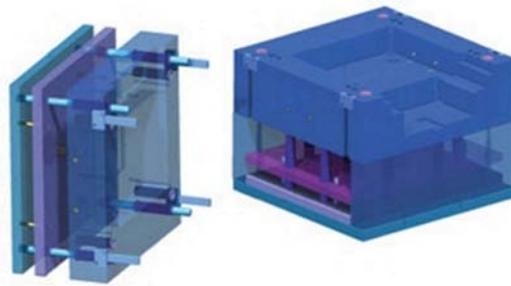
Das Projekt „Dom von Siena“, vom Fraunhofer Institut Graphische Datenverarbeitung (IGD), ist ein schönes Beispiel für die architektonische 3D-Visualisierung eines Gebäudes, das mit Hilfe von zusätzlichen Informationen aus den Bereichen Kunst, Geschichte und Architektur für touristische Zwecke eingesetzt werden kann. Der Nutzer kann über die Karte des Doms navigieren und sich mit einem Avatar (virtuelle Person) unterhalten. Je nach Standort des Betrachters im virtuellen Dom stehen passende Informationen zur Verfügung (siehe Abbildung 2.6(b)) [KNÖPFLE 2004].

Die Visualisierung des Nymphaeums aus Sagalassos in der Türkei ist ein Beispiel für die archäologische 3D-Rekonstruktion eines Gebäudes. Ziel des Projektes ist die detailgetreue und photorealistische Nachbildung des Gebäudes als virtuelles Modell [GOOL et al. 2004].

Ein Beispiel für ein 3D-Stadtmodell einer Touristenregion wird im Projekt „3D Simulation of the Tourist Core Area of Niagara Falls, Canada: A Tool For Site Analysis and Assessment“ aufgezeigt. Im Projekt wird ein photorealistisches Stadtmodell der Region um die Wasserfälle erzeugt. Mit diesem Modell können Sichtanalysen des für den Tourismus interessanten Bereichs durchgeführt werden. Diese Analysen sind für die Weiterentwicklung des Stadtteils notwendig, weil dort neuerdings Häuser mit bis zu 30 Stockwerken gebaut werden dürfen [MILLS 2002].

## 2.3 Der Erfahrungshorizont des Menschen

Der Mensch spielt bei der Visualisierung von Daten eine wichtige Rolle, denn zwischen der Darstellung von Daten auf einem Ausgabemedium und der Entscheidungsfindung des Menschen aufgrund des dargestellten Sachverhaltes liegt die Wahrnehmung der Daten im



(a) Werkstück [INTERCAM DEUTSCHLAND GMBH 2005]



(b) Dom von Siena [FRAUNHOFER FÜR GRAPHISCHE DATENVERARBEITUNG, DARMSTADT 2005]

Abbildung 2.6: Beispiele von 3D-Visualisierungen

menschlichen Gehirn, und diese Wahrnehmung ist subjektiv. Menschen sind nicht in der Lage, die *Realität* an sich zu erkennen:

„The real world is beyond man’s capacity to perceive, i.e., the human is not able to wholly analyse the real world in an absolute way“ [BÄHR und LENK 2002].

Der Mensch hat eine eigene subjektive Wahrnehmung und bildet sich damit seine eigene „Projektion der Realität“. Diese subjektive Realität wird mit Hilfe der Erfahrungen erzeugt, die ein Mensch im Lauf seines Lebens gemacht hat. Da Menschen unterschiedliche Erfahrungen machen, unterscheiden sich auch die Projektionen der Realität. Deswegen ist die Definition des Begriffes der Realität schwierig und ein Forschungsthema im Bereich der Wissenschaft. Wikipedia definiert die Realität als das,

„was unabhängig vom Subjektiven, also von Wahrnehmung, Gefühlen und Wünschen objektiv der Fall ist und existiert [WIKIPEDIA 2005a]“.

In der Wahrnehmung des Menschen existiert lediglich eine Abbildung der objektiven Realität. Die Daten einer Visualisierung beschreiben die objektive Realität, aber in der Wahrnehmung des Menschen existiert lediglich eine Abbildung dieser objektiven Realität. Daraus folgt, dass eine Visualisierung nicht objektiv sein kann, da der Erzeuger der Visualisierung mit Hilfe der Visualisierung lediglich seine subjektive Abbildung der Realität beschreibt. Ein Betrachter der Visualisierung nimmt diese wiederum subjektiv wahr.

[BESTENREINER 1988] unterteilt den für die Wahrnehmung benutzten Sehapparat des Menschen in einen optischen und sensorischen Teil der außerdem das Gehirn für das Zustandekommen der Sehleistung benötigt. Analog dazu unterteilt [ALBERTZ 2001] die Wahrnehmung in drei Komponenten:

1. Der physikalische Anteil beschreibt die optische Abbildung der elektromagnetischen Strahlung auf der Netzhaut.
2. Der physiologische Anteil besteht aus der Reizaufnahme der lichtempfindlichen Zellen der Netzhaut und der Leitung von Signalimpulsen zum Gehirn.
3. Das eigentliche Wahrnehmungserlebnis ist ein psychologischer Prozess.

Beim psychologischen Prozess werden die aufgenommenen Reize, die für jeden normal-sichtigen Beobachter gleich sind, im Gehirn verarbeitet. Dabei findet eine flächenhafte



Abbildung 2.7: Beispiel für flächenhafte Aufteilung der Objekte in der Wahrnehmung

und eine räumliche Gliederung des Sehfeldes statt.

Die flächenhafte Gliederung teilt das Sehfeld in abgegrenzte Einzelflächen auf. Einige Elemente der flächenhaften Aufteilung werden als Objekte wahrgenommen, andere als unstrukturierter Hintergrund. Deswegen kann der Betrachter von Abbildung 2.7 das Waldgebiet leicht von den Ackerflächen abgrenzen.

Neben der flächenhaften Gliederung findet auch eine räumliche Gliederung des Sehfeldes statt. Die Erfahrungen aus unserer dreidimensionalen Realität helfen, wahrgenommene Bilder räumlich umzusetzen. Die folgenden Effekte werden dabei benutzt [ALBERTZ 2001] [SUTER 1997]:

- Die Lineare Perspektive beschreibt die scheinbare Konvergenz von parallelen Linien.
- Die Detailperspektive beschreibt die Verkleinerung von Mustern auf Oberflächen mit zunehmender Distanz.
- Durch die Luftperspektive erscheinen weit entfernte Objekte bläulich und unscharf.
- Verdeckungen indizieren, dass teilweise verdeckte Objekte weiter vom Betrachter entfernt sind als Objekte, die komplett wahrgenommen werden.
- Da dem Betrachter die absolute Größe von vielen Objekten bekannt ist, kann er von der relativen Größe auf die Entfernung schließen.
- Die reflektierte Lichtenergie hängt von der Distanz zwischen Betrachter und Objekt ab.
- Aus der Schattierung beleuchteter Objekte kann auf die Position verschiedener Objektteile geschlossen werden.
- Die Geschwindigkeit von bewegten Objekten auf der Netzhaut ist von deren Entfernung abhängig.
- Beim stereoskopischen Sehen wird aufgrund des Augenabstandes ein Objekt in zwei unterschiedlichen Netzhautbildern abgebildet. Die beiden Netzhautbilder verschmelzen und bilden einen räumlichen Gesamteindruck.
- Die Konvergenz der Augenachsen, die für die Fokussierung von Objekten notwendig ist, kann im Nahbereich die Tiefenwahrnehmung unterstützen.
- Unscharfe Objekte werden in einer anderen Entfernung gesehen als scharfe Objekte.

Werden diese Effekte bei der Visualisierung von virtuellen 3D-Welten benutzt, die auf zweidimensionalen Ausgabemedien dargestellt werden, bildet sich in der Vorstellung des Menschen eine räumliche 3D-Szene.

Ein weiterer Punkt, der für Visualisierungen wichtig sein kann und vom Erfahrungsschatz des Menschen beeinflusst wird, ist die Bedeutung von Farben [DOMIK 2004]. Dabei ist die Bedeutung kontextabhängig. So haben bestimmte Farben Einfluss auf die Aufmerksamkeit des Betrachters. Grün bedeutet: alles ist in Ordnung. Gelb bedeutet: Achtung! Und rot bedeutet: Gefahr!

Andererseits verknüpft der Betrachter mit bestimmten Farben Objektbedeutungen aus der Realität. Abbildung 2.8 zeigt ein Beispiel: Ein Betrachter assoziiert mit einer blauen Oberfläche innerhalb einer Landschaftsdarstellung aufgrund des kulturellen Hintergrundwissens eine Wasseroberfläche, da Wasser in Bildern und Karten häufig blau dargestellt wird. Die Bedeutung einer grünen Oberfläche müsste mit Hilfe von zusätzlichen Informationshinweisen erläutert werden. Die Farbbedeutungen helfen dem Betrachter bei der Interpretation der 3D-Szene.

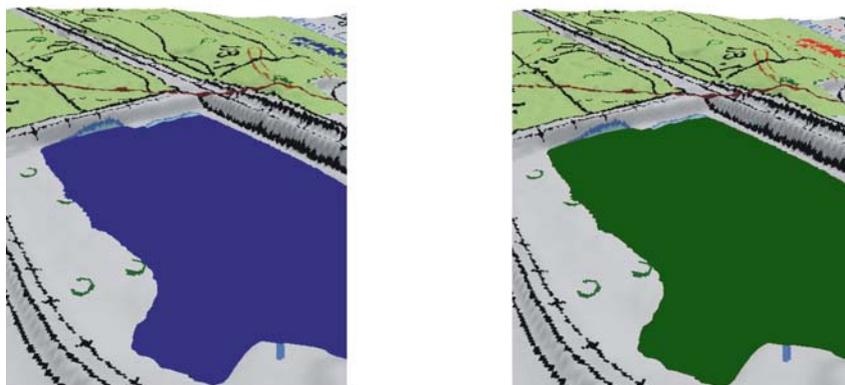


Abbildung 2.8: Die blaue Farbe hilft bei der Erkennung von Wasser

Die Erfahrungen des Menschen beeinflussen also seine Wahrnehmung. Deswegen sollten die dadurch auftretenden Effekte für die Erzeugung von 3D-Visualisierungen so genutzt werden, dass sie dem Menschen die Interpretation der Visualisierung erleichtern.

## 2.4 3D-Geovisualisierung: Ein Spezialfall der 3D-Visualisierung

Ein großes Anwendungsgebiet der 3D-Visualisierung ist die 3D-Geovisualisierung. Sie kombiniert die Geovisualisierung, die georeferenzierte Objekte visualisiert, mit den Techniken und Möglichkeiten der 3D-Visualisierung. Da einige Merkmale von 3D-Geovisualisierungen auch für 3D-Visualisierungen im Umweltbereich interessant sind, werden sie hier diskutiert.

### 2.4.1 Visualisierung von Geodaten in Geoinformationssystemen

Eine wesentliche Aufgabe der Visualisierung ist die Darstellung von Daten. Diese Daten können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Die Daten für die Geovisualisierung entstammen der realen Welt. Solche Daten, die mit Hilfe von Messgeräten erfasst oder durch Beobachtungen gewonnen werden, werden als Geodaten bezeichnet und sind folgendermaßen definiert:

„[Geodaten sind raumbezogene Daten. Darunter] versteht man Informationen, die durch eine Position im Raum direkt oder indirekt referenzierbar sind. Der Raum ist dabei definiert durch ein Koordinatensystem, das den Bezug zur Erdoberfläche herstellt [BUHMANN und WIESEL 2002].“

Geodaten besitzen somit einen geographischen Raumbezug, das heißt, die Koordinaten der Daten liegen in einem geodätischen Referenzsystem vor. Sie kommen in *Geoinformationssystemen* zum Einsatz, die nach der Definition eines Landinformationssystems der Fédération Internationale de Géomètres (FIG) folgendermaßen definiert werden können:

„[A Geoinformation System is] a tool for planning development and environmental control as well as an instrument of decision support. On the one hand, it consists of a Georeferenced Database, on the other hand of techniques for data acquisition, actualisation, processing and visualization of the results. The semantic data are geometrically related to a homogenous georeferenced coordinates system allowing controlled interrelation of the information [BÄHR und VÖGTLE 1999].“

Geoinformationssysteme (GI-System) (GIS) sind heute allgemein akzeptierte Werkzeuge für die Verarbeitung raumbezogener Daten. Allerdings beschränken sich viele klassische GI-Systeme immer noch auf die Visualisierung von zweidimensionalen Daten, auch wenn inzwischen einige Erweiterungen zur 3D-Visualisierung innerhalb von GIS vorhanden sind (siehe Abschnitt 3.3.2). Interessant für diese Arbeit ist jedoch in erster Linie die Visualisierung von umweltbezogenen dreidimensionalen Daten. Diese sind auch raumbezogen, müssen aber nicht zwingend in einem Geoinformationssystem dargestellt werden. Deswegen wird im Folgenden auf die Möglichkeiten der allgemeinen 3D-Geovisualisierung eingegangen.

## 2.4.2 Merkmale der 3D-Geovisualisierung

Die 3D-Geovisualisierung ist eine Spezialform der allgemeinen Visualisierung und kann mit Hilfe der folgenden Merkmale beschrieben werden:

- „Die Visualisierung erfolgt in einem dreidimensionalen (euklidischen und kartesischen) Darstellungsraum. Mathematisch ausgedrückt heißt dies, dass jeder Punkt in diesem Raum durch die Angabe dreier Koordinaten  $x, y, z \in \mathbb{R}$  beschrieben wird, wobei  $\mathbb{R}$  die Menge der Gleitkommazahlen bezeichnet [GEOINFORMATION.NET 2004].“
- „Die zu visualisierenden Objekte liegen georeferenziert vor. Das heißt, dass die Objektkoordinaten in einem geeigneten geodätischen Referenzsystem vorgehalten werden [GEOINFORMATION.NET 2004].“
- Die Visualisierung der Geländeoberfläche ist häufig ein zentraler Bestandteil einer Geovisualisierung. Diese Tatsache hat Auswirkungen auf die Eigenschaften von 3D-Geovisualisierungen:

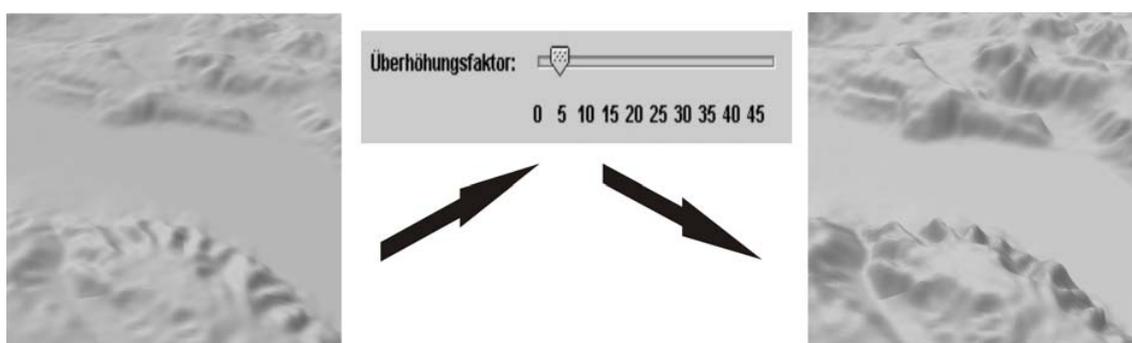


Abbildung 2.9: Überhöhung der Geländedarstellung

Da Geländehöhenverhältnisse bei wirklichkeitstreuer Visualisierung schlecht zu erkennen sind, besitzen vielen 3D-Geovisualisierungen Möglichkeiten für eine vertikal überhöhte Darstellung (siehe Abbildung 2.9). Dies wird mit Hilfe einer Streckung der Höhenachse realisiert und darf sich nicht auf Symbole oder Beschriftungen auswirken.

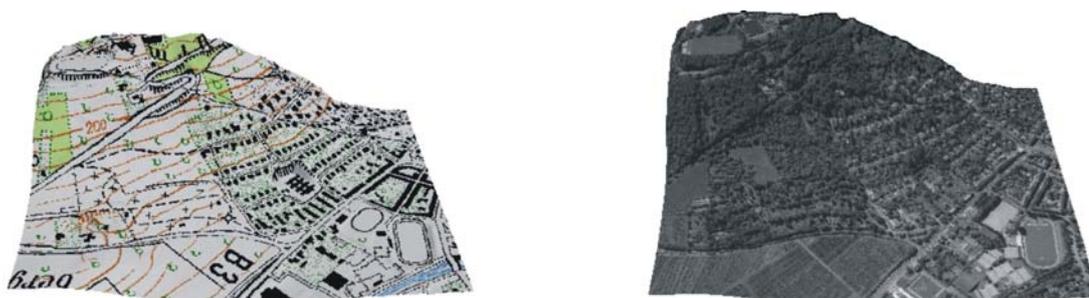


Abbildung 2.10: Gelände mit topograph. Karte (li.) und Orthophoto (re.)

Außerdem dient das Gelände oft als zusätzlicher Träger thematischer Informationen. Topographische Karten oder Orthophotos können als „Texturbilder“ (siehe Abschnitt 3.1.3.5) verwendet werden und auf die Geländeoberfläche aufgebracht werden (siehe Abbildung 2.10).

Der folgende Abschnitt vermittelt einen Eindruck über die verschiedenen Einsatzgebiete der 3D-Geovisualisierung.

### 2.4.3 Anwendungen der 3D-Geovisualisierung

Die verschiedenen Anwendungen der 3D-Geovisualisierung lassen sich in Kategorien einteilen:

- **Stadtmodelle** sind durch die Anforderungen der Mobilfunknetzbetreiber inzwischen weit verbreitet. Beispiele für Stadtmodelle werden in [BAUER and MOHL 2005] (Stuttgart) und [SCHILLING et al. 2005] (Hamburg (siehe Abbildung 2.11)) beschrieben.



Abbildung 2.11: Stadtmodell von Hamburg aus: [COORS und ZIPF 2005]

- Im Bereich der **Geowissenschaften** behandeln Anwendungen zum Beispiel umweltrelevante Aufgaben, wie die Visualisierung von Atmosphärenmodellen [BERNARD 2005] oder die 3D-Visualisierung von geologischen Modellen (siehe Abbildung 2.12) [THOMSEN et al. 2005].

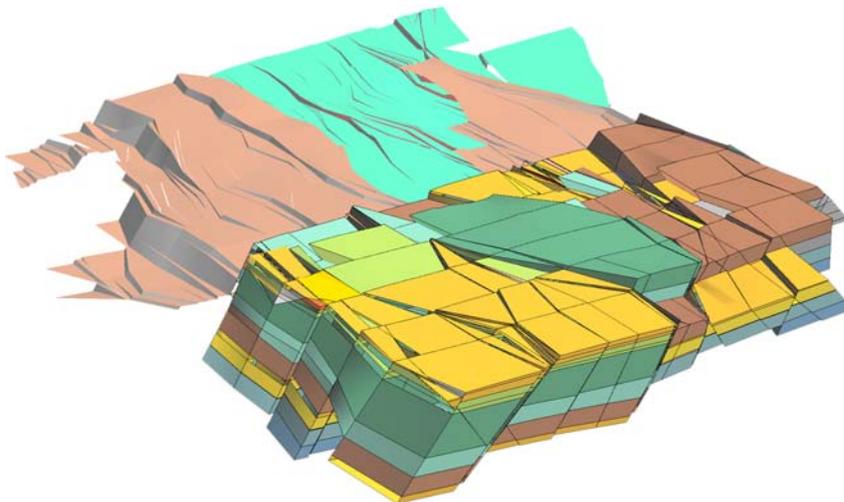


Abbildung 2.12: Geologisches Modell aus: [COORS und ZIPF 2005]

- Systeme wie „Augmented Reality im Katastrophenmanagement“ [LEEBMANN et al. 2005] und „Archeoguide“ [IST 2004] benutzen **AR-Technologien** (siehe Abschnitt 3.2.1.4), um die Realität mit zusätzlichen Informationen zu erweitern.
- Außerdem existieren **spezialisierte Anwendungen**, wie zum Beispiel der Einsatz von 3D-Geoinformationssystemen in der Aviatik [NEBIKER 2005] oder die 3D-Darstellung von Denkmälern [BÖHLER 2005].

## 2.5 Ableitung von Randbedingungen der 3D-Visualisierung in Umweltanwendungen

Die bisher vorgestellten Methoden und Techniken von Visualisierungen, werden nun im Zusammenhang mit der Erzeugung eines Systems für 3D-Visualisierungen in der Umweltinformatik diskutiert. Die Diskussion orientiert sich an der Herangehensweise für eine gute Visualisierung aus dem „Curriculum for Visualization“ (siehe 2.1) [DOMIK 2004].

### 2.5.1 Daten für 3D-Visualisierungen im Umweltbereich

Umweltrelevante Daten, die in den 3D-Visualisierungen dargestellt werden sollen, bilden das Fundament für das Visualisierungssystem, das in dieser Arbeit entwickelt werden soll. Welche Daten für 3D-Visualisierungen in Umweltanwendungen geeignet sind oder benötigt werden, wird in Kapitel 4 behandelt. Dort wird auch diskutiert, welche Arten von Daten vorhanden sind und wie sie vorgehalten werden.

Eine wesentliche Eigenschaft der Daten ist allerdings die Existenz eines Raumbezugs. Deswegen sollte sich ein System für 3D-Umweltvisualisierungen an den Merkmalen von 3D-Geovisualisierungen orientieren (siehe Abschnitt 2.4.2).

### 2.5.2 Der Visualisierungszweck

In dieser Arbeit soll ein generisches System geschaffen werden, mit dessen Hilfe unterschiedliche 3D-Visualisierungen im Umweltbereich realisiert werden können. Der spezielle Visualisierungszweck für eine einzelne Anwendung, die mit dem System entwickelt wird, kann und soll vor der Entwicklung des Systems nicht festgelegt werden. Deswegen orientiert sich der Zweck der 3D-Umweltvisualisierung an den Zielen des Forschungsgebietes der wissenschaftlichen Visualisierung (siehe Abschnitt 2.1).

Mit Hilfe des in dieser Arbeit entwickelten Systems soll es möglich sein,

- die vorhandenen Daten zu erforschen und zu analysieren.
- verschiedene Datensätze visuell zu kombinieren, um somit neue Erkenntnisse zu ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist die Visualisierung von Luftströmungen in einem Stadtmodell, die Hinweise auf das Stadtklima geben können.
- Nicht-Sichtbares sichtbar zu machen. Ein Beispiel dafür ist die Visualisierung geologischer Schichten, die in der Realität zwar existieren, für den Betrachter aber nicht sichtbar sind.
- die Dimensionalität der Daten auszunutzen und diese entsprechend darzustellen.
- Visualisierungen zu erzeugen, die als Grundlage für eine bessere Kommunikation dienen. So können zum Beispiel komplexe raumbezogene umweltrelevante Zusammenhänge mittels 3D-Visualisierungen auch für Laien verständlich dargestellt werden.

### 2.5.3 Der Nutzer

Die Visualisierung muss nicht nur an den Zweck angepasst werden, sondern auch an die Bedürfnisse des Nutzers. Dabei müssen einerseits die in diesem Kapitel diskutierten Wahrnehmungsfähigkeiten des Nutzers beachtet werden und andererseits seine Kenntnisse. Da besondere Hardwarekenntnisse nicht nötig sind, müssen lediglich die folgenden Kenntnisse untersucht werden:

1. Softwarekenntnisse, die notwendig sind, um das Visualisierungssystem zu bedienen
2. und Fachkenntnisse, die notwendig sind, um die Visualisierung zu erzeugen und die Ergebnisse interpretieren zu können.

Die Vorkenntnisse der Nutzer variieren je nach Visualisierungszweck und Anwenderzielgruppe (siehe Abschnitt 7.1.1.1 und Abschnitt 7.1.2.1).

### 2.5.4 Transformation der Daten in ein Koordinatensystem

Die meisten umweltrelevanten Daten sind georeferenziert. Damit ist die Grundlage für eine gemeinsame Visualisierung gegeben. Alle notwendigen Daten müssen in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert werden, das für die Visualisierung verwendet wird. Durch die Visualisierung der Daten in diesem Koordinatensystem, werden die Daten wahrnehmbar.

### 2.5.5 Die Repräsentation

Die Repräsentation, die für 3D-Visualisierungen im Umweltbereich verwendet werden sollte, hat einige entscheidende Merkmale, die sich aufgrund der Daten und des Visualisierungszwecks ergeben. In den angegebenen Abschnitten werden die Realisierungen der Repräsentationen für das 3D-Umweltvisualisierungssystem beschrieben:

- Wie bereits erwähnt sind viele der Daten, die verwendet werden können, georeferenziert und besitzen Koordinaten. Das heißt, die Daten sollten in einem Koordinatensystem visualisiert werden (siehe Abschnitt 6.2.2.4).
- Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten für 3D-Visualisierungen im Umweltbereich zu untersuchen. Deshalb sollen die Daten, unabhängig von der Dimension, in der sie beobachtet werden, in einem dreidimensionalen Darstellungsraum wiedergegeben werden (siehe Abschnitt 3.1.1).

Die Visualisierung erfolgt in vielen Fällen auf einem zweidimensionalen Ausgabemedium. Deswegen müssen für die Realisierung der 3D-Visualisierung Tiefenhinweise benutzt werden. Viele der bereits beschriebenen Tiefenhinweise sind in der 3D-Visualisierungssoftware bereits enthalten. 3D-Szenen können perspektivisch dargestellt werden, nahegelegene Objekte verdecken weiter entfernte Objekte, oder die Wahrnehmung der Objektform wird mit Hilfe von Schattierungen verbessert (siehe Abschnitt 6.2.3).

- Viele der in Umweltvisualisierungen dargestellten Objekte haben einen Bezug zur Wirklichkeit. Die geometrische Form dieser Objekte kann mit Hilfe von Oberflächendarstellungen realisiert werden, während sich das Erscheinungsbild der Objekte an der Wirklichkeit orientieren sollte. Hierfür können zum Beispiel Farben (Himmel  $\equiv$  hellblau, Wasser  $\equiv$  blau, Vegetation  $\equiv$  grün, etc.), naturgetreue Texturen oder eine passende Beleuchtung verwendet werden. Die Farbzurordnung kann nicht vom 3D-Umweltvisualisierungssystem festgelegt werden. Sie wird erst bei der Entwicklung einer speziellen Anwendung relevant und ist deswegen Aufgabe des Anwendungsprogrammierers (siehe Beschreibung der Technosphärenelemente in Abschnitt 7.1.2.3).
- In Umweltvisualisierungen können außerdem Objekte vorkommen, die symbolische Bedeutungen haben. Wissenschaftlich untersucht wird die Bedeutung solcher Objekte in der Semiotik, der Wissenschaft der Zeichen [ENGEMANN 2005]. Das Ziel in Umweltvisualisierungen ist, passende Zeichen in die Visualisierung zu integrieren und mit den wirklichkeitsnahen Objekten zu kombinieren (siehe Abschnitt 5.1.2).
- Außerdem ist die Visualisierung von Volumenobjekten mit entsprechenden Schnittflächen oder die Visualisierung von Strömungen interessant. Diese sollten ebenfalls mit den anderen Objekten kombinierbar sein.
- Die Visualisierung von statistischen Zusammenhängen kann für die Umweltinformatik ebenfalls relevant sein. Für 2D- und auch 3D-Statistiken existieren allerdings viele professionelle Anwendungen. Interessant im Zusammenhang mit dem Raumbezug vieler umweltrelevanter Daten ist die Erzeugung von sogenannten *Prism Maps*, die eine statistische 3D-Visualisierung mit georeferenzierten Daten verbinden (siehe Abschnitt 5.1.2).

### 2.5.6 Die Interaktion

Ein generisches Visualisierungssystem sollte nicht nur die Möglichkeit enthalten, die Visualisierung dynamisch anzupassen. Es sollte auch möglich sein, das Konzept der Bedienung, also die Verwendung unterschiedlicher Interaktionsfunktionen, an verschiedene Visualisierungen anzupassen. Die Bedeutung der Interaktion wird in Abschnitt 3.1.3.6 erklärt, während die Realisierung des Interaktionskonzeptes für das entwickelte 3D-Umweltvisualisierungssystem in Abschnitt 6.2.4 beschrieben wird.

Ein Vorteil einer 3D-Visualisierung ist, dass komplexe räumliche Sachverhalte dargestellt werden können. Der visualisierte Sachverhalt wirkt je nach Betrachterposition und -perspektive unterschiedlich. Deshalb sollte der Nutzer die Möglichkeit haben, mit der erzeugten 3D-Szene zu interagieren. Die wichtigste Funktion hierbei ist die Navigation in der Szene, deren Realisierung für das 3D-Umweltvisualisierungssystem in Abschnitt 6.2.4.1 beschrieben ist, gefolgt von Möglichkeiten für die Analyse relevanter Szenenteile. Diese Prinzipien gelten für 3D-Visualisierung in der Umweltinformatik genauso wie für allgemeine 3D-Visualisierungen. Deswegen sollte das zu entwickelnde System verschiedene Interaktionsmöglichkeiten enthalten. Da die Visualisierung der Geländeoberfläche, wie bereits erwähnt, ein wichtiger Bestandteil sowohl von 3D-Geovisualisierungen als auch von 3D-Umweltvisualisierungen ist, darf eine Funktion zur interaktiven Überhöhung der

vertikalen Achse nicht fehlen. Die Realisierung dieser Funktion ist in Abschnitt 6.2.4.2 beschrieben.

### **2.5.7 Der Visualisierungsprozess**

Für die eigentliche Realisierung einer 3D-Umweltvisualisierung kann das Schema der Visualisierungspipeline übernommen werden (siehe Abbildung 2.4 in Abschnitt 2.1). Zunächst werden alle notwendigen Daten zusammengetragen. Diese werden anschließend in ein gemeinsames Koordinatensystem gewandelt und mit Hilfe einer geeigneten Software gerendert. Das entstehende Bild wird auf dem Ausgabemedium dargestellt.

### **2.5.8 Die Software**

Welche Software für die Realisierung eines generischen 3D-Umweltvisualisierungssystems geeignet ist, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Abschnitt 3.3 gruppiert heute verfügbare Software in Kategorien und beschreibt wichtige Merkmale der Systeme. Die Entscheidung für eine Software für das in dieser Arbeit erzeugte generische System fällt in Abschnitt 6.1.

# Kapitel 3

## Technische Umsetzungen von 3D-Visualisierungen

Dieses Kapitel behandelt die aktuellen 3D-Visualisierungstechniken, die prinzipiell für die Realisierung des 3D-Umweltvisualisierungssystems in Frage kommen. Außerdem vermittelt es einen Überblick der auf dem Markt vorhandenen 3D-Visualisierungssysteme. Um dies zu erreichen, werden die folgenden Themen behandelt:

- Die Graphik-Pipeline beschäftigt sich mit 3D-Visualisierungstechniken für die digitale Darstellung von 3D-Daten.
- Der Hardwareabschnitt stellt die gängigen Hardwarekomponenten vor, die für 3D-Darstellungen verwendet werden können.
- Der Abschnitt über die Software gibt einen Überblick über die heute erhältlichen 3D-Visualisierungssysteme.
- Die Preise der Hard- und Software werden im Abschnitt Kosten diskutiert.
- Abschließend wird der Einsatz der vorgestellten Komponenten und Systeme für die Entwicklung eines generischen 3D-Umweltvisualisierungssystems diskutiert.

### 3.1 Graphik-Pipeline

Die Graphik-Pipeline besteht aus den Phasen *Modeling (Modellierung)* und *Rendering*. In beiden Phasen kommen verschiedene Koordinatensysteme zum Einsatz, die im Abschnitt 3.1.1 beschrieben werden.

Die Modellierung legt die numerische Repräsentation der Objekte in Form, Größe und Dimension fest und wird im Abschnitt 3.1.2 behandelt.

„Rendering is the process of drawing the geometrical model to the hardware display so the viewer can see the object’s numerical representation [BROWN and PETERSEN 1999].“

Notwendige Techniken für das Rendering werden im Abschnitt 3.1.3 beschrieben.

### 3.1.1 Koordinatensysteme

Bei der Visualisierung von Objekten in einer 3D-Szene spielen in den unterschiedlichen Phasen der Modellierung und des Rendering verschiedene Koordinatensysteme eine Rolle. Im Folgenden werden diese Koordinatensysteme begrifflich definiert:

- *Objektkoordinatensystem:*  
3D-Objekte besitzen häufig ein eigenes lokales Koordinatensystem, das Objektkoordinatensystem, in dem die Geometrie des Objektes definiert wird.
- *Geokoordinatensystem:*  
Das Koordinatensystem des Darstellungsraums der 3D-Szene wird als Geokoordinatensystem bezeichnet. Abhängig vom Inhalt der 3D-Szene kann das Geokoordinatensystem große (zum Beispiel 3D-Visualisierung der Erde) oder kleine (zum Beispiel dreidimensionale Moleküldarstellungen) Bereiche abdecken.
- *Weltkoordinatensystem:*  
Das Koordinatensystem des dreidimensionalen Grafiksystems ist das Weltkoordinatensystem. Mit Hilfe des Weltkoordinatensystems werden Objekte in der 3D-Szene lokalisiert. In Java 3D ist dieses System folgendermaßen definiert (siehe Abbildung 3.1):
  - Die positive x-Achse zeigt nach rechts.
  - Die positive y-Achse zeigt nach oben.
  - Die positive z-Achse zeigt aus der Bildebene dem Betrachter entgegen.

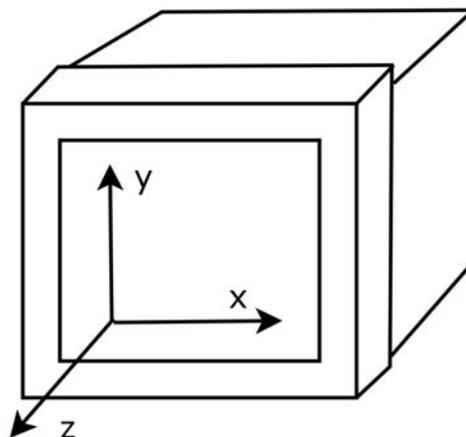


Abbildung 3.1: Koordinatensystem von Java 3D

- *Koordinatensystem des Ausgabemediums:*  
Das Koordinatensystem des Ausgabemediums beschreibt die Lage der Objekte auf dem Ausgabegerät. Es beschreibt zum Beispiel die Lage von Pixeln auf einem Monitor oder die Lage von gedruckten Punkten auf einer DIN-A4-Seite im Drucker.

### 3.1.2 3D-Datenmodelle

Datenmodell ist die

"generalisierte, benutzerdefinierte Darstellung von Daten, die die reale Welt abbilden.“ [BUHMANN und WIESEL 2002].

Damit bildet das Datenmodell die Grundlage für die Visualisierung. Im Folgenden werden einige Aspekte vorgestellt, die durchdacht werden sollten, bevor eine Visualisierung realisiert wird.

[DOMIK 2004] und [SCHUMANN und MÜLLER 2000a] stellen charakteristische Merkmale von Visualisierungen zusammen, deren Betrachtung bei der Erzeugung von Datenmodellen sinnvoll ist:

- Qualitative Daten verwenden nicht metrische Skalen. Sie können in Daten mit ordinalen Merkmalen (Skala mit Ordnungsrelation) und in Daten mit nominalen Merkmalen (Skala ohne Ordnungsrelation) aufgeteilt werden.  
Im Gegensatz zu den qualitativen Daten verwenden quantitative Daten metrische Skalen. Quantitative Daten können diskret oder kontinuierlich skaliert sein. Dabei können kontinuierliche Daten durch Funktionen beschrieben werden, während nicht kontinuierliche Daten auch durch eine topologische Struktur beschrieben werden können.
- Daten, die eine unterschiedliche Anzahl von Komponenten enthalten, können mit Hilfe von verschiedenen Datentypen beschrieben werden. Dafür werden zum Beispiel skalare Größen (definiert durch eine Zahl) oder Vektoren (enthalten zusätzlich Informationen über die Richtung) benutzt.
- Die Datenverlässlichkeit muss analysiert werden.
- Der Gültigkeitsbereich der Daten muss definiert werden.
- Der Zeitkontext muss betrachtet werden.
- Außerdem sollte die Dimensionalität der Visualisierung festgelegt werden. Vor der Realisierung einer allgemeinen Visualisierung sollte klar sein, welche Dimension der Darstellungsraum der Visualisierung hat und welche Dimension die Objekte im Darstellungsraum besitzen [SCHUMANN und MÜLLER 2000a].

Diese Merkmale bilden die Basis für die Entwicklung eines geeigneten Datenmodells. Im Rahmen dieser Dissertation werden 3D-Visualisierungstechniken für die Umweltinformatik untersucht. Deswegen werden im Folgenden Datenmodelle diskutiert, deren Gemeinsamkeit ist, dass ihre Objektdarstellungen in einem *dreidimensionalen Darstellungsraum (3D-Raum)*, der durch drei zueinander orthogonale Achsen aufgespannt wird, visualisiert werden.

### 3.1.2.1 Modellierung von Einzelobjekten

Zunächst wird die geometrische Modellierung von raumbezogenen Einzelobjekten in einem solchen 3D-Raum behandelt. Im Folgenden werden verschiedene geometrische Modelle vorgestellt, mit deren Hilfe raumbezogene Objekte beschrieben werden können, die sich nicht auf die Darstellung geometrischer Grundprimitive beschränken. Mit Hilfe der geometrischen Modelle können also relativ komplexe raumbezogene Objekte erzeugt werden [GEOINFORMATIK-SERVICE 2004b].

Schon im Standardwerk der Computergrafik „Computer Graphics - Principles and Practice“ werden im Bereich der Modellierung zwei Kapitel unterschieden: „Representing Curves and Surfaces“ und „Solid Modelling“, wobei das erste Kapitel die Oberflächenmodellierung behandelt, während letzteres die Visualisierung von Festkörpern beschreibt [FOLEY et al. 1990]. Im Oberflächenmodell werden Objektgeometrien mit Hilfe von polygonalen Netzvermaschungen beschrieben, die Stützpunkte (oder „Vertex, pl. Vertices“) miteinander verbinden. Oberflächenmodelle können auch mit alternativen Objektgeometrien beschrieben werden wie zum Beispiel Bézierflächen, B-Spline-Flächen und anderen. Bei der Visualisierung von Festkörpern können Objekte zum Beispiel durch Volumenelemente („Voxel“) beschrieben werden oder aus Grundprimitiven (Quader, Kugel, ...) zusammengesetzt werden („Constructive Solid Geometry“). Darüber hinaus existieren weitere Techniken für die Visualisierung von Festkörpern, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Die Unterteilung in Oberflächenmodelle und Festkörper spiegelt sich in der gebräuchlichen Aufteilung von geometrischen 3D-Modellen wider [BREUNIG 1996]:

- *Draht-, Kanten- oder Linienmodell:*  
Das Drahtmodell besteht aus Punkten, die durch Drähte, Linien oder Kanten miteinander verbunden sind (siehe Abbildung 3.2 (a)) .
- *Flächenmodell:*  
Das Flächenmodell ist die Weiterentwicklung des Drahtmodells. Zwischen den Linien werden Flächen aufgespannt (siehe Abbildung 3.2 (b)). Alle Flächen eines 3D-Objektes bilden dessen äußere Hülle.
- *Volumenmodell:*  
Das Volumenmodell ist „eine 3-D-Modellierungstechnik, bei der neben äußeren Kanten und Flächen auch innere Strukturen von Körpern darstellbar sind. Eine Modellierungstechnik im Computergraphikbereich ist die Constructive Solid Geometry (CSG).“ (siehe Abbildung 3.2 (c)) [GEOINFORMATIK-SERVICE 2004c].

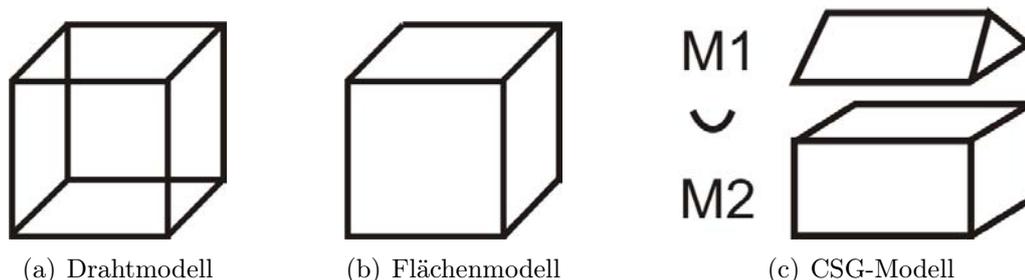


Abbildung 3.2: Geometrische 3D-Modelle

Bei den bis hierher beschriebenen Einzelobjekten können zwei Kategorien unterschieden werden:

- Vertex- oder stützpunkt-basierte Objekte basieren auf Punkten/Punkt-mengen, Linien/ Linienmengen und Dreiecken oder Vierecken (siehe Abbildung 3.3).

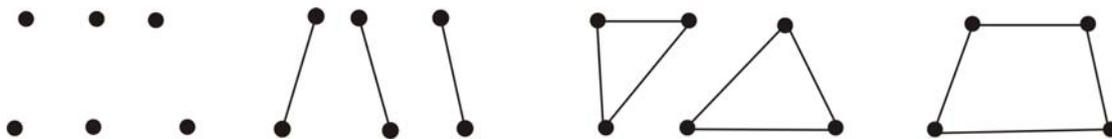


Abbildung 3.3: Geometrielemente von vertex-basierten Einzelobjekten

Die Geometrie von 3D-Objekten wird mit Hilfe dieser Strukturen zusammengesetzt. Dabei wird die Vorderseite einer Fläche durch die Anordnung der Stützpunkte festgelegt. Abbildung 3.4 zeigt ein Jojo ([SUN MICROSYSTEMS (A) 2005]), das aus vier `TriangleFans` (zu einem Fächer angeordnete Dreiecke) zusammengesetzt wurde.

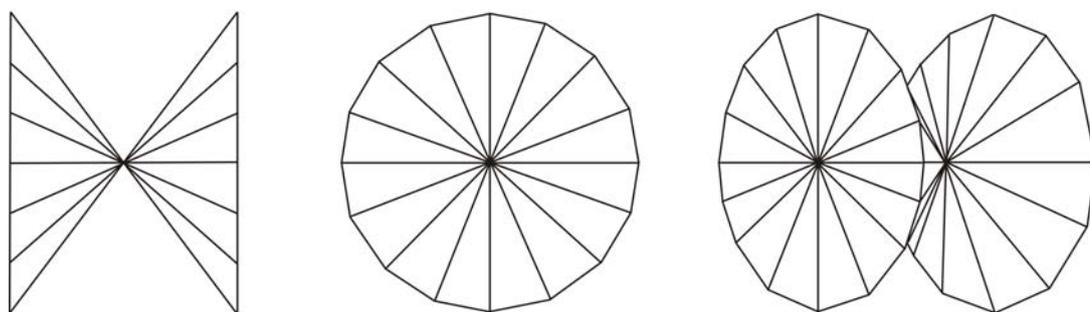


Abbildung 3.4: Der geometrische Aufbau eines Jojo

- Es gibt Einzelobjekte, die analytisch beschrieben werden können. Sie „werden durch analytische Parameter definiert, wie zum Beispiel eine Kugel durch ihren Mittelpunkt und Radius“ [GEOINFORMATION.NET 2004]. Diese Objekte können in Programmen analytisch beschrieben und so gekapselt werden, dass für die Generierung des Objektes lediglich die Parameter angegeben werden müssen.

Darüberhinaus existieren auch andere Formen von Objektvisualisierungen, nämlich die Visualisierung von *Volumendaten* und *Strömungsdaten*.

Volumendaten sind dadurch definiert, dass pro Beobachtungspunkt genau ein skalarer Wert gegeben ist [SCHUMANN und MÜLLER 2000a]. In diesen Bereich fällt auch die Raster-/Voxeldarstellung. Die Volumendarstellung hat im Vergleich zur Oberflächendarstellung eine höhere Aussagekraft. Wichtige Eigenschaften und innere Zusammenhänge werden erfasst und aufgedeckt. Die *Volumenvisualisierung*, also die geometrische Darstellung von Volumendaten, unterscheidet sich grundsätzlich von der Darstellung von Körpern, die primär durch ihre äußere Hülle definiert sind. Für die Volumenvisualisierung existieren verschiedene Strategien [SCHUMANN und MÜLLER 2000a]:

- Dekomposition der Datenmenge in Punkte, Volumenelemente oder Schichten und Visualisierung der einzelnen Elemente. Dabei kann die reguläre von der irregulären Dekomposition unterschieden werden. Bei der regulären Dekomposition wird das Volumenobjekt aus Grundelementen der gleichen Form zusammengesetzt, während bei der irregulären Dekomposition unterschiedliche Primitive zur Bildung des Volumenobjekts benutzt werden.

- Flächenextraktion zur Definition von Isoflächen und Visualisierung der Flächen.
- Semitransparente Ausgabe des Volumendatensatzes.

Strömungsdaten sind auf einem strukturierten Gitter gegeben und besitzen mindestens eine vektorielle Größe, den Geschwindigkeitsvektor [SCHUMANN und MÜLLER 2000a]. Für diese Art von Daten sind ebenfalls besondere Darstellungsstrategien notwendig. Hilfreich sind hier zum Beispiel die Verfahren Pfeildarstellung, Liniendarstellung, Partikelbewegung oder die Darstellung von Strömungsflächen.

### 3.1.2.2 Verwaltung der Einzelobjekte im Szenengraph

Wenn die Modellierung der Einzelobjekte für die Visualisierung festgelegt ist, müssen diese an der richtigen Stelle in einer 3D-Szene dargestellt werden. Dies kann mit unterschiedlichen Techniken realisiert werden. Low-level Graphik Systeme, die solche Visualisierungen realisieren können, sind OpenGL [SGI 2004b] und Direct3D [MICROSOFT 2004]. Techniken, die von den low-level Graphik-Systemen realisiert werden, fallen in den Bereich des Rendering (siehe Abschnitt 3.1.3).

Heutzutage stehen dem Programmierer high-level Graphiksysteme zur Verfügung, welche die komplexen technischen Hintergründe kapseln, damit sich der Programmierer auf die Modellierung der 3D-Szene konzentrieren kann. Ein weit verbreitetes Datenmodell, das die topologische Struktur der 3D-Szene beschreibt, ist ein *Szenengraph*.

Ein Szenengraph ist ein gerichteter azyklischer Graph (DAG: Directed Acyclic Graph). Häufig wird auch eine Baumstruktur benutzt, bei der ein Kindknoten nur jeweils einen Elternknoten besitzen darf (siehe Abbildung 3.5). Welche Szenengraphstruktur verwendet wird, ist abhängig von der Einzelimplementierung des Szenengraphen in der 3D-Graphik-Software. Die Knoten eines Szenengraphen repräsentieren *Shapes*, grafische Attribute (*Appearance*) oder geometrische Attribute (*Transformationen*):

- Shape: Einfache geometrische Objekte werden als Shape bezeichnet. Sie werden hierarchisch unter einem Gruppenknoten angeordnet, um komplexe 3D-Objekt-Formen zu erzeugen [JON 2001a].
- Appearance: Appearance-Knoten realisieren das Erscheinungsbild der 3D-Objekte in Bezug auf die Eigenschaften Farbe, Textur, Schattierung, Reflexion, Lichtemission etc.

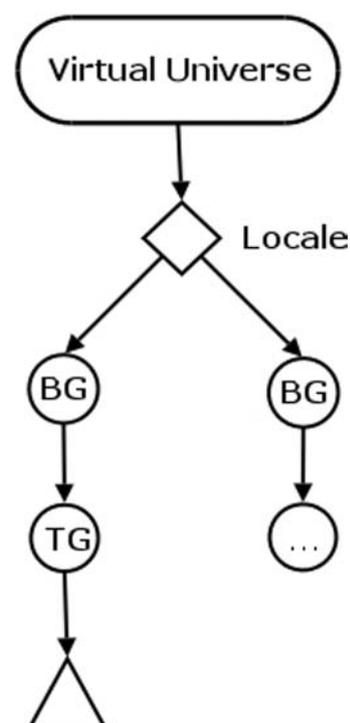


Abbildung 3.5: Szenengraph

- Transformationen: Transformations-Knoten realisieren Translationen, Rotationen

und Skalierungen auf Objekte, die in den nachfolgenden Teilen des Szenengraphen gespeichert sind.

Mit Hilfe der Kanten des Szenengraphen werden die Knoten des Szenengraphen so angeordnet, dass der Szenengraph die aktuelle Struktur der 3D-Szene beschreibt. Diese Struktur ist nicht statisch. Veränderungen der Szene werden durch Änderungen im Szenengraphen realisiert.

Ein Visualisierungssystem, das einen Szenengraphen verwendet, ist Java 3D. Der Szenengraph von Java 3D ist in einer Baumstruktur realisiert, die sich in zwei Teilgraphen aufteilen lässt:

1. Der *ViewBranchGraph* definiert die Parameter, die zur Beschreibung und Rendern der 3D-Szene notwendig sind. Das heißt, dort werden die Eigenschaften der Szene (*PhysicalEnvironment*), des Betrachters der 3D-Szene (*PhysicalBody*) und die Parameter des 3D-Ansichtsfensters (*Canvas3D*) festgelegt (siehe Abbildung 3.6).

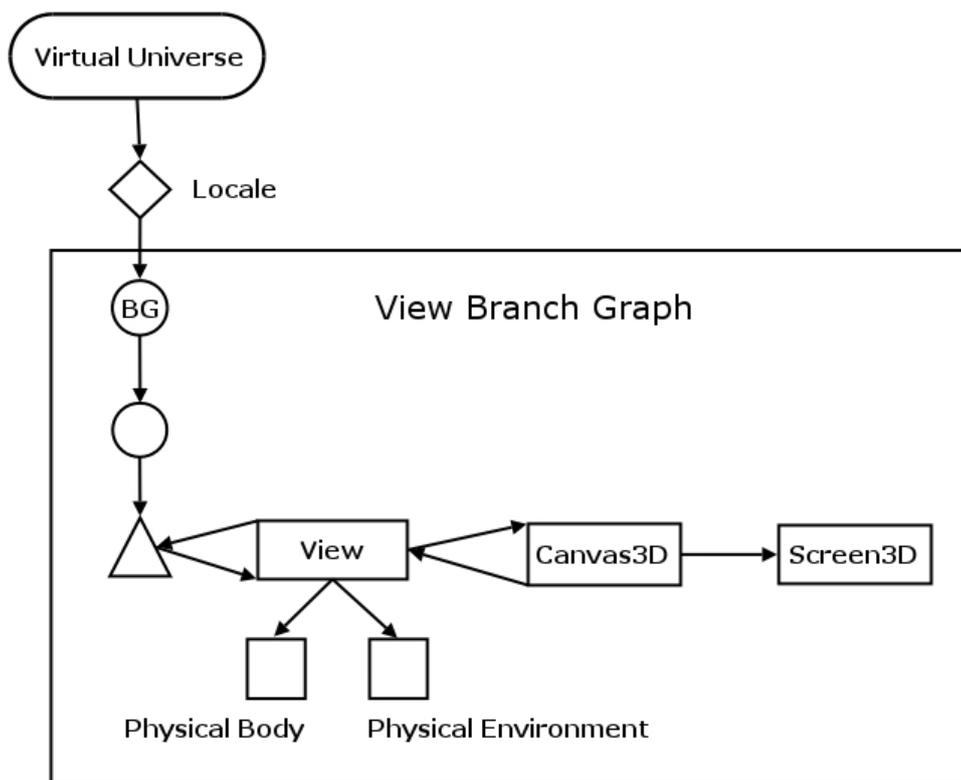


Abbildung 3.6: ViewBranchGraph

2. Im *ContentBranchGraph* wird der Inhalt der 3D-Szene beschrieben. Hier werden zum Beispiel die vorher beschriebenen Einzelobjekte in den Szenegraph integriert. Angenommen das Jojo aus Abbildung 3.4 soll in die 3D-Szene integriert werden. Dann wird seine Geometrie in ein Shape eingefügt. Diese Shape wird mit Hilfe eines Knotens in die Baumstruktur eingefügt (siehe Abbildung 3.7). In dem Moment, in dem die Verbindung geschlossen wird, wird das Jojo in der 3D-Szene sichtbar.

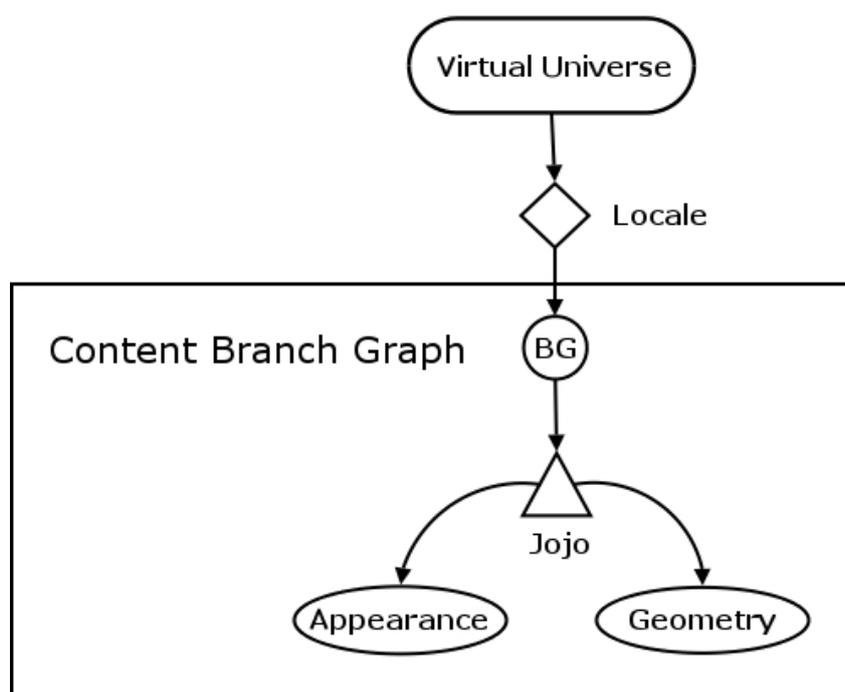


Abbildung 3.7: ContentBranchGraph

Der Szenengraph von Java 3D wird mit Hilfe von `Group`-Knoten unterteilt. Von der Klasse der `Group`-Knoten werden alle anderen Knotenarten in Java 3D abgeleitet. Wichtig sind `BranchGroup`-Knoten und `TransformGroup`-Knoten. Mit Hilfe von `BranchGroup`-Knoten können Teilgraphen in den Szenengraph eingefügt und entfernt werden, während `TransformGroup`-Knoten für die Realisierung von Transformationen verwendet werden. Objektgeometrien werden mit Hilfe von `Shape3D`-Objekten beschrieben, die in der Baumstruktur an der Blattposition verwaltet werden. Jedes `Shape3D`-Objekt kann genau ein `Appearance`-Objekt besitzen, das das Erscheinungsbild des `Shape3D`-Objektes beschreibt. Ebenfalls an der Blattposition werden `Behavior`-Objekte, mit deren Hilfe Nutzeraktionen in den Szenengraph integriert werden können, realisiert.

### 3.1.2.3 Datenmodelle für die Speicherung von 3D-Daten in Datenbanken

Die bisher diskutierten geometrischen 3D-Modelle und 3D-Datenmodelle beziehen sich mehr oder weniger direkt auf die Visualisierung der Objekte in einem Graphiksystem. Die Entwicklung von 3D-Datenmodellen zur Speicherung von dreidimensionalen geometrischen Primitiven und komplexen 3D-Objekten in Datenbanken ist gegenwärtig Forschungsthema in [BREUNIG 2004], [BALOVNEV et al. 2004], [NEBIKER 2002], [BREUNIG et al. 2005] und [BREUNIG and ZLATANOVA 2005]. Das OpenGIS Konsortium arbeitet noch an der Erweiterung der „Simple Feature Specification“ zur Unterstützung von 3D Eigenschaften und es wurde noch kein Konsens für eine dreidimensionale topologische Struktur erreicht [STOTER 2004]. 3D-Modelle sind auch noch nicht in die geometrischen Modelle kommerzieller Datenbankmanagementsysteme integriert. Deswegen werden zur Zeit überwiegend spezifische Lösungen entwickelt, wie in [STOTER 2004], [VAN OOSTEROM et al. 2004] und [WANG und GRÜN 2004] ersichtlich ist.

### 3.1.3 3D-Darstellungstechniken

Abgesehen von der strukturellen Organisation des geometrischen Objektinhalts der 3D-Szene werden für die Visualisierung des Inhaltes einer dreidimensionalen Szene auf einem Ausgabemedium verschiedene Techniken verwendet. Diese Techniken sind in vielen 3D-Visualisierungssystemen enthalten und sind für das Verständnis der Implementierung des generischen 3D-Umweltvisualisierungssystems in Kapitel 6 notwendig. Die folgenden Techniken werden vorgestellt:

- Realisierung des Kameramodells
- Rendering Pipeline
- Farbe und Farbmodelle
- Schattierungsverfahren
- Texture Mapping
- Interaktion und Animation

#### 3.1.3.1 Das Kameramodell

Der Betrachter einer 3D-Szene wird im dreidimensionalen Darstellungsraum durch eine Kamera repräsentiert. Durch die Kamera werden das Blickfeld des Betrachters und die Blickrichtung festgelegt. Das Blickfeld des Betrachters auf die 3D-Szene ist eingeschränkt. Der Effekt ist der gleiche, als wenn der Betrachter die reale Welt durch eine Kamera betrachten würde. In der 3D-Szene wird das Blickfeld mit Hilfe eines Pyramidenstumpfes (*View Frustum*) realisiert. Nur die Objekte, die sich innerhalb des Pyramidenstumpfes befinden, sind im Ausgabemedium sichtbar (siehe Abbildung 3.8). Die Teile der 3D-Szene, die nicht im View Frustum enthalten sind, müssen nicht dargestellt werden und benötigen keinen Platz im Arbeitsspeicher und auf dem Speicher der Graphikkarte.

Form und Größe des Pyramidenstumpfes können vom Programmierer üblicherweise in einem gewissen Rahmen beeinflusst werden. Die Position der vorderen und hinteren Ebene des Pyramidenstumpfes können zum Beispiel verschoben werden. Das Verhältnis der vorderen und hinteren „Clipping“-Ebenen sollte aber einen bestimmten Wert nicht überschreiten, weil es den „Z-Puffer-Algorithmus“ beeinflusst.

Dieser Algorithmus wird verwendet, um festzustellen, welchen Farbwert ein Pixel auf dem Ausgabemedium bekommt. Legt man für jedes Pixel der Oberfläche des Ausgabemediums einen Strahl entlang der z-Achse in die Tiefe der 3D-Szene an, ändert sich der zugehörige Farbwert entlang des Strahles, abhängig davon, welches visualisierte Objekt an dieser Stelle vom Strahl geschnitten wird. Jedes Pixel auf dem Strahl bekommt sowohl einen Farbwert, als auch einen z-Wert zugewiesen. Anhand des z-Wertes wird überprüft, welches Pixel dem Betrachter am nächsten ist und welcher dazugehörige Farbwert, nämlich der vorderste Farbwert auf dem Strahl, der nicht der Hintergrundfarbe entspricht, letztendlich dargestellt werden muss. Durch den Pyramidenstumpf wird festgelegt, wie viele Werte auf dem Strahl existieren und untersucht werden müssen. Wird das Verhältnis der Clipping-Ebenen zu groß, entstehen Schwierigkeiten bei der Entscheidung, welches

Objekt von nahe beieinander liegenden Objekten im hinteren Bereich der 3D-Szene am Nächsten zum Betrachter liegt.

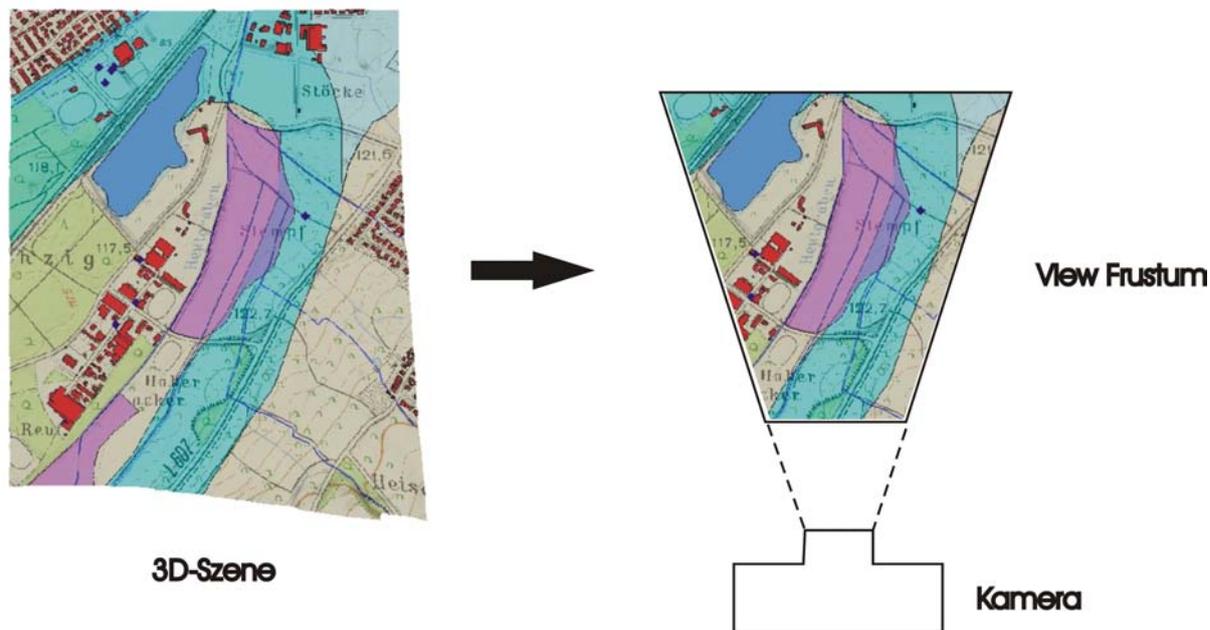


Abbildung 3.8: Begrenzung der 3D-Szene durch das View Frustum in der Draufsicht

### 3.1.3.2 Das Rendering

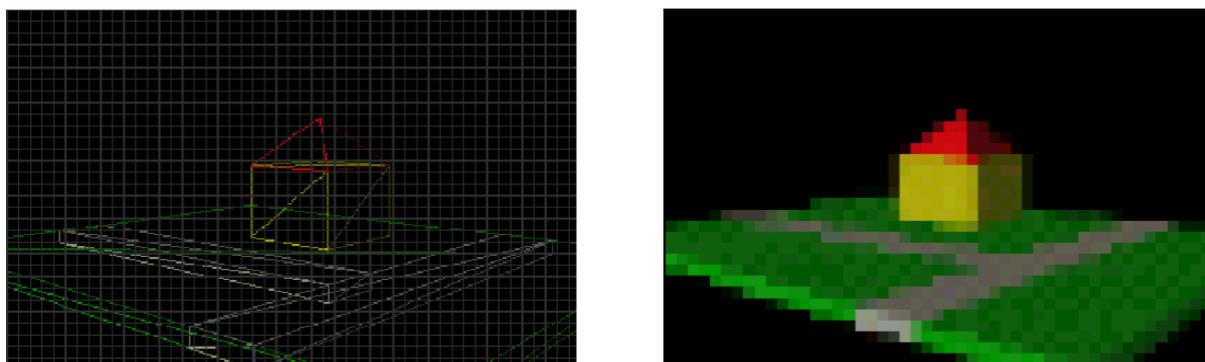


Abbildung 3.9: Abbildung des geometrischen Modells auf dem Ausgabemedium [GEOINFORMATION.NET 2004]

Als Rendering wird die Abbildung des geometrischen Modells auf dem Bildschirm bezeichnet. Dafür werden die darzustellenden Objekte in ihre Elemente zerlegt (zum Beispiel Dreiecke) und mit einem regelmäßigen Raster (*Frame*) wie in Abbildung 3.1.3.2(links), passend zum Ausgabemedium, überlagert. Für jedes Pixel dieses Rasters wird ein Farbwert berechnet. Dieses Verfahren, das Daten aus einer Vektorstruktur in eine Rasterstruktur umwandelt, wird als *Rasterisierung* bezeichnet [GEOINFORMATION.NET 2004], [HAKE und GRÜNREICH 1994a]. Die Farbe hängt von dem Erscheinungsbild des an dieser Stelle

sichtbaren Objekts ab. Das bedeutet, dass bei einfarbigen Objekten die Grundfarbe des Objektes verwendet wird, während bei texturierten Objekten (siehe Abschnitt 3.1.3.5) die Farbe der Textur an der Pixelposition ausschlaggebend ist. Nicht sichtbare Rückseiten von Objekten werden nicht dargestellt (*Back Face Culling*). Teile der Szene, die außerhalb des aktuellen Sichtbereiches der Kamera sind, also nicht innerhalb des View Frustums liegen, werden nicht visualisiert (*Frustum Culling*). Das Ergebnis des Rendering für das grobe Raster aus Abbildung 3.1.3.2(links) ist in Abbildung 3.1.3.2(rechts) dargestellt. Wenn diese Verfahren auf der CPU des Rechners durchgeführt werden, wird von *Software-Rendering* gesprochen. Wird bei der Berechnung der Komponenten eine 3D-beschleunigte Graphikkarte benutzt, wird das Verfahren als *Hardware-Rendering* bezeichnet. Echtzeitdarstellungen, für die die Bilder in Sekundenbruchteilen berechnet werden müssen, sind nur mit Hardware-Rendering möglich. Ab ca. 18 Bilder pro Sekunde (*frames per second = fps*), entsteht für den Menschen aufgrund der Verwischung der Eindruck eines fließenden Bildes,, [GEOINFORMATION.NET 2004]. Kinofilme werden mit 24 Bildern pro Sekunde wiedergegeben, während flimmerfreie Fernsehapparate eine Bildwiederholrate von 100 Hz besitzen. In [100FPS.COM 2005] werden die Aspekte der Bildwiederholrate diskutiert.

### 3.1.3.3 Farbe und Farbmodelle

Wie bereits erwähnt, wird für jedes Pixel auf dem Bildschirm ein Farbwert berechnet. Für die Erzeugung unterschiedlicher Farben werden die üblichen *Farbmodelle* benutzt. Wichtig für ein graphisches System ist außerdem die *Farbtiefe*, welche die Anzahl darstellbarer/unterscheidbarer Farben im System angibt. Die Farbtiefe bezeichnet die Anzahl der Bits die benötigt werden, um die unterschiedlichen Farben darzustellen [GEOINFORMATIK-SERVICE 2004a]. Einfache Graphiken kommen mit einer 4-bit Darstellung (16 Farben) aus, während True-colour-Bilder eine 24-bit Darstellung, also ca. 16,7 Millionen Farben, benötigen.

### 3.1.3.4 Schattierungsverfahren

Mit Hilfe von Schattierungsverfahren können gekrümmte Oberflächen abhängig von der Beleuchtungssituation plastisch dargestellt werden. Angenommen ein Shape ist aus dreieckigen Teilflächen zusammengesetzt, dann wird jedem Pixel eines Dreiecks abhängig von der gewählten Schattierungsmethode ein bestimmter Farbwert zugewiesen. Im Folgenden werden kurz die gängigsten Schattierungsverfahren in der Reihenfolge steigender Qualität und steigenden Rechenaufwands erläutert:

- *Flat-Shading*: Beim Flat-Shading wird dem kompletten Dreieck ein bestimmter Farbwert zugewiesen.
- *Gouraud-Shading*: Beim Gouraud-Shading werden die Farbwerte der Eckpunkte des Dreiecks berechnet und dazwischen wird linear interpoliert.
- *Phong-Shading*: Phong-Shading benutzt zur Berechnung der Farbwerte eine Interpolation der Eckpunktnormalen.

- *Ray-Tracing*: Das Ray-Tracing verfolgt Lichtstrahlen für die Bildberechnung. Schattwurf, Lichtbrechungen und Lichtspiegelungen können berücksichtigt werden.
- *Radiosity*: Beim Radiosity-Verfahren werden die physikalischen Verhältnisse modelliert. Dadurch lassen sich weitergehende Effekte berechnen und darstellen.

Durch den Einsatz von Schattierungsverfahren kann die Erscheinung von virtuellen 3D-Objekten dem Aussehen natürlicher Objekte angenähert werden. Die einzelnen Oberflächen der Objekte besitzen allerdings ein ebenes, einheitliches Aussehen, das in der natürlichen Welt selten anzutreffen ist.

### 3.1.3.5 Texture Mapping

Unter dem Begriff des *Texture Mapping*, das auch als *Texturierung* bezeichnet werden kann, wird das Aufbringen von Bildern auf ein 3D-Objekt verstanden. Diese Bilder werden als *Texturbild* oder *Textur* bezeichnet und auf das 3D-Objekt projiziert. Die Bilder können von unterschiedlicher Beschaffenheit sein. So kann zum Beispiel ein photorealistisches Erscheinungsbild von Objekten erzeugt werden, indem Orthophotos als Texturen für Geländemodelle oder Photos von Fassaden als Gebäudetexturen benutzt werden. Außerdem können mit Hilfe von Texturen zusätzliche Informationen auf das Objekte aufgebracht werden. Ein Beispiel dafür ist die Verwendung einer topographischen Karte als Textur auf einem Geländemodell. Wird Texture Mapping für die Darstellung eines 3D-Objektes verwendet, wird im Folgenden von texturierten Objekten gesprochen.

Natürliche Objekte sind im Allgemeinen häufig verschmutzt, besitzen Kratzer, oder die Oberflächenstrukturen sind von Natur aus nicht eben, wie bei Holz oder verputzten Wänden. Dieses natürliche Erscheinungsbild kann ebenfalls durch die Verwendung von Texturen künstlich erzeugt werden, indem entsprechende Muster als Texturbilder verwendet werden.

Das projizierte Texturbild kann größer sein als das Objekt, auf das es projiziert wird. Die überstehenden Teile werden abgeschnitten. Die Pixel eines Texturbildes werden *Texel* genannt. Für das Texturbild wird ein Koordinatensystem mit den Achsen  $s$  und  $t$  im Intervall 0.0 bis 1.0 definiert (siehe Abbildung 3.10). Werden Texturkoordinaten außerhalb des Intervalls angegeben, so wird das Texturbild bei der Projektion wiederholt. Dies wird auch *Wrapping* genannt. Bei der Projektion wird das Bild aus dem Texturkoordinatensystem in den dreidimensionalen Objektraum (Weltkoordinatensystem) überführt und anschließend im zweidimensionalen Bildraum (Koordinatensystem des Ausgabemediums) abgebildet.

Grundsätzlich ist der Betrachter einer 3D-Szene an einer möglichst hohen Auflösung der Textur interessiert. Andererseits sollte die Bedienung der 3D-Szene bei Echtzeitdarstellungen performant sein. Beim bereits erwähnten Hardware Rendering (siehe Abschnitt 3.1.3.2) wird für die schnelle Berechnung der Bilder der Graphikkarten-Chip benutzt.

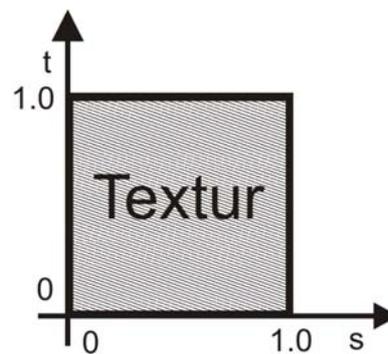


Abbildung 3.10: Koordinatensystem eines Texturbildes

Graphikkarten besitzen außerdem einen Speicher, in dem die Texturbilder gespeichert werden. Die Größe des maximal auf der Karte speicherbaren Texturbildes richtet sich nach diesem Speicher.

Eine Aufstellung der aktuellen Graphikkarten und deren maximaler Texturbildgröße findet sich in [VIRTUAL TERRAIN PROJECT 2004]. Eine aktuelle Graphikkarte ist die NVidia GeForce FX, deren Speicherchip eine maximale Texturgröße von 4096 \* 4096 Pixel verarbeiten kann<sup>1</sup>. Ältere Karten können häufig nur bis zu 2048 \* 2048 Pixel darstellen.

*Texture Caching* und *Texture Paging* Techniken werden benutzt, um diesem Problem zu begegnen. Beim *Texture Caching* werden, um Speicherplatz zu sparen, Texturbilder, die mehrmals benutzt werden sollen, nur einmal im Graphikkartenspeicher vorgehalten, während beim *Texture Paging* nur der Teil des Texturbildes in einer guten Auflösung gezeigt wird, der aktuell gerade betrachtet wird.

Oft werden Objekte, die mit einer hochauflösenden Textur versehen sind, aus weitem Abstand betrachtet. Dafür ist keine gute Auflösung notwendig. In diesem Fall kann die *Mip Mapping*-Technik verwendet werden. Die Basis für das *Mip Mapping* ist die Textur der höchsten Auflösungsstufe. Aus dieser Textur werden Texturen geringerer Auflösung generiert. Abhängig von der Entfernung Objekt  $\longleftrightarrow$  Betrachter wird der entsprechende Texturlevel ausgewählt und verwendet.

Beim Verfahren des *Multi-Texturing* werden mehrere Texturen gleichzeitig verwendet. So kann zum Beispiel die Textur einer Mauer mit einer Hell-Dunkel-Textur kombiniert werden, um realistische Lichtverhältnisse einer Wand zu erhalten.

*Bump-Mapping* wird eingesetzt, um dreidimensional wirkende Texturen mit dynamischen Licht- und Schatteneffekten zu erzeugen. Dadurch wird das Erscheinungsbild der Objekte wirklichkeitsgetreuer.

### 3.1.3.6 Interaktion und Animation in der 3D-Szene

Die bisher vorgestellten Techniken beschreiben die Erstellung einer quasi statischen 3D-Darstellung auf dem Ausgabemedium. Die virtuelle Welt wird für den Benutzer aber erst interessant, wenn er Einfluss auf die Visualisierung nehmen kann. Hierbei können zwei Techniken unterschieden werden: *Interaktion* und *Animation*.

Der Begriff der Interaktion wird allgemein folgendermaßen definiert:

Interaktion ist „aufeinander bezogenes Handeln zweier oder mehrerer Personen, [sie enthält] Wechselbeziehung[en] zwischen Handelspartnern“ [DUDENREDAKTION 1990].

In der Informationstechnologie wird diese Definition so ausgeweitet, dass die Interaktion auch zwischen dem Programm und dem Nutzer eines Programms stattfinden kann. Im Hinblick auf die Untersuchung virtueller Welten bedeutet das, dass der Nutzer durch interaktive Eingriffe die virtuelle Welt verändert.

Interaktion findet zum Beispiel dann statt, wenn sich das dargestellte Bild aufgrund einer

---

<sup>1</sup>Stand November 2004

Nutzeraktion ändert. Typische Interaktionsbeispiele sind die *Navigation* und das *Picking*. Mit Hilfe der Navigation bewegt sich der Betrachter in der virtuellen Welt, um die Objekte visuell zu analysieren. Technisch gesehen wird dabei im Allgemeinen die Position der virtuellen Kamera in der 3D-Szene verändert.

Beim Picking selektiert der Nutzer Objekte in der virtuellen 3D-Szene. Diese Objekte werden anschließend entweder manipuliert oder Informationen über diese Objekte können ermittelt werden.

Im Gegensatz zur Interaktion findet bei der Animation die Veränderung der bildlichen Darstellung ohne direkte Nutzeraktion statt. Innerhalb eines Zeitintervalls variieren die Objekte derart, dass der Eindruck einer fließenden Bewegung des Objektes oder einer kontinuierlichen Veränderung des Objektes entsteht.

## 3.2 Hardware für die 3D-Visualisierung

Für die technische Realisierung von 3D-Darstellungen stehen dem Nutzer viele verschiedene Hardwarekomponenten zur Verfügung. Der folgende Abschnitt stellt kurz die wichtigsten Komponenten vor. Welche Kombination von Komponenten für eine Visualisierung geeignet ist, hängt vom Zweck der Visualisierung und den verschiedenen Rahmenbedingungen ab. Grundsätzlich lässt sich die Hardware in zwei Gruppen aufteilen: Ausgabebe-  
geräte und Eingabegeräte.

### 3.2.1 Ausgabegeräte

Für die Darstellung dreidimensionaler Welten existieren folgende unterschiedliche Ausgabemedien.

#### 3.2.1.1 Standardmonitor

Jeder PC ist mit einem Monitor ausgerüstet, auf dem ohne weitere Hilfsmittel dreidimensionale Welten zweidimensional auf dem Bildschirm abgebildet werden können.

#### 3.2.1.2 Systeme für die Stereobetrachtung am PC

Im Bereich der Photogrammetrie werden digitale photogrammetrische Arbeitsstationen eingesetzt, die Techniken zur stereoskopischen Betrachtung von Bildern am PC enthalten. Die notwendige Trennung der Bilder wird unterschiedlich realisiert.

Beim *Anaglyphenverfahren* werden zwei Halbbilder in unterschiedlichen Farben überlagert projiziert. Werden diese durch eine Brille betrachtet, die im linken Glas einen Farbfilter der einen Farbe und im rechten Glas einen Farbfilter der anderen Farbe enthält, verschmelzen die Bilder und der Betrachter erhält einen Stereoeindruck.

Beim *Polarisationsverfahren* werden die beiden Bilder wiederholt zeitlich versetzt dargestellt, und mit Hilfe einer Polarisationsbrille wird dem linken Auge nur das linke Bild

und dem rechten Auge nur das rechte Bild zugeführt [HEIPKE 1995].

Unter dem Begriff der *Autostereoskopie* werden Techniken zusammengefasst, mit deren Hilfe der Stereoeindruck ohne weitere Hilfsmittel, wie zum Beispiel die eben genannten Spezialbrillen, erreicht werden kann. Beispiele sind das „Holographic Autosstereoscopic Display“ [TRAYNER and ORR 2004] und das „Dresden 3D Display“ [SEERREAL 2004].

### 3.2.1.3 Eintauchen in die virtuelle Welt - Virtual Reality mit HMD und CAVE

Der Begriff der *virtuellen Welt* ist nicht eindeutig definiert. Virtuelle Welt kann entweder allgemein eine computergenerierte 3D-Szene bezeichnen, die zum Beispiel in Computerspielen anzutreffen ist [NOSER 2005], oder sie kann folgendermaßen definiert werden:

„Virtual reality (abbreviated VR) describes an environment that is simulated by a computer. Most virtual reality environments are primarily visual experiences, displayed either on a computer screen or through special stereoscopic goggles [WIKIPEDIA 2005b]“.

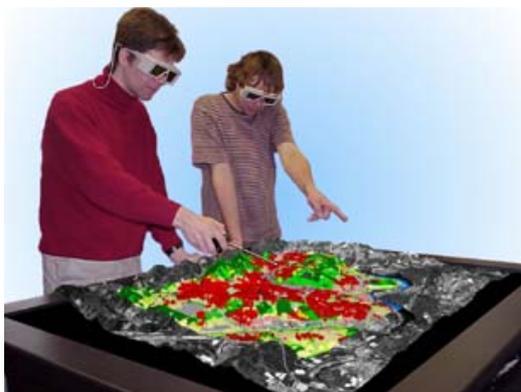
Der Begriff der virtuellen Welt bezeichnet per Definition also grundsätzlich eine im Computer generierte 3D-Szene. Trotzdem wird der Begriff häufig im Zusammenhang mit einer im Computer generierten immersiven Realität, in die der Anwender „eintauchen“ kann, benutzt. Der Benutzer fühlt sich als Bestandteil der virtuellen Welt. Es gibt verschiedene technische Hilfsmittel, um das „Eintauchen“ zu realisieren:

- *Head Mounted Display (HMD)*  
Ein HMD ist ein Helm oder brillenähnliches Gestell mit zwei Bildschirmen, auf welche die virtuelle Welt projiziert wird (siehe Abbildung 3.11). Die Blickrichtung und Position des Anwenders werden mit Hilfe eines Trackers ermittelt. Der dazu passende Teil der virtuellen Welt wird im HMD dargestellt.



Abbildung 3.11: Head-Mounted Display (Image courtesy: [www.5DT.com](http://www.5DT.com)) [5DT FIFTH DIMENSION TECHNOLOGIES 2004]

- *Projektionstisch*  
Ein Projektionstisch besitzt eine halbtransparente Projektionsfläche, auf die von unten mittels eines Beamers ein stereoskopisches Bild gestrahlt wird, das vom Benutzer mit Hilfe einer Shutterbrille betrachtet wird (siehe Abbildung 3.12 (a)) [KLEIN and MERTEN 2004].
- *CAVE*  
Ein Cave Automated Virtual Environment (CAVE) ist ein Raum zur Projektion einer dreidimensionalen Welt. Der Raum ist begehbar und die virtuelle Welt wird auf den Fußboden, die Wände und die Decke projiziert. Der Nutzer kann sich in der virtuellen Welt bewegen (siehe Abbildung 3.12 (b)) [WIKIPEDIA 2004a].



(a) Projektionstisch [GEOINFORMATION.NET 2004]



(b) CAVE [GEOINFORMATION.NET 2004]

Abbildung 3.12: Virtual-Reality-Techniken

### 3.2.1.4 Kombination mit der Wirklichkeit - Augmented Reality

„Unter *Augmented Reality* (erweiterte Realität, kurz AR) versteht man die (meist visuelle) Überlagerung (=Erweiterung) von virtueller Information mit der Realität in Echtzeit“ [WIKIPEDIA 2004c].

Ein typisches Beispiel für Augmented Reality ist die Einblendung der Abseitslinie der im Fernsehen übertragene Fußballspiele.

Ein anderes Beispiel ist das Projekt Archeoguide, in dem historische Gebäude virtuell an realen touristischen Stätten erzeugt werden (siehe Abbildung 3.13) [IST 2004].

Am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe wird die Verwendung von Augmented Reality Techniken für die Anwendung im Bereich der Geowissenschaften untersucht. Ziele sind die on-site Visualisierung tektonischer Flächen und Linien und das Einmessen von Gesteinsvolumina und -typen mit passenden Sensoren [BRAND 2004]. Die virtuellen Objekte, die die Wirklichkeit überlagern werden in „Seethrough-Brillen“ eingeblendet oder mit Hilfe von Retina-Displays auf die Netzhaut projiziert.

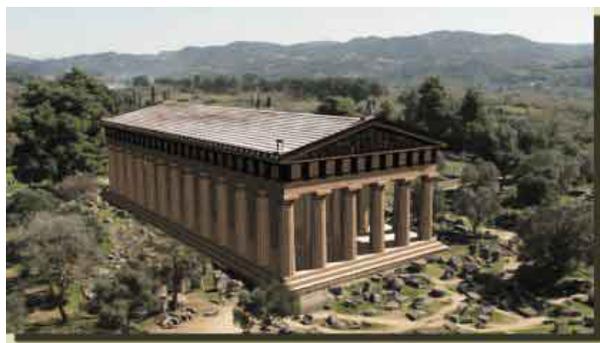


Abbildung 3.13: Archeoguide visualisiert virtuelle Objekte an touristischen Stätten [IST 2004]

## 3.2.2 Eingabegeräte

Für die Beeinflussung der dreidimensionalen Welt benötigt der Anwender Eingabehilfen, mit denen er in der virtuellen Welt agieren kann. Einige gängige Eingabehilfen werden

im Folgenden vorgestellt.

### 3.2.2.1 Tastatur

Jeder Standard-PC verfügt über eine Tastatur, mit deren Hilfe Interaktionen zwischen dem Nutzer und Programmen gesteuert werden können. Mittels der Tastatur können schriftliche Einträge in Benutzerdialoge generiert werden, oder definierte Tastenbelegungen können Funktionen ausführen. Ein typisches Beispiel dafür ist die Verwendung der Cursortasten als Navigationssteuerungshilfe in einer virtuellen Welt.

### 3.2.2.2 Maus

Ebenso wie eine Tastatur besitzt jeder Standard-PC auch eine Maus. Der Anwender bewegt die Maus auf einer ebenen Unterlage. Auf dem Bildschirm wird die Bewegung mit Hilfe des Cursors nachgezeichnet. Durch Benutzung von an der Maus angebrachten Tasten können Funktionen aktiviert werden. Die Maus kann auch für die Navigation in virtuellen Welten verwendet werden. Dazu wird üblicherweise eine gewöhnliche 3-Tasten-Maus benutzt, deren Tasten mit den Navigationsbewegungen belegt sind. So bewirkt zum Beispiel die linke Taste die Rotation der 3D-Szene, die mittlere Taste eine Vergrößerung oder Verkleinerung (*Zoom*) der Objekte in der 3D-Szene und die rechte Taste die Verschiebung (*Panning*) der Objekte in der 3D-Szene.

### 3.2.2.3 Joystick

Viele Spiele-Anwendungen verwenden als Steuerungsgerät einen Joystick. Deswegen hat ein Joystick einen hohen Bekanntheitsgrad und eine hohe Verbreitung und lässt sich gut für Navigationsaufgaben einsetzen.

### 3.2.2.4 3D-Eingabegeräte

Wie bereits erwähnt, besitzt die Standardmaus zwei Freiheitsgrade zur Positionierung. Mit Hilfe eines Mousebuttons kann der dritte Freiheitsgrad, also die Positionierung der Höhe, definiert werden. Die Orientierung des Eingabegerätes im Raum kann ebenfalls wichtig sein. Es kommen drei weitere Freiheitsgrade hinzu [GEOINFORMATION.NET 2004]:

- *Neigung (pitch)*: Neigung der Längsachse des Geräts gegenüber der Horizontalen
- *Gierwinkel (yaw)*: Der eingenommene Winkel gegenüber der Horizontalen
- *Drehung (roll)*: Die Drehung der eigenen Längsachse gegenüber der Horizontalen

Einige 3D-Eingabegeräte bieten diese sechs Freiheitsgrade für die Durchführung von komplexen Operationen an. Ein Beispiel ist die Space Mouse der Firma 3Dconnexion [3DCONNEXION 2005].

### 3.2.2.5 Datenhandschuh

Mit Hilfe von Datenhandschuhen können Handpositionen, Fingerstellungen oder das Berühren von Gegenständen mit den Fingerkuppen ermittelt werden.

### 3.2.2.6 Trackingsysteme

Trackingsysteme erfassen Positionen in der realen Welt. Sie werden zum Beispiel in Augmented Reality Systemen eingesetzt, um die Position des Betrachters festzustellen. Mit Hilfe der Position wird die Lage der Objekte, um die die reale Welt erweitert werden soll, berechnet.

## 3.3 Software für die 3D-Visualisierung

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über Software, mit deren Hilfe 3D-Visualisierungen realisiert werden können. Auf dem Markt sind zur Zeit mehrere hundert Produkte für den Aufbau von 3D-Visualisierungen verfügbar [GEOINFORMATION.NET 2004]. Diese können nicht alle untersucht werden. Die folgende Aufstellung versucht, gängige verfügbare 3D-Visualisierungssoftwaresysteme in Gruppen zu kategorisieren, die bei der Entscheidung für die Verwendung einer Software für die Realisierung eines 3D-Umweltvisualisierungssystems helfen können.

Welche Visualisierungssysteme für die Realisierung von 3D-Umweltanwendungen sinnvoll sind, hängt davon ab, welche Merkmale die Visualisierung der einzelnen Anwendung benötigt und welche Eigenschaften für den Benutzer wichtig sind. Die Entscheidung muss für den konkreten Fall individuell getroffen werden. Dabei sollten die folgenden Fragen gestellt werden:

- Wird eine georeferenzierte Visualisierung benötigt?
- Wie realistisch sollen meine 3D-Objekte dargestellt werden?
- Wird eine gute Geländedarstellung benötigt?
- Welche Einflussmöglichkeiten auf die 3D-Szene werden benötigt?
- Soll das System erweitert werden können?
- Wie werden die Daten verwaltet?
- Welche Kenntnisse hat bzw. benötigt der Benutzer der entstehenden 3D-Visualisierungsanwendung?
- Werden Lizenzgebühren verlangt und wie hoch sind diese?

Die gesammelten 3D-Visualisierungssysteme können für die Realisierung von 3D-Visualisierungen in Umweltanwendungen in zwei Hauptkategorien unterschieden werden:

- Allgemeine 3D-Visualisierungssysteme, deren Darstellungen in Umweltanwendungen integriert werden könnten
- GI-Systeme mit 3D-Visualisierungskomponenten, die in Umweltinformationssystemen verwendet werden könnten

Auf dem Markt existieren heutzutage sowohl kommerzielle als auch freie, sogenannte Open-Source-Produkte. Die einzelnen Produkte sind in den folgenden Abschnitten entsprechend gekennzeichnet. Die Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### 3.3.1 Allgemeine 3D-Visualisierungssysteme

Allgemeine Visualisierungssysteme können für viele Zwecke verwendet werden. Mit ihrer Hilfe können viele unterschiedliche Formen von 3D-Darstellungen generiert werden. Allerdings besitzen sie im Allgemeinen keine Werkzeuge, um den Geobezug zu realisieren, der für Umweltvisualisierungen notwendig ist. Um mit allgemeinen Visualisierungssystemen fachliche 3D-Umweltvisualisierungen zu erzeugen, muss entweder das Visualisierungssystem um Funktionen für die Realisierung des Geobezugs erweitert werden, das Visualisierungssystem mit einem in der Umweltanwendung verwendeten GIS gekoppelt werden oder die erzeugte 3D-Szene in ein GIS integriert werden. Dies sollte vor der Realisierung eines Projekts bedacht werden.

#### 3.3.1.1 Visualisierungsbibliotheken

Visualisierungsbibliotheken enthalten Werkzeuge, mit deren Hilfe 3D-Darstellungen erzeugt werden können. Viele der Visualisierungsbibliotheken basieren auf allgemein verwendeten Programmiersprachen wie C oder Java, die auch in einigen GI-Systemen eingesetzt werden. In solch einem Fall ist die Integration von 3D-Darstellungen, die mit einer Visualisierungsbibliothek erzeugt wurden, in das GIS meist unproblematisch. Mit Hilfe der Flexibilität von Visualisierungsbibliotheken können generische Systeme und individuelle 3D-Umweltvisualisierungsanwendungen entwickelt werden. Außerdem ist es jederzeit möglich, die entstehenden Systeme oder Anwendungen mit neuen Funktionen zu ergänzen.

**Programmiersprachen** besitzen häufig Application Programming Interfaces (API), die Klassen und Methoden für die Realisierung von 3D-Visualisierungen enthalten. Dabei können low-level Systeme, wie OpenGL oder Direct3D, mit denen das Programmieren mühsam ist, von high-level Systemen, die auf den low-level Systemen basieren, unterschieden werden:

- *OpenGL* existiert seit 1992 und wurde zur meist verwendeten Graphik-API. Die graphischen Routinen werden mit Hilfe von C und C++ angesprochen. OpenGL wurde ursprünglich von *SGI* entwickelt. Anwendungsentwickler benötigen keine Lizenz [SGI 2004b].
- *Direct3D* ist ein 3D-Standard für die Darstellung und Manipulation von 3D-Objekten. Es ist das Pendant zu OpenGL von Microsoft [MICROSOFT 2004].

- *OpenInventor* baut auf OpenGL auf. Es ist ein Open-Source-Projekt und ist unter der GNU Lesser General Public License lizenziert [SGI 2004a].
- *OpenGL Performer* ist eine kommerzielle Klassenbibliothek für die Generierung von Echtzeitsimulationen und performanzorientierten 3D-Graphik-Anwendungen [SGI 2005b].
- *OpenGL Optimizer* ist eine kommerzielle Klassenbibliothek für die Visualisierung von komplexen 3D-Modellen. Sie wird für die Entwicklung und das Design von Produkten verwendet [SGI 2005a].
- *Java 3D* ist eine Erweiterung von Java und ebenfalls ein Open-Source-Projekt. Mit Hilfe von Java 3D können dreidimensionale Anwendungen und Webapplikationen entwickelt werden. Java 3D verwendet einen Szenengraphen für die Realisierung der virtuellen Welt. Java 3D ist in zwei Versionen erhältlich, es basiert wahlweise auf OpenGL oder Direct3D [MICROSYSTEMS 2004].
- *JOGL* ist eine Javaportierung von OpenGL und ebenfalls Open-Source [THOMAS 2005].
- *VTK* basiert auf C++ und ist ebenfalls eine Open-Source-Bibliothek [KITWARE INC 2004].
- *VisAD* ist eine auf Java und Java 3D basierte Komponentenbibliothek für die interaktive Visualisierung und Analyse von numerischen Daten. Es ist ebenfalls ein Open-Source-Projekt [HIBBARD 2004].

**Beschreibungssprachen** definieren den Inhalt einer 3D-Szene.

- *X3D* ist kein Application Programming Interface, sondern eine Szenenbeschreibungssprache, die XML benutzt [WEB3D CONSORTIUM 2004]. X3D ist die Weiterentwicklung von *VRML* (*Virtual Reality Modeling Language*), einem Standardformat für die Beschreibung von dreidimensionalen virtuellen Welten im Internet.

### 3.3.1.2 Graphiksysteme - Modellierung

Kommerzielle Graphiksysteme ermöglichen die professionelle Modellierung von komplexen Modellen, Animationen und Simulationen. Sie werden intensiv von der Unterhaltungsindustrie genutzt:

- *3D Studio Max* ist ein professionelles Animations-, Modellierungs- und Rendering-Tool, das kommerziell vermarktet wird [DISCREET 2004].
- *Maya* von *Alias Wavefront* ist ebenfalls ein professionelles Animations-, Modellierungs- und Rendering-Tool, das kommerziell vermarktet wird [ALIAS SYSTEMS 2004].
- *Softimage XSI* ist, wie die anderen, ein kommerzielles Modellierungstool [SOFTIMAGE 2005].

- *Cinema 4D* von *Maxon* ist ebenfalls ein kommerzielles Modellierungstool [MAXON 2005].

### 3.3.1.3 Generische Visualisierungssysteme

Generische Visualisierungssysteme haben im Allgemeinen eine hohe Basisfunktionalität für jegliche Art von 3D-Visualisierungen und werden von Visualisierungsexperten benutzt:

- *IRIS Explorer* von *NAG* ist ein kommerzielles Visualisierungssystem für die Entwicklung von angepassten Visualisierungen [NAG 2005].
- *EnSight* ist ein kommerzielles Visualisierungssystem von *MSC Software* [MSC SOFTWARE 2005].
- *VisiQuest* von *AccuSoft* ist ein kommerzielles Visualisierungssystem für die Daten- und Bildanalyse [ACCUSOFT 2004].
- *IDL* ist eine kommerzielle Software zur Datenanalyse und Visualisierung [RSI 2005].
- *AVS* ist ein Visualisierungstool für Nichtprogrammierer und erfahrene Softwareentwickler [AVS 2004].
- *Visage* ist ein Tool für das Erforschen, Analysieren und Visualisieren von Daten [MAYA 2005].

### 3.3.2 Visualisierungssysteme mit Geobezug

In dieser Kategorie sind Visualisierungssysteme enthalten, die Daten mit Geobezug dreidimensional visualisieren. Damit sind sie für die Realisierung von 3D-Umweltvisualisierungen grundsätzlich geeignet. Die Systeme können in verschiedene Gruppen aufgeteilt werden.

#### 3.3.2.1 GI-Systeme mit 3D-Visualisierungskomponenten

In den letzten Jahren wurden bestehende GIS durch **3D-Visualisierungskomponenten** erweitert. Der Leistungsumfang der Visualisierungskomponenten ist meist nicht so groß, wie in den allgemeinen Visualisierungssystemen. Allerdings sind die 3D-Visualisierungskomponenten auf die Anforderungen von 3D-GIS-Anwendungen abgestimmt.

- *ArcGIS 3D-Analyst* ist eine kommerzielle Erweiterung von *ArcGIS* zur 3D-Visualisierung und Oberflächengenerierung [ESRI 2004].
- *Imagine Virtual GIS* ist ein kommerzielles visuelles Analysetool mit GIS-Funktionalitäten in einer 3D-Umgebung [LEICA GEOSYSTEMS 2004].

- Der *Vertical Mapper* ist eine kommerzielle Erweiterung von *MapInfo* für die Grid-Analyse und 3D-Darstellung [MAPINFO 2005].
- Die Erweiterung *Terrain* von *GeoMedia* integriert Geländeanalyse und -darstellung in die GeoMedia Umgebung. GeoMedia ist ein kommerzielles Produkt der Firma Intergraph [INTERGRAPH 2005].
- *GISterm 3D* ist eine auf Java 3D basierende Erweiterung von GISterm [HILBRING et al. 2004]. Es ist das in dieser Arbeit entwickelte 3D-Visualisierungssystem. Dieses System ist besonders geeignet für die Realisierung unterschiedlicher Anwendungen mit Umweltbezug und kann sich neuen Herausforderungen flexibel anpassen (siehe auch Kapitel 6).

### 3.3.2.2 Systeme für Geländevisualisierung

Systeme für Geländevisualisierung sind Systeme, die in erster Linie zur Betrachtung von Geländedaten eingesetzt werden. Die Daten sind häufig nicht direkt manipulierbar. Dafür sind die Navigationsfunktionen professionell implementiert. In vielen Systemen für die Geländevisualisierung werden während der Navigation Geländedaten in Navigationsrichtung automatisch nachgeladen. Damit werden gute Explorationseigenschaften gewährleistet. Allerdings sind andere Interaktionsmöglichkeiten im Allgemeinen nicht vorgesehen. Das heißt, die Funktionalität der Geländevisualisierungssysteme ist eingeschränkt. Das bedeutet, sie können in der Umweltvisualisierung nur für funktionstechnisch eingeschränkte Anwendungen eingesetzt werden. Die folgende Aufstellung enthält einige Systeme, die sich auf die Geländedarstellung konzentrieren:

- Das kommerzielle *GeoMedia Terrain* von *Intergraph* stattet GeoMedia mit Funktionen zur Geländeanalyse und Visualisierung aus [INTERGRAPH 2005].
- Die Firma *Keyhole Inc.* hat ein professionelles Visualisierungstool für die dreidimensionale, wirklichkeitsgetreue Visualisierung von realen Gebieten auf der Erde entwickelt [KEYHOLE INC. 2005].
- *DILAS (Digital Landscape Server)* ermöglicht die Erfassung, Verwaltung und Nutzung von beliebig großen Bild- und Höhendaten sowie von 3D-Stadtmodellen. Es können regionale bis landesweite 3D-Landschaftsmodelle aufgebaut und in einer Datenbankumgebung konsistent nachgeführt werden [GEONOVA AG 2005].
- *LandExplorer Studio* ist ein Terrain Viewer für die Visualisierung von Geländemodellen, die mit Texturen und 2D- bzw. 3D-Objekten ergänzt werden können [3D GEO GMBH 2004].
- *TerraVision* ist ein Geländevisualisierungssystem von *Digital Earth* [DIGITAL EARTH 2005].

### 3.3.2.3 Systeme für geologische Schichtenmodellierung

Systeme für die geologische Schichtenmodellierung sind zweckgebunden und kommen deswegen nur für Umweltvisualisierungen in Frage, bei denen die Darstellung geologischer Schichten eine zentrale Rolle spielt:

- *GeoToolKit* ist eine Klassenbibliothek (C++) für die Integration von raumzeitlichen Funktionen in eine Anwendung. Anwendungen von GeoToolkit sind GeoStore, GeoWeb und Wellstore. GeoToolKit wird weiterentwickelt und soll zukünftig als 3D/4D Datenbankkomponente für mobile Geoinformationsdienste genutzt werden [BALOVNEV et al. 2004].
- Die *Earth Decision Suite* ist ein kommerzielles System und besteht aus mehreren Modulen für die geologische Analyse. Das Basismodul bietet einen 3D-Viewer, der für die Visualisierung und Interpretation von geologischen Daten geeignet ist. Das Basismodul kann mit Modulen für seismische Interpretation, geologische Interpretation, mit Modulen für die Planung von Bohrungen und mit Modulen für die Modellierung von Vorkommen von Bodenschätzen erweitert werden. Mit Hilfe des *Gocad Developer Kit* können Gocad Anwendungen in andere Produkte integriert werden [EARTHDECISIONSCIENCES 2005].
- *Noddy* ermöglicht die Modellierung und Visualisierung von geologischen Ereignissen [ENCOM TECHNOLOGY 2005].

### 3.3.2.4 CAD-Systeme

CAD-Systeme realisieren die computergestützte Konstruktion. Sie realisieren quasi ein elektronisches Zeichenbrett, das auch für die Erzeugung von 3D-Visualisierungen benutzt werden kann, bieten aber kaum Funktionen für die Entwicklung von spezifischen Anwendungen:

- *AutoCAD* ist ein kommerzielles CAD-Programm der Firma *Autodesk* [AUTODESK 2005].
- Mit *Microstation* von *Bentley* können komplexe 3D-Modelle erzeugt werden [BENTLEY 2005].

### 3.3.2.5 Spezielle Visualisierungssysteme mit Geobezug

Spezielle Visualisierungssysteme mit Geobezug umfassen Systeme, die für spezielle Formen der 3D-Geovisualisierung entwickelt wurden. Ihr Einsatz in der 3D-Umweltvisualisierung ist einerseits abhängig vom primären Zweck der Umweltanwendung und des Visualisierungssystems und andererseits von der spezifischen Realisierung der 3D-Visualisierung:

- *IMAGiS* ist ein kommerzielles integriertes 3D GI-System der Firma *Supresoft Inc.* Es besteht aus den Komponenten *IMAGiS Classic* (3D GIS für die Visualisierung

ung), *IMAGiS MagiXity* (Stadtmodellierung), *IMAGiS 3D Browser* (Effiziente 3D Bilddarstellung) und *IMAGiS Web3D* (3D WEB Service) [SUPRESOFT INC. 2005].

- *TerraSuite* enthält verschiedene Tools für die Realisierung von 3D-GIS-Anwendungen [SKYLINE 2005].
- *Visual Modflow* ist ein professionelles Werkzeug für die dreidimensionale Fluss- und Transportmodellierung [VISUAL MODFLOW PRO 2005].
- Das *Generic Mapping Tool (GMT)* ist eine Sammlung von 60 Werkzeugen in ANSI-C, mit deren Hilfe geographische Datensätze in EPS-Dateien visualisiert werden können. Diese können perspektivische 3D-Darstellungen enthalten. Das Projekt ist ein Open-Source-Projekt [WESSEL and SMITH 2005].

## 3.4 Kosten

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den anfallenden Kosten für die vorgestellten Hard- und Softwarekomponenten. Dabei soll nicht jedes einzelne System aufgeführt werden, sondern die aktuellen Kosten eines typischen Vertreters der jeweiligen Kategorie gezeigt werden, damit die Kostenrelationen zwischen den einzelnen Gruppen deutlich werden. Welche der vorgestellten Hard- und Softwaresysteme eingesetzt werden kann, hängt von den finanziellen Bedingungen des Projektes ab, das realisiert werden soll.

### 3.4.1 Hardware

Die meisten der vorgestellten Techniken können mit Hilfe eines handelsüblichen PCs realisiert werden, dessen Kosten sich inklusive Tastatur, Maus, Bildschirm und aktueller Graphikkarte auf ca. 1000 € belaufen. Spezielle 3D-Mäuse, wie zum Beispiel die Space Mouse, sind unter anderem von der Firma 3dconnexion erhältlich und kosten 550 € [EST 2005]. Head Mounted Displays für das Eintauchen in virtuelle Welten gibt es in verschiedenen Qualitätsstufen und Preisklassen. Der 5DT HMD 800 Datenhelm aus Abbildung 3.11 kostet ca. 2500 € [EST 2005]. Günstige HMDs sind ab ca. 500 € erhältlich. Hochwertige Datenhelme kosten bis zu ca. 60 000 € . Für stereographische Auswertungen oder in immersiven Umgebungen, wie CAVEs, werden 3D-Brillen benötigt. Die Preise für Shutterglases von CrystalEyes liegen bei ca. 700 € [EST 2005]. Die Kosten für die Projektionswand eines CAVEs betragen zwischen 75 000 € und 200 000 € [MOKHTARI et al. 2005]. Retina-Displays, die für AR-Techniken verwendet werden, sind für ca. 3000 € zu haben. Trackingsysteme werden ebenfalls für AR-Visualisierungen benötigt und sind in unterschiedlichen Preisklassen, beginnend ab ca. 2000 € bis ca. 70 000 € , erhältlich [EST 2005]. Der Preis für einen autostereoskopischen Monitor von SeeReal, der ohne 3D-Brillen betrieben wird, liegt bei ca. 3000 € [3SAT 2005].

### 3.4.2 Software

Freie Software, die nicht käuflich erworben werden muss, ist heute häufig Open-Source lizenziert. Die Lizenz einer Software gilt als Open-Source, wenn sie Kriterien erfüllt, die in der Open-Source-Definition geregelt sind [OPEN SOURCE INITIATIVE 2005]. Dazu gehört neben anderen Kriterien zum Beispiel die freie Verwendung, Vervielfältigung und Wiederbenutzung des Codes, sowie ein offener Quellcode und die Unversehrtheit des Originalcodes. Ein typisches Beispiel einer Open-Source-Lizenz ist die GNU GPL [GNU 2005].

Im Gegensatz dazu steht die kommerzielle Software, deren Lizenzen käuflich erworben werden müssen. Die Kosten für kommerzielle Systeme unterscheiden sich häufig hinsichtlich des Nutzerkreises. So sind Lizenzen für die akademische Nutzung meist wesentlich günstiger als für die wirtschaftliche Nutzung. Die im Folgenden angegebenen Preise beziehen sich auf die Normalpreise ohne Vergünstigungen.

Die meisten Visualisierungsbibliotheken sind Open-Source. Es fallen hierfür also keine Kosten an. 3D Studio Max, dessen Normallizenz 5142,50 € beträgt, ist ein typischer Vertreter kommerzieller Graphiksysteme [DISCREET 2005]. Eine Einzellizenz für ArcGIS 9.0 kostet auf dem US-Markt 2500 \$ [ESRI 2005]. Die für die 3D-Darstellungen notwendige Erweiterung ArcGIS 9.0 3D Analyst kostet zusätzlich ebenfalls noch einmal 2500 \$. LandXplorer Studio ist ein Geländevisualisierungssystem für 490 € [3D GEO GMBH 2005]. Ein weit verbreitetes kommerzielles CAD-System ist AutoCAD von Autodesk, dessen Preis, für die Version AutoCAD 2005, bei 5220 € liegt [AUTODESK 2005]. Im Bereich der speziellen Visualisierungssysteme existieren kommerzielle Produkte, wie zum Beispiel Visual Modflow, für ca. 1200 \$ [WATERLOO HYDROGEOLOGIC 2005] neben Open-Source-Komponenten, wie dem Generic Mapping Tool.

## 3.5 Grenzen heutiger 3D-Visualisierungen

Aus den letzten Abschnitten wird die Bandbreite der heute nutzbaren Techniken im Hard- und Softwarebereich der 3D-Visualisierung ersichtlich. Alle vorgestellten Techniken sind derzeit im Einsatz und die vorgestellten Softwarekomponenten sind frei verfügbar oder kommerziell zu erwerben und einsatzbereit.

Die Grenzen der aktuellen 3D-Visualisierungen können mit Hilfe des aktuellen Forschungsstands aufgezeigt werden, der im Folgenden diskutiert werden soll.

In den Artikeln [NEBIKER 2002] und [ZLATANOVA et al. 2002] werden neben anderen Aspekten folgende Forschungsthemen im Bereich der 3D-Visualisierung identifiziert:

- Die *3D-Datenerfassung* untersucht die automatische Extraktion und Generierung von digitalen Geländemodellen aus Orthophotos oder Laserscannerdaten.
- Die *3D-Visualisierung* umfasst verschiedene Forschungsaspekte. Hierbei geht es zum Beispiel um ein besseres Erscheinungsbild der dargestellten Objekte. So sollen Objekte möglichst naturgetreu dargestellt werden können. Dafür sollten in Anwendungen die folgenden Eigenschaften der Objekte verändert werden können: Texturierung, Farbe, Transparenz und Beleuchtung. Außerdem sollte für jedes Objekt die

Information zur Verfügung stehen, von welcher Position es am besten betrachtet werden kann.

Ein weiterer Punkt ist die Integration von Animationen und temporalen Simulationen in 3D-Visualisierungen, die für viele Aspekte nützlich sein kann.

Ein weiteres Ziel der Forschung ist, mehr und größere Objekte bei guter Performanz in virtuellen Welten darstellen zu können bzw. die Masse der Daten möglichst ohne Informationsverlust für die Visualisierung zu reduzieren.

- Der Bereich der *3D-Datenmodellierung* und *-verwaltung* beschäftigt sich mit der topologischen Modellierung von 3D-Objekten, deren Verwaltung in Datenbanken und dem entsprechenden Datenmanagement in GIS-Lösungen. Bisher existiert oft keine oder nur eine mangelhafte Datenverwaltung, das heißt, die Daten werden in vielen verschiedenen Dateien verwaltet, statt in einem Datenbanksystem. Dadurch ergeben sich die folgenden Nachteile:
  - Die Datenhaltung ist redundant.
  - Es ist keine Mehrbenutzerkontrolle möglich. Das heißt, dass verschiedene Nutzer nicht gleichzeitig auf dieselben Daten zugreifen können.
  - Bei der Eingabe der Daten ist keine Integritätsüberprüfung möglich.

Um dies zu verbessern, beschäftigen sich [NEBIKER 2002], [BALOVNEV et al. 2004] und [ZLATANOVA et al. 2002] mit der Modellierung von 3D-Objektinhalten in relationalen Datenbanken. [NEBIKER 2002] besitzt eine 3D-Objektrepräsentation, die auf Java und XML basiert. Die 3D-Objekte können mit Hilfe eines effizienten Speicherungsmechanismus gespeichert werden. [BALOVNEV et al. 2004] hat ein Datenmodell aus „Simplex-Komplexen“ entwickelt, das 0D- bis 3D-Simplexe (Punkt, Segment, Dreieck und Tetraeder) enthält, die in der Datenbank gespeichert werden können. Außerdem befasst sich [BALOVNEV et al. 2004] mit der Speicherung von temporalen 3D-Daten in der Datenbank. [ZLATANOVA et al. 2002] teilt die Objekte in Flächen auf, die in einer Oracle 8i Datenbank vorgehalten werden. Sowohl [NEBIKER 2002], als auch [BALOVNEV et al. 2004] beschäftigen sich mit der Modellierung von 3D-Objektinhalten und deren Vorhaltung in relationalen Datenbanken, während [ZLATANOVA et al. 2002] die 3D-Objekte aufgeteilt in einzelne Flächen in der Oracle 8i Datenbank vorhält, da diese noch keine richtigen 3D-Objekte unterstützt. [BREUNIG et al. 2005] geht noch weiter und untersucht die Verwendung von objektorientierten 3D-Geodatenbank-Diensten für mobile Umgebungen.

Für den Austausch von 3D-Daten zwischen verschiedenen Systemen werden zukünftig außerdem standardisierte Formate benötigt werden.

- Ein weiteres wichtiges Forschungsthema ist der Bereich von *3D-Web-Anwendungen*. Hierfür wird vom *Open Geospatial Consortium (OGC)* eine Spezifikation für die Beschreibung einer 3D-Szene im Graphik-Format (zum Beispiel gif, png oder jpg) entwickelt [SINGH 2005]. Der darin enthaltene Web Terrain Server orientiert sich am Web Map Service und definiert die Parameter, die für die Abbildung einer 3D-Szene in einer Bilddatei notwendig sind. Außerdem wird vom OGC die Spezifikation des Web 3D Service entwickelt, der ein Portal für die Lieferung von 3D-Geodaten entwirft. Dabei sollen die Inhalte einer 3D-Szene in einem Szenengraph weitergegeben werden [QUADT and KOLBE 2005].

Für die Realisierung von 3D-Anwendungen in der Umweltinformatik sind die Weiterentwicklungen in den erwähnten Forschungsbereichen wichtig. Einerseits sollte das Erscheinungsbild von 3D-Objekten je nach Zweck der Umweltvisualisierung flexibel sein. Andererseits ist der Datenbanksupport für die Verwaltung der Objekte zwingend notwendig. Die Forschungen im Bereich der 3D Web Visualisierung sind ebenfalls für die Umweltinformatik interessant, da mit Hilfe dieser Techniken umweltrelevante 3D-Visualisierungen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden können.

Betrachtet man die heute verfügbaren 3D-Umweltanwendungen, stellt man außerdem fest, dass zwar spezielle Systeme für bestimmte Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel geologische Schichtendarstellung oder die Grundwasservisualisierung entwickelt wurden, aber kein generisches 3D-Umweltvisualisierungssystem existiert, das flexibel für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden kann. Die Forschung in diesem Bereich ist Thema dieser Dissertation.

## 3.6 Komponenten für ein 3D-Umweltvisualisierungssystem

Dieser Abschnitt diskutiert die vorgestellten Hard- und Softwaresysteme unter dem Aspekt der Nutzung für Umweltvisualisierungen.

### 3.6.1 Techniken für 3D-Umweltanwendungen

Umweltrelevante Daten stehen im Allgemeinen als diskret im Raum verteilte Punkte mit Attributinformationen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst wurden, zur Verfügung. Das heißt, die Objekte des Datenmodells sollten mit Hilfe von Koordinatentripeln erzeugt werden. Damit wird der Zustand der Objekte zum Erfassungszeitpunkt repräsentiert.

Mit Hilfe von 3D-Flächenmodellen können viele Objekte, die in der Realität vorkommen, realistisch modelliert werden. Für die Darstellung von Volumendaten ist außerdem die Volumenvisualisierung interessant.

Die mit diesen Verfahren erzeugten Objekte sollten in einem Szenengraphen verwaltet werden, da die Struktur eines solchen Graphen leicht verständlich ist. Damit kann sich auch ein Anwendungsprogrammierer ohne ausgeprägte 3D-Visualisierungskenntnisse schnell in die Methoden zur Erzeugung einer 3D-Szene einarbeiten.

### 3.6.2 Hardware für 3D-Umweltanwendungen

Welche Hardware für die 3D-Visualisierung von Umweltanwendungen benutzt werden kann, hängt primär vom Nutzerkreis ab.

Die 3D-Visualisierung von Umweltanwendungen ist heutzutage häufig Gegenstand der Forschung. Das bedeutet, dass für entsprechende Projekte in der universitären Forschung

oftmals Mittel bereit gestellt werden, damit neue Hardware (zum Beispiel AR-Systeme) angeschafft werden kann, mittels der 3D-Visualisierungstechniken und deren Nützlichkeit für 3D-Umweltvisualisierungen erforscht werden können. Diese Systeme sind häufig teuer und haben einen kleinen Anwenderkreis, der meistens lediglich die Forschungsgruppe umfasst. Ein Beispiel hierfür sind die AR-Anwendungen im Projekt Geotechnologien [IPF 2004]. Die dazugehörige Hardware ist zur Zeit noch zu teuer für den Einsatz in großen Anwendergruppen.

Ein wichtige Anwendergruppe sind Angestellte in der Verwaltung, die mit der Ausführung von Umweltaufgaben betraut sind. In diesem Bereich sind die Mittel grundsätzlich knapp, das heißt, für die Hardware von neuen 3D-Visualisierungsanwendungen stehen im Allgemeinen keine Mittel zur Verfügung. Deswegen sollten die Anwendungen, die für die Umweltverwaltungen realisiert werden, möglichst mit Standardhardware auskommen. In diesem Bereich kommt der handelsübliche PC zum Einsatz.

Ein weiteres Ziel der Verwaltung ist, die Ergebnisse der Untersuchungen der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Der Privatanwender, der sich für Umweltvisualisierungen interessiert, besitzt im Allgemeinen keine spezielle Hardware und ist auch nicht bereit, diese zu erwerben. Dies ist ein weiteres Argument für die Verwendung des handelsüblichen PCs.

Außerdem können fachspezifische Projekte entstehen, die spezielle Nutzerkreise bedienen (Beispielsweise wird eine Firma mit der geologischen Untersuchung eines Gebietes beauftragt). Welche Hardware dafür benutzt werden soll, hängt vom Zweck und den finanziellen Mitteln des Projektes ab und kann nicht allgemein beantwortet werden.

### 3.6.3 Software für 3D-Umweltanwendungen

Wie bei der Hardware, hängt auch die Wahl der geeigneten Software vom Nutzerkreis ab. Hierbei sind allerdings nicht nur die Kosten, sondern auch die Vorkenntnisse der jeweiligen Anwender zu betrachten.

In der Forschung stehen dem Benutzer abhängig vom Projekt entweder die notwendigen Mittel zur Verfügung, um die beste Software für die Realisierung einer Aufgabe zu erwerben, oder die Mittel sind nicht vollständig bewilligt worden und der wissenschaftliche Mitarbeiter muss improvisieren. Außerdem werden in der Forschung auch gerne frei verfügbare Open-Source-Komponenten verwendet, da der Source-Code frei zugänglich ist und nach den Wünschen des Entwicklers flexibel geändert werden kann. Dies bietet einen Vorteil im Gegensatz zur „Black-Box“-Strategie von kommerziellen Programmen, bei denen die Realisierung und Implementierung der Funktionen des Programms Firmengeheimnis ist.

Die Vorkenntnisse des Entwicklers spielen im universitären Bereich keine Rolle. Der wissenschaftliche Mitarbeiter ist häufig Entwickler und Anwender in einer Person und das Erlernen neuer Techniken ist Teil seiner Aufgaben.

Für die Verwendung in der Umweltverwaltung kommt aus Kostengründen ebenfalls Open Source Software in Frage, oder kommerzielle Programme, die bereits angeschafft wurden. Ein typisches Beispiel hierfür ist ArcGIS, eine weit verbreitete Software, mit der Geoinformationssysteme entwickelt werden können. ArcGIS ist heute bereits in vielen Verwaltungsstellen im Einsatz.

Anders als in der Forschung sind die Vorkenntnisse des Anwenders in der Umweltverwaltung wichtig. Das entwickelte System soll schließlich dem Sachbearbeiter bei der Lösung seiner Aufgaben helfen. Der durchschnittliche Angestellte in der Umweltverwaltung besitzt im Allgemeinen die fachlichen Kenntnisse, die für die Bearbeitung seiner Aufgaben notwendig sind. Dabei ist es wahrscheinlich, dass er schon mit GI-Systemen in Berührung gekommen ist. Spezialkenntnisse aus dem IT-Bereich oder Kenntnisse in der 3D-Visualisierung dürfen nicht vorausgesetzt werden. Deshalb sind Modellierungssysteme oder generische Visualisierungssysteme für diese Anwender schlechter geeignet als GI-Systeme, die mit 3D-Visualisierungskomponenten ergänzt werden.

Die Wahl einer Software für fachspezifische Projekte hängt vom Zweck und Nutzerkreis der Umweltvisualisierung ab und muss für den Einzelfall entschieden werden.

# Kapitel 4

## 3D-Visualisierungen in Anwendungen der Umweltinformatik

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über vorhandene Daten im Umweltbereich und ihre Visualisierung. Bereits entwickelte 3D-Visualisierungsanwendungen werden untersucht und kategorisiert, um Schlussfolgerungen für das Datenmodell des 3D-Visualisierungssystem für Umwelthanwendungen zu erlangen. Die Ergebnisse werden im Datenmodell, das in Kapitel 5 entwickelt wird, umgesetzt.

### 4.1 Informationssysteme in der Umweltinformatik

Wie bereits in Abschnitt 1.3 erwähnt, ist diese Arbeit der Forschungsrichtung Umweltinformatik zuzuordnen, die sich mit Anwendungen im Umweltschutz beschäftigt.

Viele, der in der Umweltinformatik entstandenen Anwendungen, werden in Umweltinformationssystemen eingesetzt. Deshalb erscheint es sinnvoll, die in dieser Dissertation zu entwickelnden umweltrelevanten 3D-Visualisierungen in ein Umweltinformationssystem zu integrieren. Die Hauptaufgabe von Umweltinformationssystemen ist die Bereitstellung von Umweltinformationen. Darüber hinaus übernehmen sie unterschiedliche und komplexe umweltrelevante Aufgaben.

Ein typisches und weit entwickeltes Beispiel ist das Umweltinformationssystem (UIS) von Baden-Württemberg, in dem auch die Entwicklungen dieser Arbeit zum Einsatz kommen. Unter der Regie des Ministeriums für Umwelt und Verkehr wird im UIS Baden-Württemberg die gesamte Verarbeitung von Umweltinformationen koordiniert. Dabei sind auch die anderen Ministerien beteiligt, die mit Umweltaufgaben betraut sind, sowie die dazugehörigen Fachbehörden. Diese Verwaltungsstellen erfassen Daten zu verschiedenen Umweltthemen wie Wasser, Luftqualität, Abfall oder Natur und Landschaft. Das UIS liefert die Möglichkeiten, um auf die dadurch entstehenden verschiedenen Datenbestände zuzugreifen und diese im Zusammenhang zu betrachten.

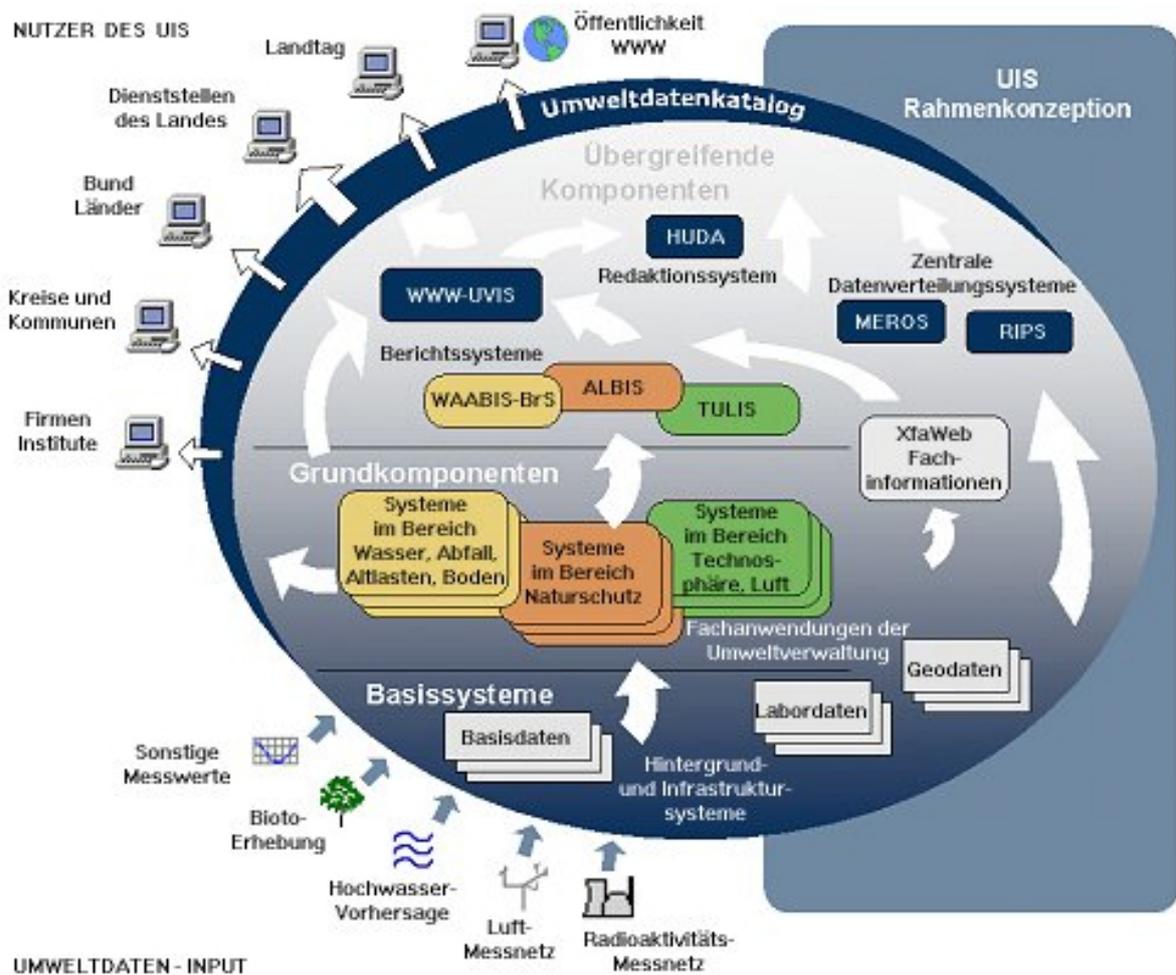


Abbildung 4.1: Struktur des UIS Baden-Württemberg [UVM 2005]

Abbildung 4.1 vermittelt einen Eindruck der Struktur des UIS Baden-Württemberg, bei der drei Systemkategorien innerhalb des UIS unterschieden werden [UVM 2005]:

- Basissysteme, also Informationssysteme, die nicht speziell für die Bearbeitung von Umweltdaten geschaffen wurden.
- Grundkomponenten, also Komponenten für die verschiedenen Umweltthemenbereiche wie Wasser, Luft etc. Sie bilden den Hauptbestandteil des UIS.
- Übergreifende Komponenten, also Komponenten für die Zusammenführung und fachübergreifende Nutzung von Informationen aus verschiedenen Bereichen.

Eine typisches Beispiel für ein Basissystem, das in Umweltdateninformationssystemen zum Einsatz kommt, ist ein Geoinformationssystem. Ein GIS kann als Komponente für die Analyse, die Visualisierung und das Management von Daten in Umweltdateninformationssystemen genutzt werden. Geoinformationssysteme werden in Umweltdateninformationssystemen häufig für die Visualisierung von zweidimensionalen raumbezogenen Umweltdaten genutzt. Da raumbezogene Umweltdaten außerdem häufig komplexe räumliche Zusammenhänge beschreiben, die mit Hilfe der dritten Dimension verständlicher dargestellt werden können,

erscheint es sinnvoll, Geoinformationssysteme für die Visualisierung von dreidimensionalen Umweltdaten zu erweitern.

## 4.2 Daten für die Umweltinformatik

Wie bereits erwähnt erfassen die einzelnen Fachbehörden Umweltdaten unterschiedlicher Kategorien. Beispiele für in 3D-Visualisierungen verwendbare Daten sind Daten über Pegelstände in Oberflächengewässern, Daten über Grundwasserstände, Daten über atmosphärische Strömungen in der Luft, Daten über den Aufbau geologischer Schichten unter der Erde und viele mehr.

Die zentrale Aufgabe dieser Arbeit ist die dreidimensionale Visualisierung dieser umweltrelevanten Daten. Deshalb werden im Folgenden die für die Visualisierung in Frage kommenden Daten vorgestellt und Möglichkeiten der Datenakquisition beschrieben.

### 4.2.1 Geodaten

In Abschnitt 2.5.1 wurde bereits die Bedeutung von Geodaten für die 3D-Visualisierung diskutiert. Sie bilden heutzutage eine wichtige Datengrundlage für Aufgaben der Verwaltung des Bundes und der Länder. Im Jahr 2000 hat die Bundesverwaltung eine Erhebung zur Feststellung der „Fachaufgaben, Geodatenbestände und Geodatenflüsse in der Bundesverwaltung“ vorgenommen [GESCHÄFTSSTELLE DES IMAGI 2000]. Dabei wurde festgestellt, dass Geodaten für mehr als 200 Fachaufgaben eingesetzt werden. Dies schließt die Verwendung von Geodaten für Visualisierungen im Umweltbereich mit ein. Geodaten können in zwei Kategorien aufgeteilt werden: *Geobasisdaten* und *Geofachdaten* (*Fachdaten*).

Geobasisdaten bilden eine Teilmenge der Geodaten. Zu ihnen zählen insbesondere die Daten, die von den Vermessungsverwaltungen erfasst werden [BILL 1999b]. Diese Daten können auch von dort bezogen werden.

In der eben erwähnten Geodatenerhebung [GESCHÄFTSSTELLE DES IMAGI 2000] wurde festgestellt, dass die topographischen Daten als Teil der Geobasisdaten die Grundlage für viele fachspezifische Anwendungen bilden. Außerdem hat das Umweltbundesamt schon 1998 eine Studie über die „Bestandsaufnahme und Analyse von Umwelтанwendungen Geographischer Informationssysteme (GIS) in Bund und Ländern“ in Auftrag gegeben [VAN NOUHUYS et al. 1998]. Darin wurden die folgenden Themenbereiche von Geobasisdaten für die Nutzung in allgemeinen Umwelтанwendungen identifiziert:

- Topographie (Raster- und Vektordaten),
- Verwaltungseinheiten und Statistik,
- Fernerkundung (Satelliten- und Luftbilder),
- digitale Höhendaten,
- Fachdaten,

- und sonstige Daten.

Daten aus diesen Themenbereichen sind auch für die 3D-Visualisierung interessant. So bieten zum Beispiel digitale Höhendaten die Grundlage für visualisierte Geländeoberflächen, die mit Hilfe von topographischen Daten oder Fernerkundungsdaten ergänzt werden können, um den Informationsgehalt der Visualisierung zu verbessern.

Geofachdaten werden in den Fachdisziplinen erhoben. Das können Daten aus unterschiedlichsten Themenbereichen sein, unter anderem auch umweltrelevante Daten. In diese Kategorie gehören auch die raumbezogenen Daten, die von den Umweltfachbehörden erfasst werden. Diese Daten werden im nächsten Abschnitt genauer diskutiert.

## 4.2.2 Umweltrelevante Geofachdaten

Für die Betrachtung der Geofachdaten des Umweltbereiches sind zwei Aspekte interessant, die im Folgenden untersucht werden sollen:

1. Die Kategorisierung von Daten in Objektklassen
2. und die Datenakquisition.

### 4.2.2.1 Umweltobjekte

Der Report „Umweltdaten 2003 Baden-Württemberg“ gibt einen Überblick über die tatsächlich erfassten Daten in Baden-Württemberg [UVM UND LFU 2003]. In diesem Report werden Informationen über Daten der folgenden Themengebiete zusammengefasst: Umweltökonomie, Verkehr, Energie, Klimafolgen, Luft, Elektromagnetische Felder, Radioaktivität, Lärm, Abfall, Wasser, Altlasten, Boden, Lebensmittel, Verbraucherschutz, Natur, Landschaft und Wald zusammengefasst. Umweltrelevante Daten existieren also in vielen verschiedenen Themenbereichen.

O. Günther hat in „Environmental Information Systems“ ein allgemeines Konzept entwickelt, das alle möglichen Themenbereiche abdeckt. Das Konzept betrachtet jedes Objekt der realen Welt als Umweltobjekt, egal ob es natürlich oder von Menschen gemacht ist. Es werden verschiedene Umweltobjektkategorien unterschieden [GÜNTHER 1998]:

- Atmosphäre (Luft)
- Hydrosphäre (Wasser)
- Cryosphäre (Schnee und Eis)
- Litosphäre (Boden)
- Biosphäre (Vegetation)
- Technosphäre (von Menschen gemacht)

Diese Umweltobjekte sind Teil des Drei-Wege-Objektmodells, bei dem die Umweltobjekte durch einzelne oder mehrere Umweltdatenobjekte beschrieben werden können, die ihrerseits mit Hilfe von umweltbezogenen Metadaten erklärt werden (siehe Abbildung 4.2). Die oben erwähnten Gruppen von Umweltdaten gehören zu den Umweltdatenobjekten dieses Modells. Für die 3D-Visualisierung sind sowohl Umweltobjekte interessant, die Objekte aus der realen Welt repräsentieren, als auch Umweltdatenobjekte, die Informationen über Umweltobjekte enthalten, die in der realen Welt eventuell nicht sichtbar sind.

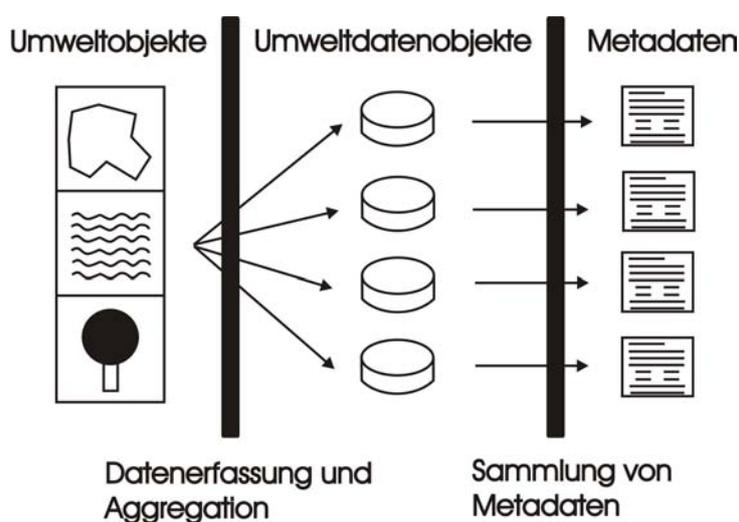


Abbildung 4.2: Drei-Wege-Objektmodell

#### 4.2.2.2 Daten in Umweltdatenkatalogen

Die nächste Aufgabe, die sich bei der Realisierung einer Umweltvisualisierung stellt, ist das Problem der Datenakquisition. Dabei sollten die folgenden Fragen gestellt werden: Welche Daten sind vorhanden, und welche Stellen halten die Daten vor? Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die Suche nach umweltrelevanten Daten.

Die Datenerfassung und -vorhaltung von umweltbezogenen Daten ist Aufgabe der Länder. Daraus folgt, dass die Datenakquisition und die Entwicklung von Umweltinformationssystemen nicht zentral geregelt ist. Allerdings existiert der „Ausschuss Umweltinformationssysteme“ der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Entwicklung (BLAG NE)*, dessen Webseite eine Linksammlung zu den Umweltinformationssystemen der Länder bereithält [STA UIS 2005].

Trotz des Föderalismus ist es sinnvoll, ein gemeinsames Portal für Umweltinformationen anzubieten. Deshalb wurde das *Umweltinformationsnetz Deutschland (German Environmental Information Network - GEIN)* geschaffen [UDK/GEIN 2005].

GEIN erschließt die Webseiten öffentlicher Einrichtungen wie den Umweltbehörden, den Bundes- und Landesämtern und den Ministerien. Mit Hilfe von GEIN kann ausgehend von einer Webseite auf das heterogene Angebot der verschiedenen Behörden zugegriffen werden. Dabei werden neben normalen Webauftritten auch Fachinformationssysteme und Metadateninformationssysteme berücksichtigt.

Eines der Metadateninformationssysteme auf das GEIN Zugriff hat, ist der *Umweltdatenkatalog (UDK)* [DISY GEOINFORMATIONSSYSTEME GMBH 2005]. Der UDK enthält Metainformationen über die in den Umweltverwaltungen der Bundesländer vorhandenen

umweltrelevanten Datenbestände. Er regelt den Zugriff auf die Umweltdatenkataloge der einzelnen Länder.

Zur Recherche von Umweltdaten im Internet steht dem Nutzer der WWW-UDK zur Verfügung [DISY GEOINFORMATIONSSYSTEME GMBH 2005]. Dort werden die vorhandenen Datenbestände mit Hilfe definierter Eigenschaften beschrieben. Jeder Datensatz ist mit der Adresse des zuständigen Ansprechpartners versehen.

Neben der Suche über Schlagworte können die Daten auch themenbezogen mit Hilfe der „Suche über Umweltthemen“ eingeschränkt werden.

### 4.3 3D-Visualisierungsanwendungen in der Umweltinformatik

In diesem Abschnitt werden in der Praxis realisierte Umwelthanwendungen, die dreidimensionale Visualisierungen enthalten, vorgestellt und kategorisiert, um einen Überblick über die Einsatzgebiete der 3D-Visualisierung zu geben. Eingegangen wird dabei auf das Anwendungsszenario und die dargestellten dreidimensionalen Objekte.

Es ist möglich 3D-Visualisierungen der Umweltinformatik verschiedenen Kategoriengruppen und Kategorien zuzuordnen. Die Kategoriengruppen richten sich nach dem Zweck der Unterteilung. Der folgende Abschnitt kategorisiert die verschiedenen Anwendungen zunächst nach Anwenderzielgruppen und gibt einen kurzen Einblick in das jeweilige Anwendungsszenario. Dabei können zwei große Anwendungsgruppen unterschieden werden:

- Anwendungen für die breite Öffentlichkeit
- Anwendungen für Umweltexperten verschiedener Fachrichtungen

#### 4.3.1 Anwendungen für die Öffentlichkeit

Anwendungen, die für die Öffentlichkeit zugänglich sind, bieten den Umweltämtern die Möglichkeit, das Interesse für die Umwelt zu wecken. Beispiele hierfür sind:

- **Das Nationalparkinformationssystem**

Das System soll einer Familie helfen, ihren Wochenendurlaub in einem speziellen Nationalpark zu planen. Eine 3D-Geländevisualisierung des Zielgebietes ist möglich, in der neben einer texturierten Landschaft auch Sehenswürdigkeiten und Infrastruktureinrichtungen als Symbole visualisiert werden können. Vor Ort sollen die Familien einen PDA erhalten, der die geplanten Wanderungen dreidimensional darstellt [ZEINER et al. 2003].

- **Die Visualisierung von Gletschern in den Alpen**

Mit Hilfe der Gletschersimulation kann der Einfluss der Klimaveränderung auf die Gletscher der Alpen visualisiert werden. Der Gletscher wird als 3D-Oberfläche in seinem Tal visualisiert (siehe Abbildung 4.3). Es ist möglich, die Ausbreitung eines Gletschers zu verschiedenen Zeiten zu simulieren, so dass auch der Laie den direkten

Einfluss der durch die Klimaveränderung hervorgerufene Temperaturänderung auf den Gletscher erkennen kann [BIEGGER et al. 2002].



Abbildung 4.3: Visualisierung eines Gletschers (blau) in einem Tal (grau) [BIEGGER et al. 2002]

- **Der DEMViewer**

Mit Hilfe des DEMViewer können vom Nutzer individuell gestaltete 2D-Karten eines GI-Systems als Textur auf ein Geländemodell gemappt werden. Dadurch kann das Verständnis für ein Gebiet oder eine Region verbessert werden.

Der DEMViewer ist eine Anwendung, die mit Hilfe des in dieser Dissertation entwickelten 3D-Visualisierungssystems für Umwelthanwendungen realisiert wurde. Der DEMViewer wird in Abschnitt 7.1.1 näher erläutert.

Die vorgestellten Beispiele beschäftigen sich alle mit der Visualisierung von Landschaften oder bestimmten Regionen, das heißt, sie vermitteln dem Betrachter zusätzliche Informationen über eine Region, die für ihn von Interesse ist, vielleicht weil er sie schon besucht hat oder in Zukunft besuchen möchte.

### 4.3.2 Anwendungen für Umweltexperten

Im Folgenden werden beispielhaft Anwendungen für Umweltexperten verschiedener Fachrichtungen dargestellt. Sie sind grob anhand ihrer Einsatzgebiete sortiert:

- **Tiefenprofile der Ostsee**

In diesem Projekt geht es um die Visualisierung hydrologischer Parameter in der Ostsee. Gezeigt werden Tiefendiagramme für ausgewählte Beobachtungspunkte im Tiefenprofil des Arkonabeckens. Der Meeresboden wird als Oberfläche dargestellt und zusammen mit hydrologischen Parameterlinien visualisiert. Als zusätzliche Information werden Textelemente eingeblendet [SCHUMANN und MÜLLER 2000b].

- **Hochwasservisualisierung mit Flood-View**

Flood-View ist eine Visualisierungsbibliothek zur Visualisierung von Hochwassermodellen. Mit Hilfe des ArcView 3D-Analyst erstellt die Visualisierungsbibliothek Modelle von Hochwasserereignissen auf der Basis von Geländeoberflächen, die aus einem digitalen Geländemodell mit Dämmen und Becken abgeleitet werden. Wichtig für die Beurteilung des Hochwasserereignisses und die Generierung von Plänen für das Katastrophenmanagement ist nicht die genaue Tiefe der Flut, sondern die Vorwarnzeit und die Dauer der Überflutung [DIAMANDAKIS und PRASTACOS 2002].

- **Erweiterte Realität im Katastrophenmanagement für die Visualisierung von Hochwasserereignissen**

Das Projekt „Augmented Reality im Katastrophenmanagement“ geht einen Schritt weiter und erforscht den Einsatz von Augmented Reality Systemen für die Visualisierung von Hochwasserereignissen [LEEBMANN et al. 2005] (siehe Abschnitt 3.2.1.4). Das AR-System soll helfen, eine Vorstellung der Auswirkungen eines Hochwasserereignisses zu erzeugen. Für die Visualisierung notwendig ist die 3D-Darstellung von Geländeoberflächen, die 3D-Darstellung von Gebäudemodellen und die 3D-Darstellung der Hochwasserfläche (siehe Abbildung 4.4). Mit Hilfe des Systems können diese Objekte vor Ort die Wirklichkeit ergänzen.

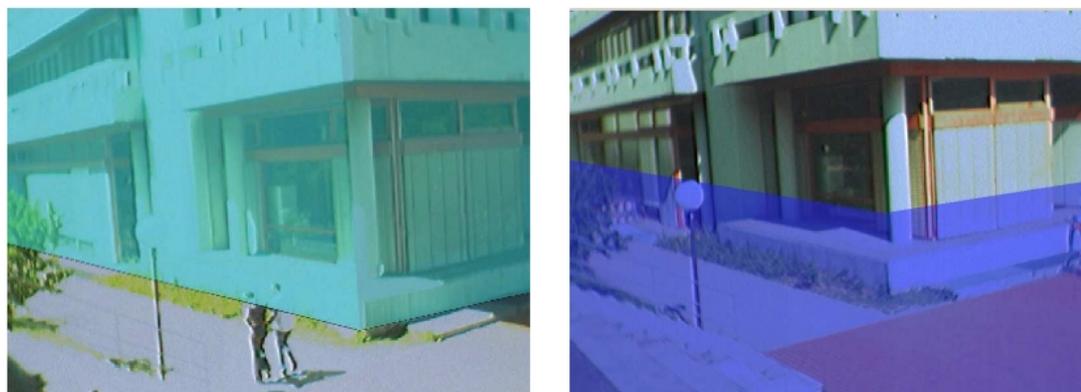


Abbildung 4.4: Einsatz des AR-Systems mit Gebäudemodell (li.) und Hochwasser (re.) [COELHO 2004]

- **Darstellung von Fluss- und Transportprozessen im Grundwasser mit FEFLOW**

Mit Hilfe des professionellen 3D-Simulationsprogramms FEFLOW können Fluss- und Transportprozesse im Grundwasser modelliert und dargestellt werden. Der Stoff- und Wärmetransport kann berechnet und modelliert werden. Das entstehende Modellgebiet kann dreidimensional mit Isolinien, Isoflächen, Querschnitten, Projektionen und Ausschnitten veranschaulicht werden (siehe Abbildung 4.5) [WATERLOO HYDROGEOLOGIC 2004].

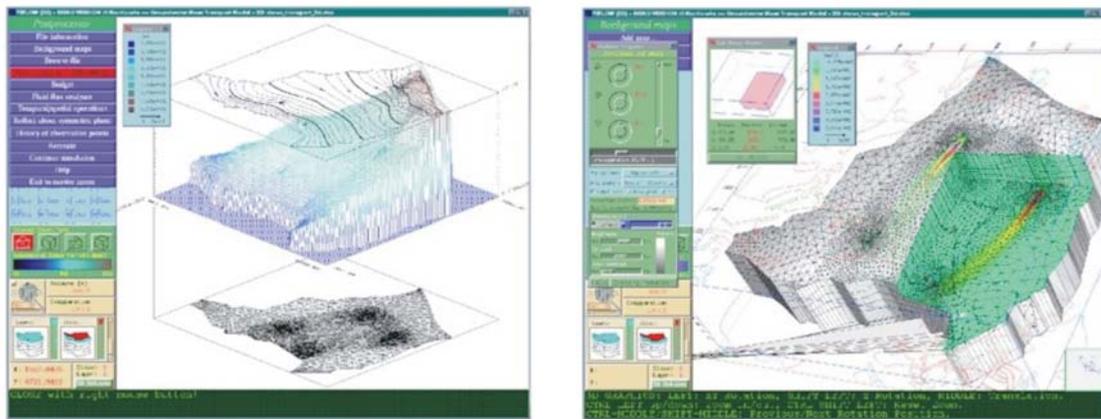


Abbildung 4.5: Visualisierung des FEFLOW-Modellgebiets mit Projektionen (links) und Blockbeschnittung (rechts) (Bild ist Eigentum von Waterloo Hydrogeologic, Inc.) [Waterloo Hydrogeologic Software 2004]

- **GeoPro<sup>3D</sup>**

GeoPro<sup>3D</sup> ist eine Anwendung zur 3D-Visualisierung von Grundwasserflächen und hydrogeologischen Schichten in Zusammenhang mit geplanten Bauwerken, um eventuell entstehende Konflikte aufzudecken.

Digitalisierte Gebäude werden auf ein digitales Geländemodell aufgesetzt. Unter der Geländeoberfläche werden anhand von Grundwassermessstellendaten der Grundwasserstand und die hydrogeologischen Schichten trianguliert und dargestellt.

GeoPro<sup>3D</sup> ist eine Umweltsanwendung, die mit dem in dieser Dissertation entwickelten 3D-Visualisierungssystem realisiert wurde. Sie wird in Abschnitt 7.1.2 beschrieben.

- **Melinda**

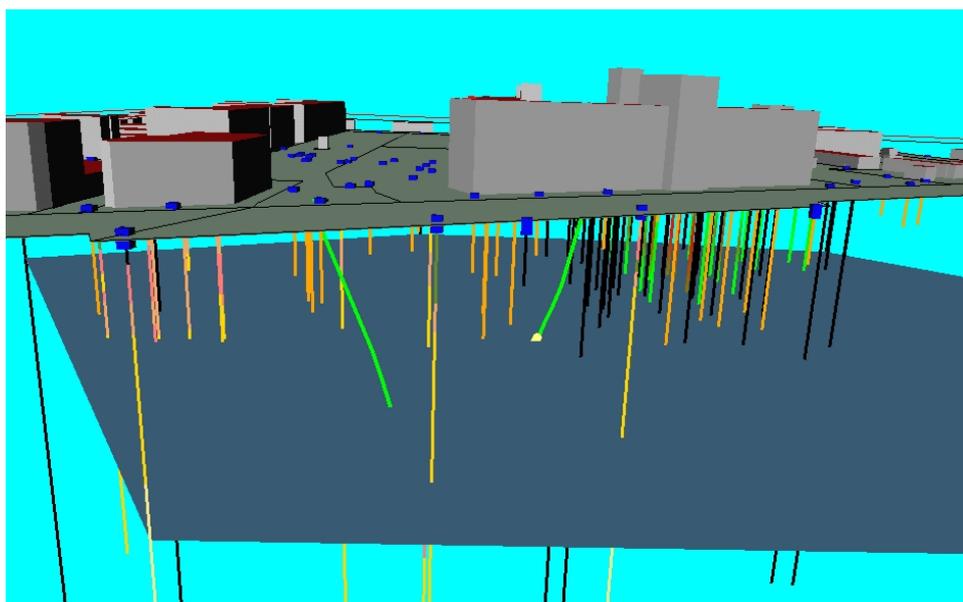


Abbildung 4.6: Visualisierung von Gebäudemodellen und der darunter liegenden Grundwasserfläche mit Bohrungen in MELINDA [FZK 2004]

Das Ziel des „interaktiven 3D-Informationssystems MELINDA zur Evaluierung von Risikodaten“ ist die Erkundung, Beurteilung, Überwachung und Sanierung von Altlasten. Altlasten- und Deponiestandorte werden dreidimensional visualisiert. Melinda modelliert oberirdisch die Geländeoberfläche und die Gebäude und unter der Erde das Grundwasser und die geologischen Schichten mit Hilfe von geraden oder geknickten Bohrungen (siehe Abbildung 4.6) [LEINEMANN et al. 2001].

- **GeoStore/GeoToolKit**

GeoToolkit ist eine Bibliothek zur Verwaltung von 3D/4D-Geo-Objekten, die räumliche und raum-zeitliche Situationen repräsentieren können. GeoToolkit wird im 3D-GIS GeoStore verwendet. GeoStore wird zusammen mit geologischen und geophysikalischen Client-Programmen eingesetzt. Mit Hilfe von GeoStore und GeoToolkit können zum Beispiel kinematische 3D-Modelle geologischer Schichten erzeugt werden. Die visualisierten Modelle enthalten Flächen und Volumenblöcke. Außerdem ist es möglich, zweidimensionale Profilschnitte zu erzeugen (siehe Abbildung 2.12) [THOMSEN et al. 2005].

- **Mobile Erweiterte Realität Umgebung für geowissenschaftliche Anwendungen**

Das Projekt untersucht den Einsatz von AR-Systemen in geowissenschaftlichen Anwendungen. Mit Hilfe des AR-Systems soll es möglich sein, in der Realität nicht sichtbare Objekte in die AR-Brille einzublenden, damit die Datenerhebung vor Ort verbessert werden kann. Dabei sollen nicht nur Punkte, Linien und Beschriftungen, sondern auch dreidimensionale Objekte, wie zum Beispiel geologische Schichten, Grundwasserleiter oder Bruchkörper visualisiert werden [STAUB et al. 2004].

- **Visualisierung von Ausbreitungsergebnissen**

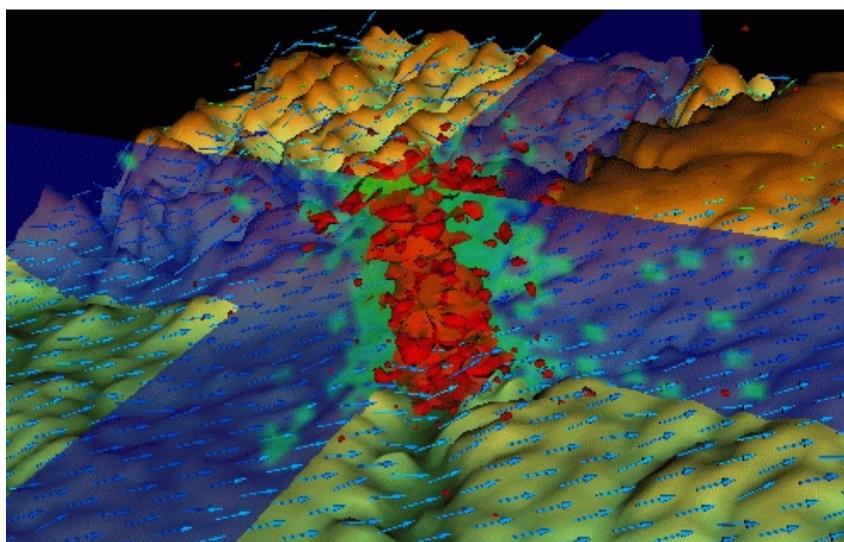


Abbildung 4.7: Windfeldvisualisierung (blaue Pfeile) und Schadstoffkonzentration (rot) [KRASS et al. 2004]

In diesem Projekt sollen Ausbreitungswolken, die zum Beispiel durch Schadstoffausstöße von Kernkraftwerken ausgelöst werden können, dreidimensional visualisiert

werden. Die Ausbreitungsergebnisse werden als Volumenobjekte oder Windfelder in der Luft in Kombination mit der Geländeoberfläche dargestellt. Abbildung 4.7 zeigt das Windfeld mit Hilfe von blauen Pfeilen und die Schadstoffkonzentration mit Hilfe von roten Oberflächenkörpern [KRASS et al. 2004].

- **Modellierung des Wasserhaushaltes in individuellen Bäumen**

Ziel dieses Projektes ist, die Auswirkungen unbekannter Umweltverhältnisse in Mischwäldern, die mit Monokulturen durchsetzt sind, abzuschätzen. Dafür wird der Wasserhaushalt der Bäume dreidimensional anhand der Parameter der Baumgeometrie (Baumposition, Art, Höhe, Kronenhöhe, Brusthöhdurchmesser und Kronenradius) modelliert und untersucht (siehe Abbildung 4.8). Die 3D-Darstellung der Bäume im Projekt erfolgt mit Hilfe der TreeView-Software [GROTE et al. 2003].



Abbildung 4.8: Modellierung des Wasserhaushaltes in Bäumen. Figure 2 in [GROTE et al. 2003]

- **Räumliche Analyse für den Waldschutz**

Das Projekt analysiert das Risiko eines Insektenbefalls im Wald. Dabei werden die folgenden Parameter untersucht: Boden, Gelände, Komposition, Struktur und frühere Schädigungen. Aufgrund der Geländestruktur, abhängig von der Steilheit und den Hauptwindrichtungen, sind manche Gebiete gefährdeter als andere. Die 3D-Geländeanalyse hilft bei der Identifizierung solcher Gebiete. Die Ergebnisse werden mit Hilfe einer texturierten 3D-Geländedarstellung visualisiert (siehe Abbildung 4.9) [NETHERER et al. 2002].

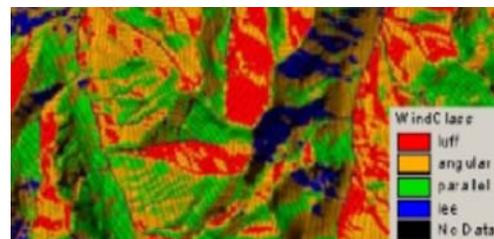


Abbildung 4.9: Mit Hauptwindrichtungen texturierte Geländedarstellung [NETHERER et al. 2002]

- **Überwachung von Umwelteinflüssen im Bergbau**

Ziel des Projektes ist die Überwachung von Auswirkungen von Bergbauaktivitäten mit einem hyperspektralen Fernerkundungssensor (HyMap). Die Ergebnisse des Sensors werden als Textur für digitale Geländemodelle verwendet (siehe Abbildung 4.10). Das entstandene 3D-Geländeobjekt wird untersucht [CHEVREL et al. 2002].

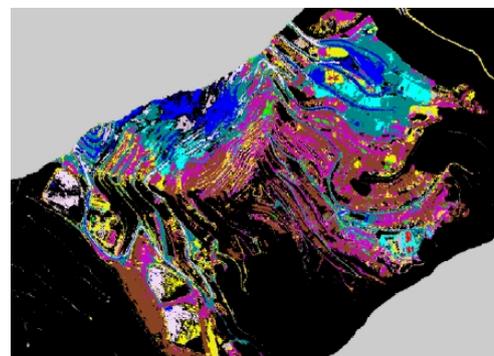


Abbildung 4.10: Mit HyMap-Klassifizierung texturiertes Geländemodell [CHEVREL et al. 2002]

- **3D-Umweltanalyse für die Identifikation von potentiellen Deponiestandorten**

Das Projekt führt eine geologische Umweltanalyse durch, um geeignete Gebiete für städtischen Abfall zu finden. Das Gebiet wird mit Hilfe einer Prism-Map dargestellt (siehe Abbildung 4.11 links). Damit werden potentielle Deponiestandorte identifiziert, die mit Verwendung von Luftbildern als texturiertes 3D-Geländemodell visualisiert werden. Das DGM liefert morphologische Informationen, während die Luftbilder, die mit topographischen Elementen versehen werden können (identifizierte Gebiete sind in blau gekennzeichnet, siehe Abbildung 4.11 rechts), bei der Lokalisierung der in Frage kommenden Gebiete helfen [MALINVERNI und GIOIA 2003].

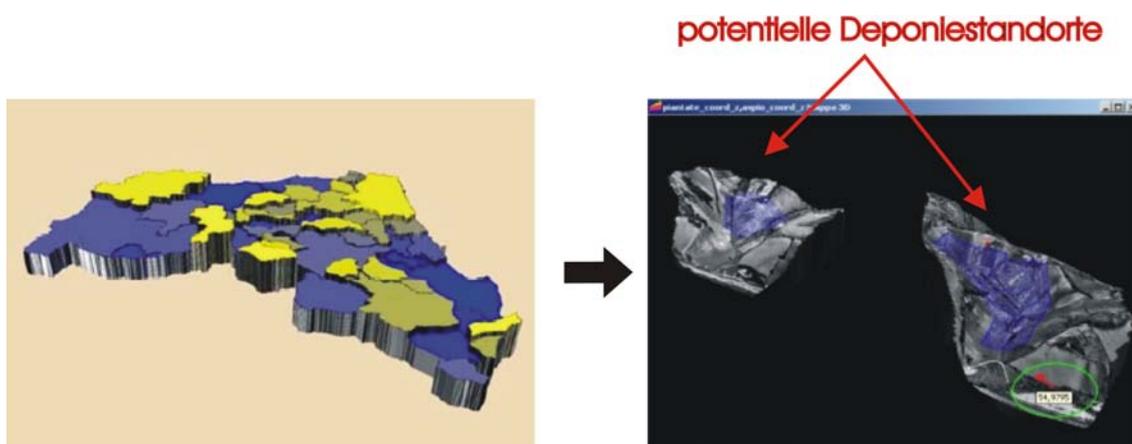


Abbildung 4.11: Identifizierung von potentiellen Deponiestandorten anhand statistischer Analyse und daraus resultierender 3D-Darstellung in Frage kommender Gebiete (aus: ISPRS XXth Congress [MALINVERNI und GIOIA 2003])

- **Visualisierung der Mount Everest Region**

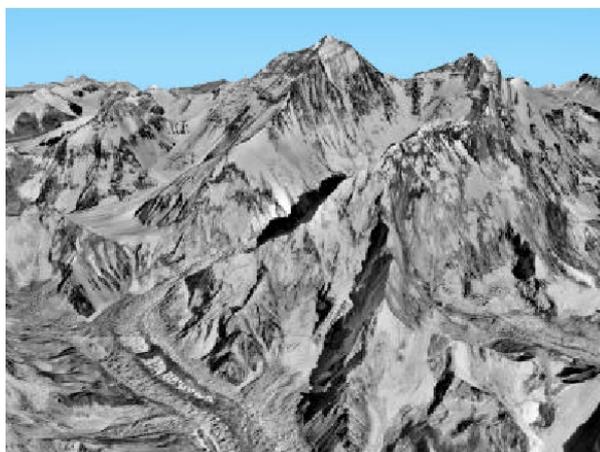


Abbildung 4.12: Ansicht der Mount-Everest Region von Westen (aus: ISPRS XXth Congress [GRUEN and RODITAKIS 2003])

Ziel des Projektes ist die Erstellung eines hoch aufgelösten photorealistischen Modells des Mount Everest, mit dessen Hilfe spezifische Modellierungs- und Visualisierungsprobleme in sehr steilem Gelände studiert werden können. Das entstandene 25 \* 25 Quadratkilometer große Modell soll für Naturschutzbelange benutzt werden, da durch den Tourismus in der Mount Everest Region zunehmend Umweltschäden und Abfallprobleme auftreten. Abbildung 4.12 zeigt ein texturiertes 3D-Geländemodell eines Ausschnitts der Region [GRUEN and RODITAKIS 2003].

- **Bewertungsmodell zur Beurteilung des Vernetzungsgrades ausgewählter Biotoptypen in einem Landschaftsraum**

Mit Hilfe des Bewertungsmodells sollen die Auswirkungen von Landschaftsveränderungen auf die Lebensraumgrößen von Populationen abgeschätzt werden können. Im Anwendungsbeispiel wird die Vernetzung von Trockenstandorten untersucht. Dabei wird die Position und Population der Trockenstandorte dreidimensional als Säulen auf einem digitalen Geländemodell markiert und die Lebensrauminseln werden als 3D-Oberflächen modelliert [LIENHARD 1999].

3D-Visualisierungen sind im Allgemeinen nicht mit einem Maßstab gekennzeichnet, weil der Maßstab in einer perspektivischen Darstellung, die in 3D-Visualisierungen üblich ist, abhängig von der Entfernung Objekt ↔ Betrachter ist.

Die Zusammenstellung der Beispielanwendungen zeigt, dass die 3D Visualisierung viele verschiedene Umweltthemen unterstützen kann. Die Anwendungen untersuchen einerseits direkt Umweltobjekte wie Wasser, Luft, Vegetation und Geologie. Sie befassen sich aber auch mit den Auswirkungen der Technosphäre auf die Umwelt oder umgekehrt mit den Auswirkungen der Umwelt auf die Technosphäre. Bei einigen der vorgestellten Beispielanwendungen überschneiden sich die Einsatzgebiete. Die Tabellen 4.1 und 4.2 kategorisieren die Beispielanwendungen der Umweltexperten abhängig von ihren Einsatzgebieten.

Meerwasser	Hochwasser	Grundwasser	Geologie	Luft	Vegetation	Landschaft
Tiefenprofile der Ostsee	FloodView	FEFLOW	GeoStore/ GeoToolKit	Visualisierung von Ausbreitungsergebnissen	TreeView	Mount Everest
	AR-Hochwasser-simulation Melinda	GeoPro <sup>3D</sup> Melinda	GeoPro <sup>3D</sup>		Wald-Insektenbefall-Analyse	Bergbau
		AR für geowissenschaftliche Anwendungen				Deponie-standort-analyse

Tabelle 4.1: 3D-Visualisierungsanwendungen der Umweltexperten nach Umweltobjekten kategorisiert

Einfluss der Technosphäre auf die Umwelt	Einfluss der Umwelt auf die Technosphäre
Melinda	FloodView
Mount Everest	AR-Hochwassersimulation
Vernetzungsgrad von Biotopen Bergbau	GeoPro <sup>3D</sup>
Deponiestandortanalyse	
Visualisierung von Ausbreitungsergebnissen	

Tabelle 4.2: 3D-Visualisierungsanwendungen der Umweltexperten, kategorisiert nach den Wechselbeziehungen zwischen der Umwelt und der Technosphäre

## 4.4 Schlussfolgerungen für das 3D-Visualisierungssystem für Umweltanwendungen

Wie die Ausführungen in diesem Kapitel gezeigt haben, existieren einerseits Geobasisdaten und andererseits viele unterschiedliche Fachdaten aus dem Umweltbereich, die für die Realisierung von 3D-Umweltanwendungen benutzt werden können.

Die Beispiele der 3D-Visualisierungsanwendungen zeigen, für welche Art von Anwendungen diese Daten benutzt werden und welche Arten von Objekten visualisiert werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption und Implementierung eines generischen Systems für die Realisierung von 3D-Umweltanwendungen. Dieses System sollte die gängigen Objekttypen visualisieren können, vor allem aber auch dynamisch erweiterbar sein. Das heißt, das System soll neuen Anforderungen gewachsen sein, indem weitere Objekte visualisiert werden und neue Anwendungsszenarien entwickelt werden können.

Die Entwicklung dieses neuen Systems und dessen Einsatz in der Praxis wird in den nächsten Kapiteln beschrieben. Begonnen wird aufgrund der bisherigen Untersuchungen mit der Entwicklung eines generischen Datenmodells in Kapitel 5, das den eben gestellten Anforderungen entsprechen soll.

# Kapitel 5

## Datenmodell zur Realisierung von 3D-Visualisierungen für Umweltanwendungen

Aus den identifizierten Anwendungsszenarien für 3D-Visualisierungen, den darin enthaltenen 3D-Objekten und den vorhandenen Daten wird in diesem Kapitel ein Datenmodell abstrahiert, das für die Realisierung von 3D-Umweltanwendungen benutzt werden kann.

### 5.1 Objekte für Umweltanwendungen

In diesem Abschnitt werden verschiedene Arten von Objektinhalten vorgestellt und kategorisiert. Die sinnvolle Nutzung dieser Objekte in 3D-Umweltanwendungen wird diskutiert.

#### 5.1.1 3D-Objektgeometrien für Umweltanwendungen

Wie die Untersuchung der verschiedenen 3D-Umweltanwendungen im Abschnitt 4.3 zeigt, kommen verschiedene Arten von 3D-Objekten bei der Visualisierung zum Einsatz. Die folgende Aufstellung beschreibt gängige 3D-Objektgeometrien, die in 3D-Umweltanwendungen verwendet werden, und unterteilt die Objektgeometrien in geometrische Kategorien:

- Punkte:  
Punkte können in einer 3D-Visualisierung verwendet werden, um die genaue Position von Objekten zu markieren (siehe Abbildung 5.1 links).
- Linien:  
Linienförmige Objekte können für verschiedene Arten von Objekten in 3D-Visualisierungen notwendig werden. Mit Linien können zum Beispiel Grenz- oder Trassenverläufe markiert und Schnitt- oder Isolinien dargestellt werden. Diese Objekte

können geometrisch mit Hilfe von Polylinien dargestellt werden (siehe Abbildung 5.1 rechts). Die Stützpunkte der Polylinien können nach Bedarf mit Koordinatentupeln oder Koordinatentripeln realisiert werden.



Abbildung 5.1: Punkt- und Linienobjekte

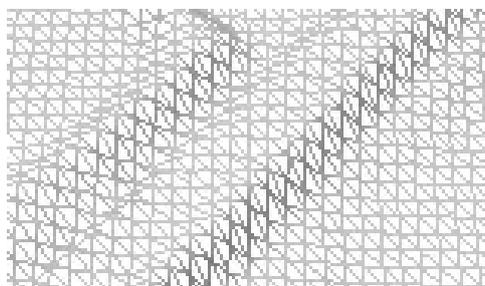
- Oberflächen:
 

Fast alle der in Abschnitt 4.3 vorgestellten 3D-Umwelthanwendungen enthalten auch Objekte, die flächige Geometrien beschreiben. Sie können folgendermaßen visualisiert werden:

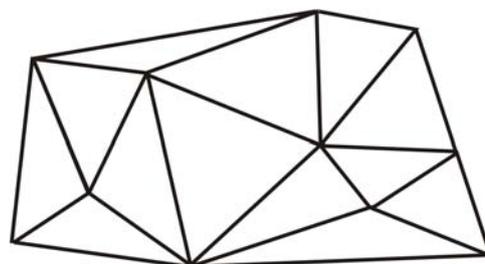
  - Raster-Oberflächen:
 

Die Geometrie der Raster-Oberflächen wird durch ein regelmäßiges Gitter beschrieben (siehe Abbildung 5.2 (a)). Die Lagekoordinaten der Gitterstützpunkte haben den gleichen Abstand voneinander. Die Höhenkoordinate variiert.
  - Triangulated-Irregular-Network-Oberflächen:
 

Die Geometrie von Triangulated-Irregular-Network-Oberflächen (TIN-Oberflächen) wird mit Hilfe von diskret verteilten Punkten beschrieben (siehe Abbildung 5.2 (b)). Diese Punkte können zum Beispiel mit Hilfe einer Delaunay-Triangulation zu Dreiecken vermascht werden.



(a) Raster-Oberfläche



(b) TIN-Oberfläche

Abbildung 5.2: Oberflächen

- Volumina:
 

Außerdem sind für 3D-Darstellungen Volumenvisualisierungen interessant, mit deren Hilfe zum Beispiel die Ausbreitung von Stoffen in der Luft dargestellt werden kann. Sinnvoll für Umweltvisualisierungen sind die folgenden drei Arten von Volumenobjekten.

  - Richtungsfelder:
 

Mit Hilfe von Pfeilansammlungen im 3D-Raum können Richtungsfelder dargestellt werden. Der Betrachter erhält einen Gesamteindruck des Volumenbereiches. Mit Hilfe dieser Technik können beispielsweise Windfelder dargestellt werden (siehe Abbildung 5.3).

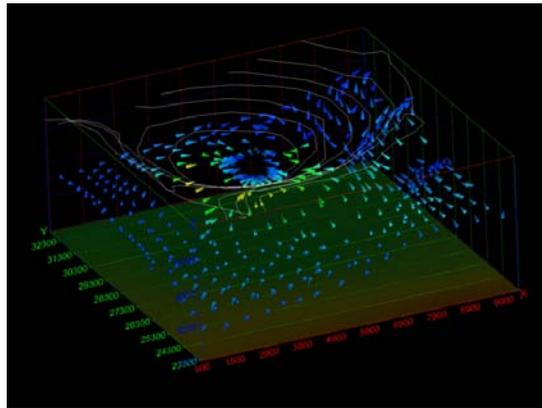
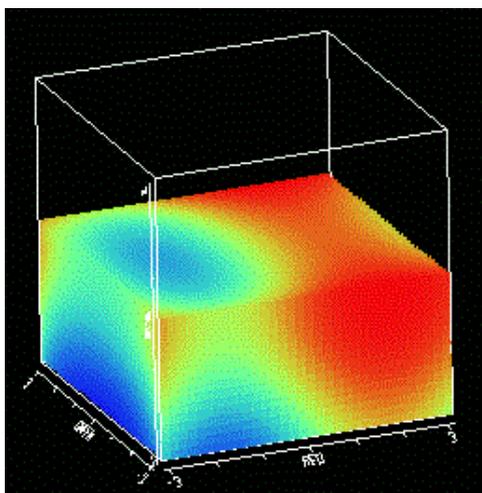
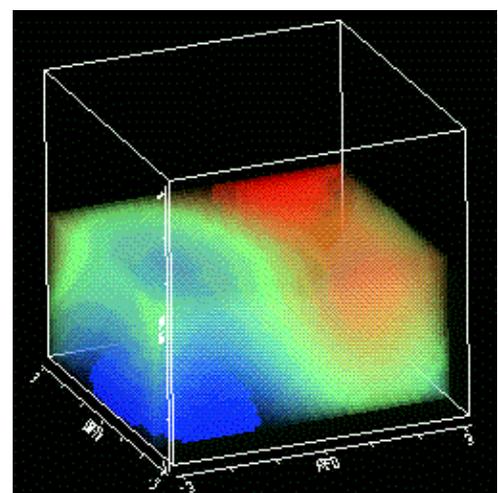


Abbildung 5.3: Windfeld [GEOINFORMATION.NET 2004]

- Ausgefüllte Volumenobjekte:  
Wird jedes Voxel des Volumenbereiches mit einem Wert belegt, ist für den Betrachter nur die Oberfläche des Objektes sichtbar (siehe Abbildung 5.4(a)).
- Semitransparente Objekte:  
Alternativ können semitransparente Objekte eingesetzt werden, die Einblick in das Innere des Volumenkörpers geben (siehe Abbildung 5.4(b)).



(a) Ausgefülltes Volumenobjekt [TADDEI 1999]



(b) Semitransparentes Volumenobjekt [TADDEI 1999]

Abbildung 5.4: Volumenobjekte

- Primitive:  
Einfache 3D-Objektgeometrien können direkt oder kombiniert zu komplexeren Objekten in 3D-Umweltanwendungen verwendet werden. Die folgende Liste zeigt einfache Grundprimitive (siehe Abbildung 5.5), die für die Verwendung als fachbezogene Objekte (siehe Abschnitt 5.1.3) beliebig kombiniert werden können:
  - Quader
  - Zylinder

- Kugel
- Kegel
- Prisma
- Dreieckprisma

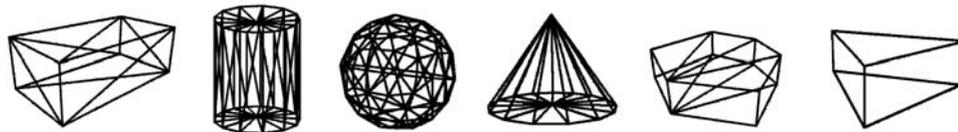


Abbildung 5.5: Primitive: Quader, Zylinder, Kugel, Kegel, Prisma, Dreiecksprisma

### 5.1.2 Darstellungsobjekte (Objekte zur Unterstützung der Darstellung)

Für die Integration von zusätzlichen Erläuterungen in 3D-Umwelthanwendungen können Darstellungsobjekte, wie zum Beispiel Text oder Symbole, verwendet werden. Solche Objekte sind in der realen Welt im Allgemeinen nicht vorhanden.

- Text:  
Textobjekte, die Erklärungen enthalten, können direkt in eine 3D-Szene integriert werden. Durch Positionierung des Textbausteins neben einem Objekt kann das Objekt zum Beispiel mit Namen, Identifikationsnummer oder sonstigen Beschriftungen versehen werden (siehe Abbildung 5.6).

101/508



Abbildung 5.6: Grundwassermessstelle mit Identifikationsnummer

- Symbole:  
Die Verwendung von abstrakten Symbolen aus der Semiotik in einer 3D-Szene kann dem Nutzer neben den Informationen, die von einer möglichst realistischen Darstellung der Szene geliefert werden, zusätzliche Informationen bieten. Dafür werden Symbole mit einer bestimmten Bedeutung benutzt. Die Symbole können als kleine 2D-Graphiken (Icons) in die 3D-Szene integriert werden. So kann zum Beispiel die Position einer Burg oder Ruine in einer 3D-Szene mit Hilfe eines Symbols gekennzeichnet werden, ohne dass die Burg zwingend als 3D-Gebäude dargestellt werden muss (siehe Abbildung 5.7).

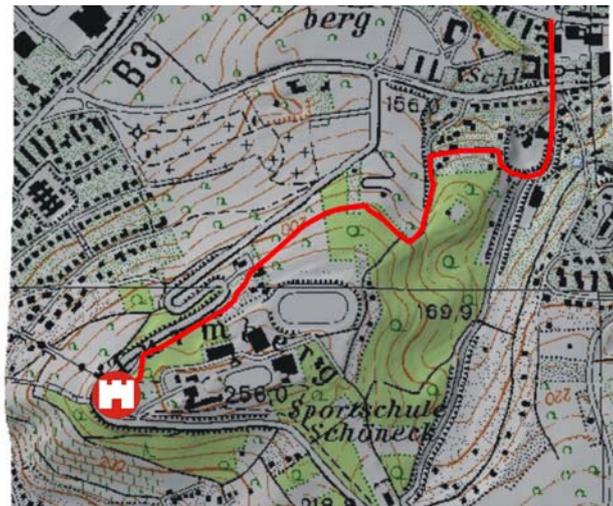


Abbildung 5.7: Das Ziel des Wanderweges (rote Linie) in der TK25 [LFU 2005a] ist mit einem Burg-Symbol gekennzeichnet.

- Glyphen:  
Glyphen sind Symbole, die Merkmale zur Dateninterpretation enthalten. Eine sinnvolle Anwendung von Glyphen im Umweltbereich ist zum Beispiel die Verwendung von Pfeilglyphen für die Visualisierung von Strömungsdaten (siehe Abbildung 5.8). Dabei können die Parameter Richtung, Größe und Farbe so angepasst werden, dass sie den Strömungsverlauf charakterisieren.

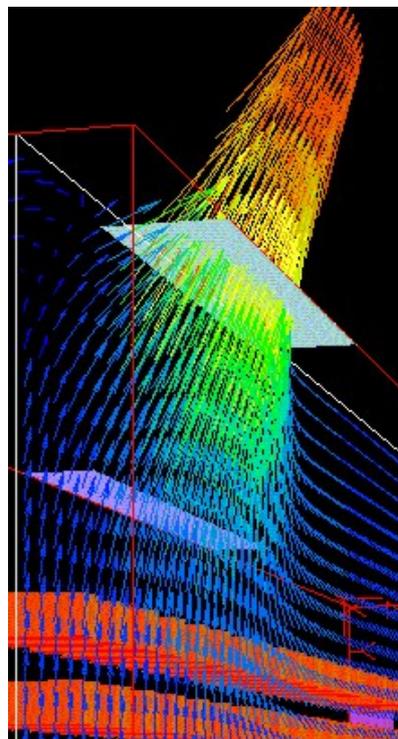


Abbildung 5.8: Pfeilglyphen zur Visualisierung von Strömungsdaten [STAHL UND WEISS 2005]

- Prism Map:

Eine *Prismenkarte* oder *Prism Map* ist eine dreidimensionale Kartendarstellung, die mit Hilfe der Höhe einer geographischen Region vom Raumbezug unabhängige quantitative Attributwerte der Region visualisieren kann (siehe Abbildung 5.9). Eine solche Prismenkarte kann auch für Visualisierung von Umweltparametern benutzt werden und kann zum Beispiel mit GIS-tern 3D oder der Prism Map des Environmental GIS erzeugt werden [MALINVERNI und GIOIA 2003] [HOFMANN et al. 1999].

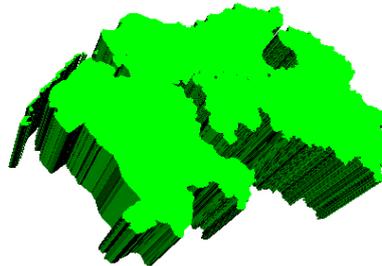


Abbildung 5.9: Prismenkarte von Niedersachsen

### 5.1.3 Fachbezogene Objekte

Die Kategorie der fachbezogenen Objekte umfasst 3D-Objekte, die für fachliche Darstellungen in 3D-Umwelthanwendungen verwendet werden können. Fachbezogene Objekte repräsentieren Elemente in der 3D-Szene, die vom Betrachter mit einer Bedeutung belegt werden, die für die Analyse der umweltrelevanten Daten wichtig ist. Das können entweder virtuelle Objekte sein, die Objekte aus der Wirklichkeit repräsentieren, wie zum Beispiel Geländeoberflächen oder virtuelle Objekte, die bei der Interpretation dieser Objekte helfen, wie zum Beispiel Isolinien. Die geometrische Struktur der fachbezogenen Objekte kann mit Hilfe der Geometrieobjekte erzeugt werden.

- Geländedarstellung:

Fast alle 3D-Umwelthanwendungen enthalten Objekte, die das Gelände repräsentieren. Geländedarstellungen sind für 3D-Umwelthanwendungen also essentiell (siehe Abbildung 5.10 (a)). Digitale Geländemodelle liegen häufig in Form von regelmäßigen Rastern vor. Deswegen eignen sich Raster-Oberflächen zur Visualisierung digitaler Geländemodelle.

- Interpolationsflächen:

Viele der 3D-Umwelthanwendungen benötigen triangulierte Flächendarstellungen für unterschiedliche Zwecke (siehe Abbildung 5.10 (b)). Beispiele sind geologische Schichten, Wasserflächen oder auch Gletscheroberflächen. Diese Flächendarstellungen sind neben der Geländeoberfläche ein essentieller Teil der fachbezogenen Objekte. Die geometrische Struktur der Flächen kann mit Hilfe von TIN-Oberflächen realisiert werden.

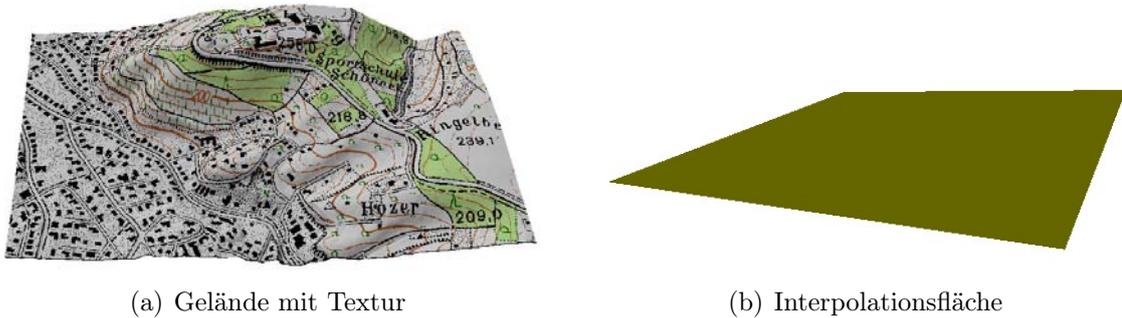


Abbildung 5.10: Fachbezogene Oberflächen

- Vegetation:

Die Visualisierung von Vegetation kommt eher selten vor. Notwendig ist sie lediglich für direkte Vegetationsuntersuchungen. Allerdings kann die Integration der Vegetation in eine 3D-Szene das Verständnis für die Szene verbessern. Es ist möglich, aus Objektprimitiven einfache Vegetationsobjekte zu generieren, wie das Beispiel in Abbildung 5.11 zeigt:

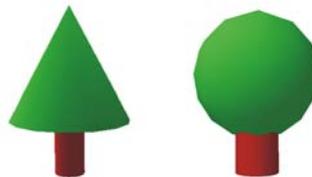


Abbildung 5.11: Nadelbaum (links) und Laubbaum (rechts)

- Technosphäre:

Die Technosphäre umfasst den künstlich geschaffenen Teil unserer Umwelt. Objekte der Technosphäre sind zum Beispiel in den Anwendungen GeoPro<sup>3D</sup> (siehe Abschnitt 7.1.2) oder MELINDA [LEINEMANN et al. 2001] enthalten. Beide Anwendungen untersuchen entweder den Einfluss der Technosphäre auf die Umwelt (MELINDA untersucht Altlasten) oder den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Technosphäre (MELINDA und GeoPro<sup>3D</sup> visualisieren Grundwasser) in räumlich eng begrenzten Gebieten.

Andere Anwendungen, die Objekte der Technosphäre enthalten sind 3D-Stadtmodelle, die allerdings überwiegend für touristische, Stadtplanungs- oder Mobilfunkzwecke benutzt werden. Sie sind keine typischen 3D-Umwelthanwendungen.

Objekte der Technosphäre werden also in vielen verschiedenen Anwendungen benötigt, wobei das Erscheinungsbild der Objekte vom jeweiligen Zweck der einzelnen Anwendung abhängt. Deshalb ist es sinnvoll, die Objekte variabel zu gestalten. Es sollte zum Beispiel bei Gebäuden möglich sein, die Stockwerksanzahl beliebig festzulegen.

Mit den folgenden zwei Objektarten, die mit Hilfe von Primitiven erzeugt werden können, lassen sich viele Objekte der Technosphäre darstellen (siehe Abbildung 5.12):



Abbildung 5.12: Technosphäre: Gebäude- (links) und Trassenobjekt (rechts)

- Weitere Objekte:

Diese Kategorie enthält Objekte, die in 3D-Anwendungen nicht besonders häufig anzutreffen sind, sondern die für eine einzelne oder wenige Anwendungen benötigt werden. Ein allgemeines System für die Erstellung von Umweltanwendungen sollte die Möglichkeit bieten, weitere Objekte zu integrieren oder zu modellieren. Die folgende Liste enthält Beispiele für weitere Objekte:

- Bohrloch:

Ein Beispiel für weitere Objekte sind Bohrlöcher, die in unterschiedlichen Darstellungsarten (vertikal in der Anwendung GeoPro<sup>3D</sup> (siehe 7.1.2) oder mit Hilfe von Knicken, die das Bohrloch in verschiedene Richtungen ablenken, in der Anwendung MELINDA [LEINEMANN et al. 2001]) verwendet werden. Virtuelle Bohrlöcher können durch Kombination von Primitiven dargestellt werden (siehe Abbildung 5.13).



Abbildung 5.13: Bohrloch

- Windkraftanlage:

Ein weiteres Beispiel für ein besonderes Objekt ist eine Windkraftanlage (siehe Abbildung 5.14), wie sie zum Beispiel in VIS-ALL visualisiert werden kann [JOHN 2005]. Das virtuelle Objekt, das eine Windkraftanlage darstellt, kann mit Hilfe von Primitiven erzeugt werden.



Abbildung 5.14: Windkraftanlage [JOHN 2005]

- Nichtreale Objekte:

Viele 3D-Visualisierungen die umweltbezogene Daten visualisieren bemühen sich, die Wirklichkeit so abzubilden, dass für den Betrachter der Bezug zur Wirklichkeit sofort erkennbar ist. Entscheidende Informationen, die für die Analyse von Bedeutung sind, können aber nicht immer mit Abbildungen realer Objekte in die Visualisierung integriert werden, da die realen Objekte physisch nicht existieren. Diese Objekte können allerdings virtuell dargestellt werden. Da die Objekte bei der Auswertung von umweltbezogenen Daten helfen, sind sie in die Kategorie der fachbezogenen Objekte eingeordnet:

- Grenzlinien:

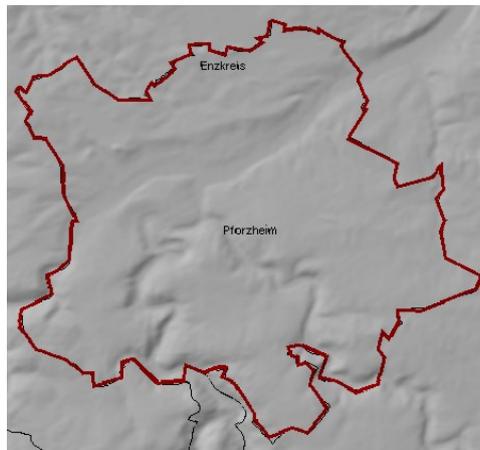


Abbildung 5.15: Grenzlinie eines Kreises

Mit Hilfe einer geschlossenen Polylinie können Flächen begrenzt werden. Interessant für die Analyse von umweltbezogenen Daten ist die Markierung von Verwaltungsregionen (siehe Abbildung 5.15) oder die Begrenzung umweltrelevanter Gebiete, wie zum Beispiel die Begrenzung von Naturschutz- oder Wasserschutzgebieten.

- Isolinien:

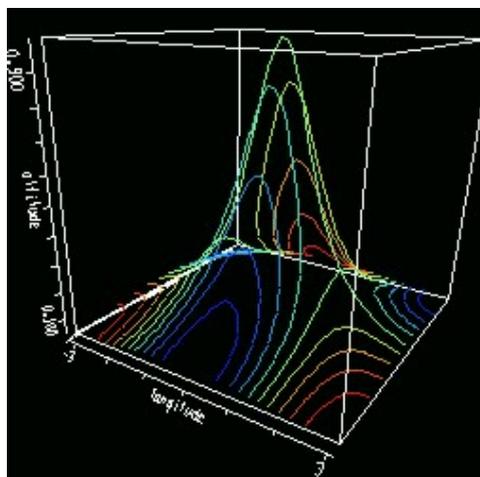


Abbildung 5.16: 3D-Isolinien [TADDEI 1999]

Linien, die gleiche Werte in einem Kontinuum verbinden, werden als Isolinien oder Wertelinien bezeichnet [HAKE und GRÜNREICH 1994b]. Beispiele von Isolinien, die auch für Umwelthanwendungen interessant sind, sind Geländehöhenlinien, Linien gleicher Druckhöhe im Grundwasser oder Isolinien, die Schallausbreitungen kennzeichnen. Isolinien können mit Hilfe von Polylinien visualisiert werden (siehe Abbildung 5.16).

– Profile:

Neben der eigentlichen 3D-Darstellung ist in einigen Umwelthanwendungen auch eine 2D-Profilansicht an definierten Stellen der 3D-Szene interessant (Beispiel: Querschnitte von geologischen Schichten (siehe Abbildung 5.17)). Diese Darstellung wird in Anwendungen realisiert, die Flächendarstellungen enthalten. Der Schnitt durch die Fläche wird mit Hilfe einer Polylinie visualisiert.

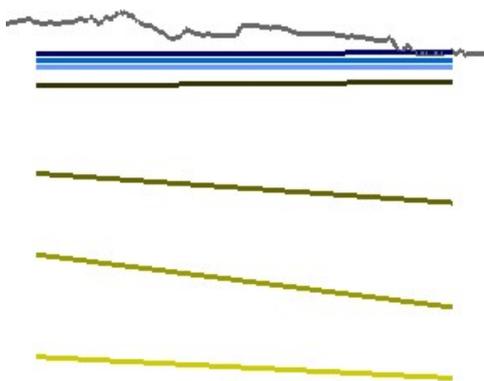


Abbildung 5.17: Querschnitt durch eine 3D-Szene mit geologischen Schichten

– Volumenschnitte:

Ebenso interessant wie ein Querschnitt einer Flächendarstellung ist ein Schnitt durch eine Volumenvisualisierung (in Abbildung 4.7 ist eine blaue Schnittfläche enthalten). Dieser Schnitt kann mit Hilfe von Flächendarstellungen realisiert werden.

## 5.2 Aufbau eines 3D-Datenmodells

Mit Hilfe der beschriebenen Umweltobjekte wird ein Datenmodell aufgebaut, das für gängige Umwelthanwendungen benutzt werden kann. Dabei spiegelt sich die eben vorgestellte Einteilung der Objektarten in der Struktur des Datenmodells wider. Die im Folgenden abgebildeten Klassendiagramme wurden mit Hilfe von UML 2.0 erzeugt, dessen Notation in [OOSE.DE 2005] beschrieben wird.

Abbildung 5.18 zeigt aufgeteilt nach den Objektkategorien eine Übersicht der Paketstruktur des Datenmodells. In den einzelnen Paketen sind die Klassen für die Realisierung des Datenmodells enthalten:

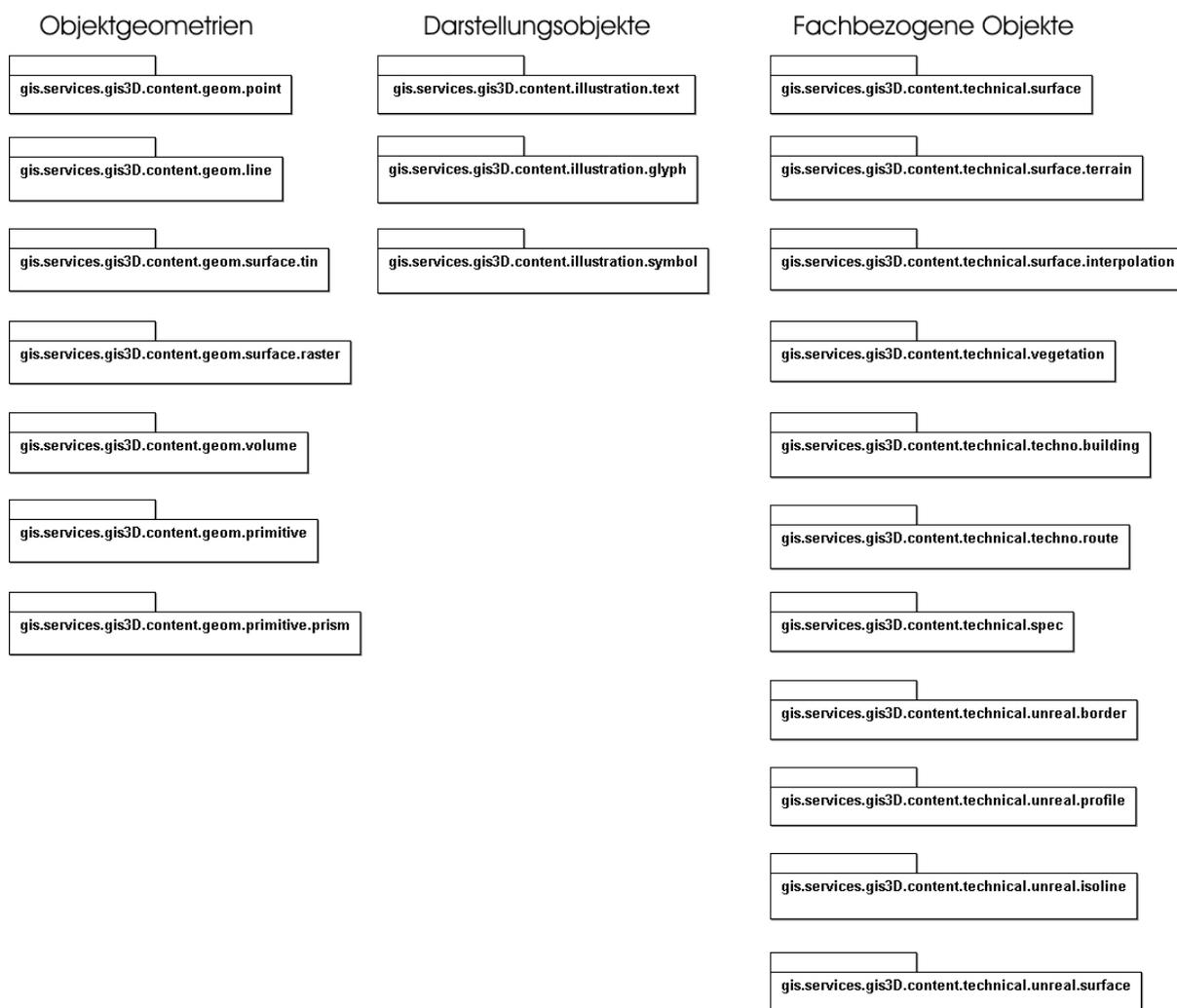


Abbildung 5.18: Paketübersicht des Datenmodells

Im Paket `gis.services.gis3D.content.geom` sind die Pakete der Objektgeometrien (siehe Abschnitt 5.1.1) zusammengefasst. In `gis.services.gis3D.content.illustration` befinden sich die Pakete der Darstellungsobjekte (siehe Abschnitt 5.1.2) und in `gis.services.gis3D.content.technical` sind die fachbezogenen Objekte (siehe Abschnitt 5.1.3) enthalten.

In den einzelnen Paketen werden 3D-Objekte generiert, die direkt in einen 3D-Viewer integriert werden könnten. Allerdings ist aus Gründen der Übersichtlichkeit die Strukturierung der Objekte sinnvoll. Semantisch zusammengehörende 3D-Objekte werden deswegen in Layern, die auch in 2D-GI-Systemen üblich sind, verwaltet. Diese Layer werden in den 3D-Viewer integriert und damit werden die Objekte sichtbar.

### 5.2.1 Datenmodell der Objektgeometrien

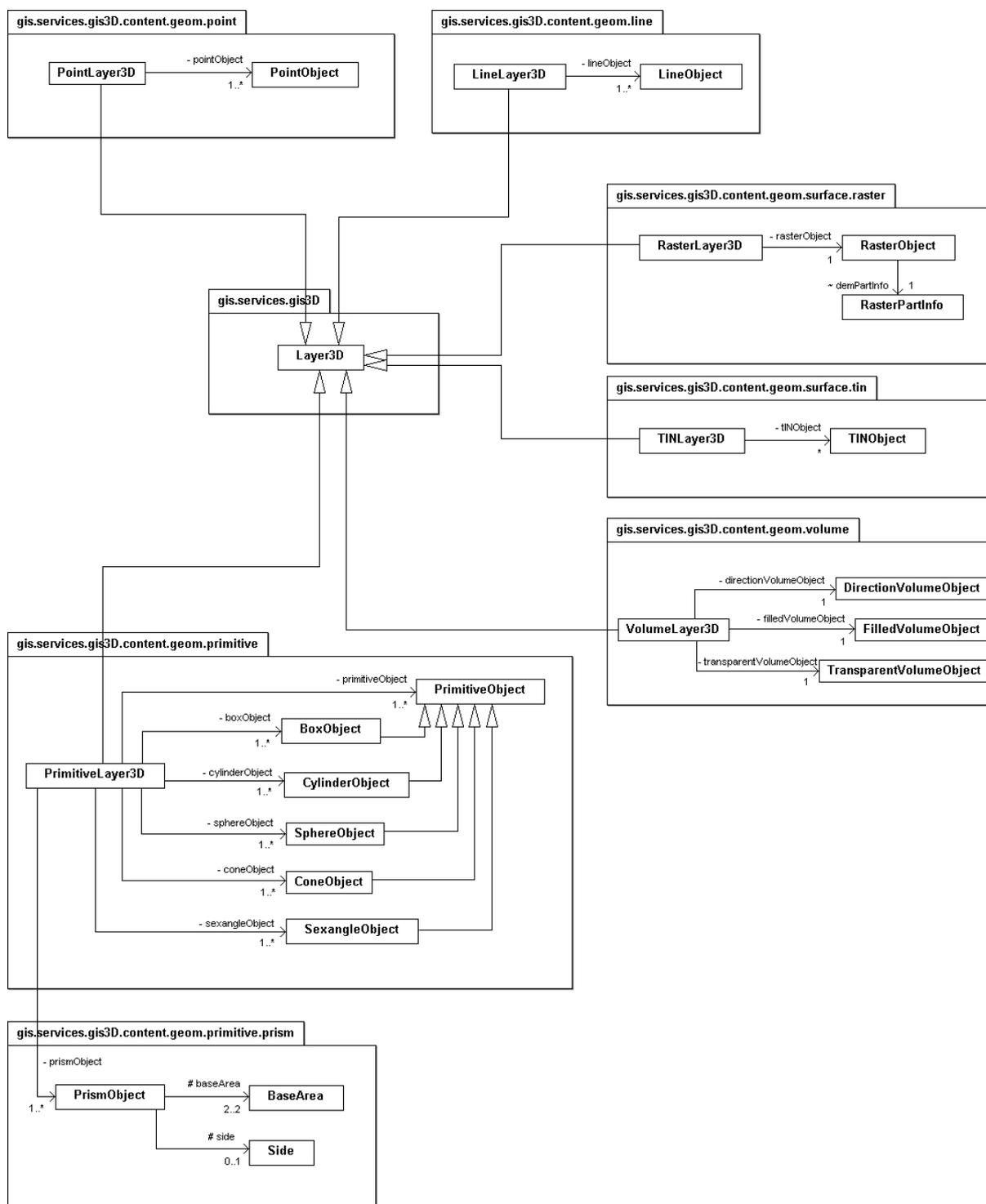


Abbildung 5.19: Klassendiagramm der 3D-Objektgeometrien

Abbildung 5.19 zeigt das Klassendiagramm der Klassen, welche die 3D-Objektgeometrien realisieren. Jedes Geometrie-Paket enthält mehrere Klassen, die für die Generierung eines Objektgeometrietyps verantwortlich sind. Außerdem enthält jedes Geometrie-Paket einen

zur Geometrie passenden Layer, der gemeinsame Eigenschaften seiner Inhaltsobjekte behandeln kann. Diese Layer sind von der Klasse `Layer3D` des Paketes `gis.services.gis3D` abgeleitet, in dem sich die elementaren Visualisierungsklassen des in dieser Arbeit entwickelten generischen 3D-Umweltvisualisierungssystems befinden. Im Folgenden werden die einzelnen Geometrie-Pakete beschrieben:

- `gis.services.gis3D.geom.point`:  
Die Klasse `PointObject` generiert aus Koordinatenarrays mit Lage- und Höheninformationen eine Punktwolke. Die Klasse `PointLayer3D`, die von `Layer3D` abgeleitet ist, kann mehrere Instanzen der Klasse `PointObject` visualisieren.
- `gis.services.gis3D.geom.line`:  
Die Klasse `LineObject` generiert aus Koordinatenarrays mit Lage- und Höheninformationen eine Polylinie, die im `LineLayer3D` (abgeleitet von `Layer3D`) visualisiert werden kann. Ein `LineLayer3D` kann mehrere Instanzen der Klasse `LineObject` enthalten. Die einzelnen Linien werden in der Legende des `LineLayer3D` als Linien gekennzeichnet.
- `gis.services.gis3D.geom.raster`:  
Regelmäßige Raster-Oberflächen werden durch die Klasse `RasterObject` repräsentiert und decken häufig große Gebiete ab. Das bedeutet, dass große Datenmengen verarbeitet und visualisiert werden müssen (siehe Abschnitt 6.3). Deswegen wird ein `RasterObject` aus mehreren kleineren Rasteroberflächen zusammengesetzt. Informationen über diese Teilflächen sind in der Klasse `RasterPartInfo` enthalten. Dort ist die Auflösung des Rasters, Anzahl und Größe der Teilflächen und der Zugriff auf die Koordinaten gespeichert. Das fertiggestellte `RasterObject` kann in den `RasterLayer3D` eingefügt und visualisiert werden.
- `gis.services.gis3D.geom.tin`:  
Unregelmäßige TIN-Oberflächen werden durch die Klasse `TINObject` repräsentiert. Mit Hilfe einer Delaunay-Triangulation werden die Lagekoordinaten zu Dreiecken vermascht. Anschließend wird den Lagepunkten der Dreiecksvermaschung die entsprechende Höhe zugewiesen. Das entstandene `TINObject` kann mit Hilfe des `TIN-Layer3D` visualisiert werden.
- `gis.services.gis3D.geom.volume`:  
Volumenobjekte werden durch drei verschiedene Klassen repräsentiert:
  - Die Klasse `DirectionVolumeObject` erzeugt Richtungsfelder.
  - Die Klasse `FilledVolumeObject` erzeugt opaque Volumenobjekte.
  - Die Klasse `TransparentVolumeObject` erzeugt semitransparente Volumenobjekte.

Die erzeugten Volumenobjekte sollen in den `VolumeLayer3D` integriert und visualisiert werden können.

- `gis.services.gis3D.geom.primitive` und `gis.services.gis3D.geom.primitive.-prism`:

Einfache 3D-Objektgeometrien werden durch die Unterklassen der Klasse `PrimitiveObject` repräsentiert:

- Die Klasse `BoxObject` erzeugt einen Quader.
- Die Klasse `CylinderObject` erzeugt einen Zylinder.
- Die Klasse `SphereObject` erzeugt eine Kugel.
- Die Klasse `ConeObject` erzeugt einen Kegel.
- Die Klasse `SexangelObject` erzeugt ein Dreiecksprisma.
- Die Klasse `PrismObject` erzeugt ein Prisma, das aus 2 parallel verschobenen polygonalen Grundflächen (jeweils eine Instanz der Klasse `BaseArea` für oben und unten) und dem dazugehörigen Seitenobjekt (`Side`) besteht.

Das Datenmodell der Objektgeometrien realisiert in den vorgestellten Paketen die in Abschnitt 5.1.1 präsentierten Objektgeometrien. Es sind gängige geometrische Strukturen, die einzeln oder kombiniert für die Erzeugung von komplexeren Objekten benutzt werden können.

Werden bei der Implementierung von 3D-Visualisierungen neue grundlegende Objektgeometrien benötigt, können zusätzliche Objekte oder auch neue Pakete jederzeit in das Datenmodell der Objektgeometrien integriert werden.

### 5.2.2 Datenmodell der Darstellungsobjekte

Abbildung 5.20 zeigt das Klassendiagramm der Darstellungsobjekte, also der Objekte, die in der realen Welt nicht als Objekte existieren (siehe Abschnitt 5.1.2). Die in diesen Paketen erzeugten Objekte sind von der Klasse `FeatureProxy3D` abgeleitet. Damit ist es möglich, im Objekt zusätzlich zur Geometrie Attributinformationen zu verwalten. `FeatureProxy3D`-Objekte werden in Instanzen der Klasse `FeatureLayer3D` verwaltet.

Im Folgenden werden die Pakete der Darstellungsobjekte aus Abbildung 5.20 beschrieben und diskutiert:

- `gis.services.gis3D.illustration.text`:  
In einem `TextFeatureProxy3D`-Objekt werden an der Position übermittelter Koordinaten Textelemente erzeugt. Das `TextFeatureProxy3D`-Objekt kann in einem `TextLayer3D` visualisiert werden.
- `gis.services.gis3D.illustration.symbol`:  
In einem `SymbolFeatureProxy3D`-Objekt wird an der übermittelten Position das mitgelieferte Icon mit symbolischer Bedeutung generiert. Das `SymbolFeatureProxy3D`-Objekt kann in einem `SymbolLayer3D` visualisiert werden.
- `gis.services.gis3D.illustration.glyph`:  
Das Objekt `GlyphFeatureProxy3D` erzeugt Pfeil-Glyphen, die in einem `GlyphFeatureLayer3D` visualisiert werden können.

- gis.services.gis3D.illustration.prismmap:**  
 Die Regionen einer Karte (Polygone) werden durch Prismenprimitive (`PrismObject`) visualisiert. Die Höhe der Prismen wird durch den Attributwert festgelegt. Die dabei entstehenden Objekte werden durch die Klasse `PrismFeatureProxy3D` repräsentiert. Die Instanzen der Klasse `PrismFeatureProxy3D` werden in den `PrismMapLayer3D` integriert und erzeugen eine dreidimensionale statistische Kartenauswertung.

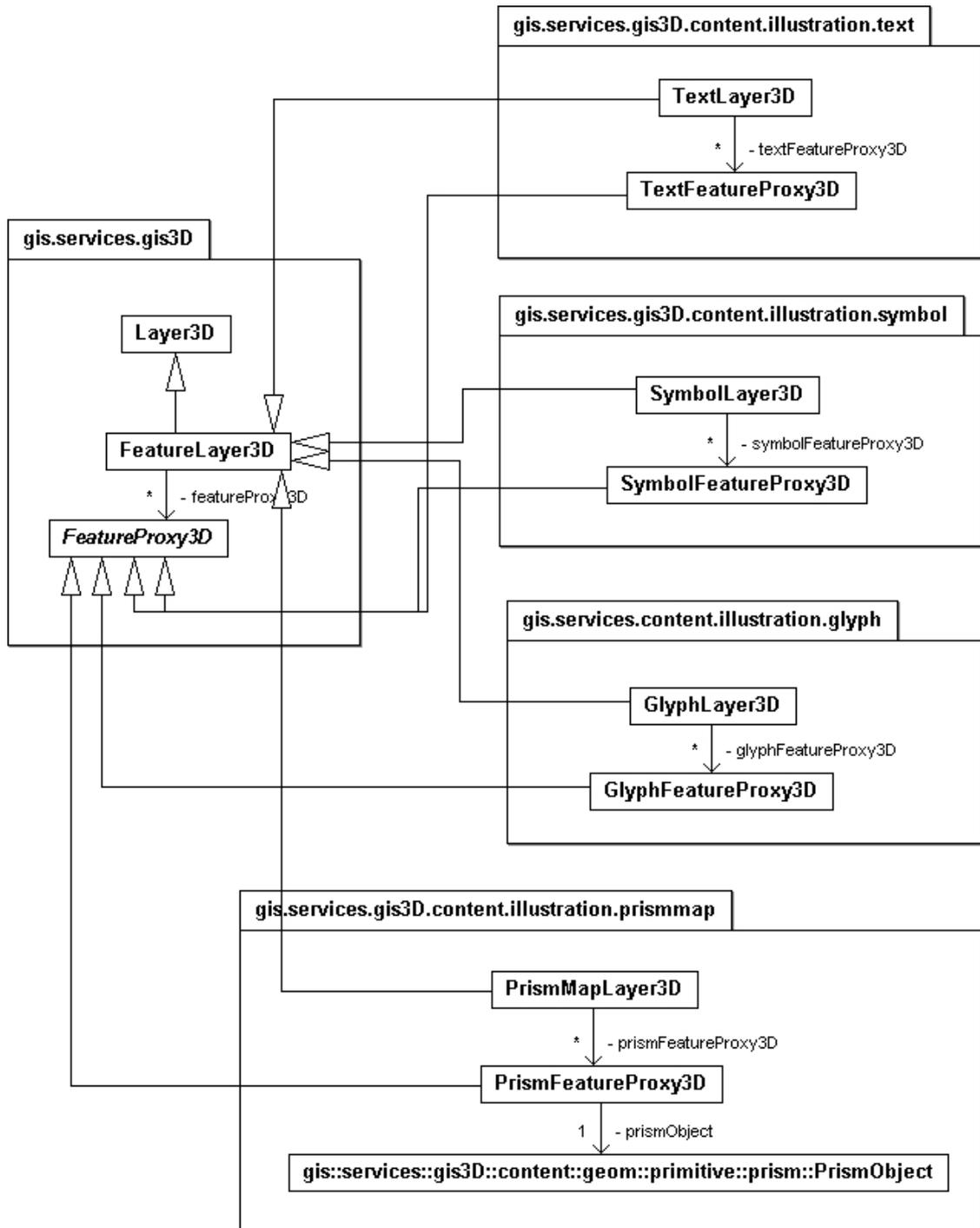


Abbildung 5.20: Klassendiagramm der Darstellungsobjekte

Alle Objektformen der eben vorgestellten Pakete sind nicht in natürlichen Objekten vertreten. Trotzdem werden diese Arten von Objekten häufig in 3D-Visualisierungen von Umwelthanwendungen benutzt, wie die Beschreibungen der fachspezifischen Anwendungen in Abschnitt 4.3 zeigen.

Texte und Symbole werden häufig für Erklärungen und die Integration zusätzlicher Informationen in 3D-Visualisierungen verwendet. Die Pakete `gis.services.gis3D.content.-illustration.text` und `gis.services.gis3D.content.illustration.symbol` integrieren die notwendigen Objekte in das Datenmodell. Glyphen können zum Beispiel für die Darstellung von Windfeldern benutzt werden. Die Realisierung erfolgt in `gis.services.-gis3D.content.glyph`. Prismmaps ermöglichen mit Hilfe von `gis.services.gis3D.-content.prismmap` die Visualisierung von georeferenzierten 3D-Statistiken.

Werden Visualisierungen gefordert, die neue Formen von Darstellungsobjekten benötigen, kann das Datenmodell der Darstellungsobjekte jederzeit durch neue Pakete erweitert werden.

### 5.2.3 Datenmodell der fachbezogenen Objekte

Aus der Zusammenstellung im Abschnitt 5.1.3 wird deutlich, dass die fachbezogenen Umweltobjekte mit Hilfe einzelner oder kombinierter Objektgeometrie-Klassen darstellbar sind. Außerdem kann die Liste der fachbezogenen Objekte, die bisher konzeptionell im Datenmodell vorgestellt wurden, nicht vollständig sein. Deswegen ist das Datenmodell so konzipiert, dass es jederzeit um weitere bisher nicht betrachtete Objektkategorien oder um Objekte in den Objektkategorien ergänzt werden kann.

Wie die Darstellungsobjekte sind auch die fachbezogenen Objekte von der Klasse `FeatureProxy3D` abgeleitet, damit zusätzlich zur Visualisierung Attributinformationen verwaltet werden können. Wie oben werden die Objekte in Layern visualisiert, die von `FeatureLayer3D` abgeleitet sind. Die folgenden Pakete bilden das Klassendiagramm der fachbezogenen Objekte:

- `gis.services.gis3D.content.technical.surface:`

Das Oberflächenpaket enthält einerseits die Geländedarstellung, die in einen `TerrainLayer3D` eingefügt werden kann. Das Geländeobjekt wird mit Hilfe eines `TerrainFeatureProxy3D`-Objektes realisiert, dessen Objektgeometrie mit Hilfe eines Objektes der Klasse `RasterObject` erzeugt wird. Andererseits enthält es die Visualisierung von Interpolationsflächen. Die Interpolationsfläche wird mit Hilfe eines `IrregularSurfaceFeatureProxy3D`-Objektes erzeugt, das ein Geometrieobjekt der Klasse `TINObject` enthält. Das Interpolationsflächenobjekt wird dann in den `IrregularSurfaceLayer3D` eingefügt.

Sowohl der `TerrainLayer3D` als auch der `IrregularSurfaceLayer3D` enthalten auf den Layer abgestimmte Methoden zur Erzeugung von Profilschnitten (siehe `gis.services.gis3D.content.technical.unreal`), die bei Bedarf die Oberflächendarstellung ersetzen können. `TerrainLayer3D` und `IrregularSurfaceLayer3D` sind von `SurfaceLayer3D`, der die Ereignisbehandlung für die Erzeugung der Profile regelt, abgeleitet (siehe Abbildung 5.21).

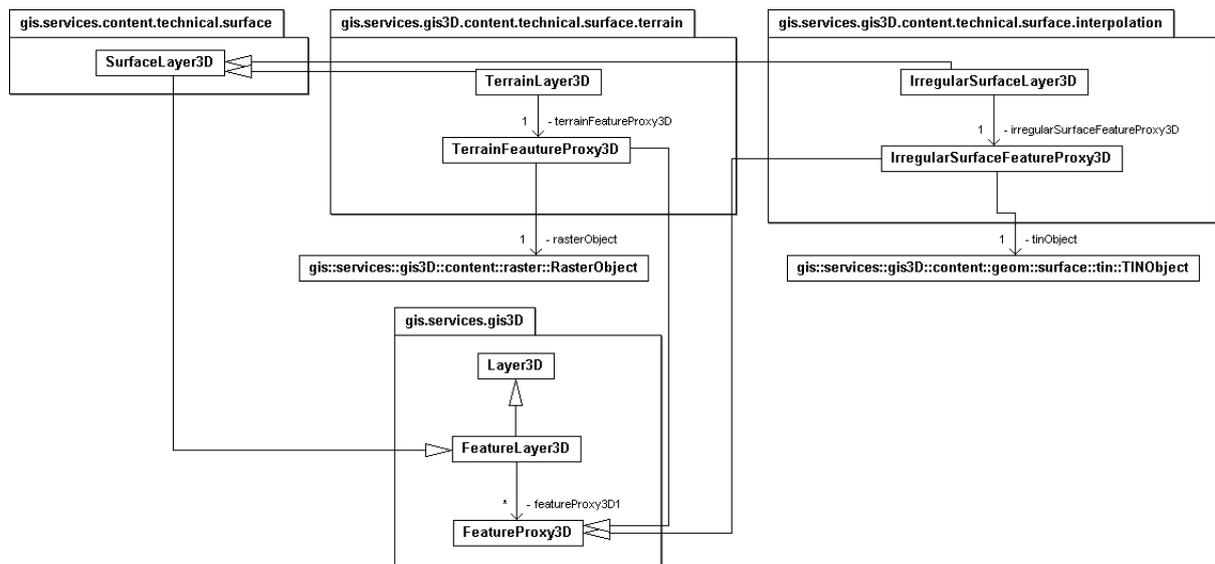


Abbildung 5.21: Klassendiagramm der fachbezogenen Oberflächenobjekte

- `gis.services.gis3D.content.technical.techno`:  
Das Paket der Technosphäre umfasst Klassen zur Visualisierung von Gebäuden und Trassen (siehe Abbildung 5.22):
  - Gebäude:  
Wie bereits diskutiert, sollte ein Gebäude (`BuildingFeatureProxy3D`) einen oberirdischen (`OvergroundBuildingPart`) und einen unterirdischen (`UndergroundBuildingPart`) Teil besitzen (siehe Abschnitt 5.1.3). Die Grundfläche eines Gebäudes wird durch ein Polygon beschrieben. Deshalb können die beiden Gebäudeteile durch Prismenprimitive (`PrismObject`) repräsentiert werden. Sowohl der ober-, als auch der unterirdische Teil der Gebäude wird in verschiedene Stockwerke mit unterschiedlichen Höhen aufgeteilt. Die Anzahl der Stockwerke kann in beiden Teilen frei festgelegt werden. Jedes Stockwerk wird mit Hilfe eines `PrismObject` realisiert.
  - Trassen:  
Strassenverläufe und Bahntrassen können durch Trassenobjekte (`RouteFeatureProxy3D`) beschrieben werden. Trassen bestehen wie Gebäude aus einem oberirdischen (`OvergroundRoute`) und einem unterirdischen (`UndergroundRoute`) Teil. Beide Teile enthalten mehrere `RouteStratum`-Objekte, also Schichten, die aus mehreren Quadern (`BoxObject`) und Dreiecksprismen (`SexangleObject`) zusammengesetzt sind. Die Quader markieren den Verlauf der Trasse. Die Dreiecksprismen bilden die Verbindungsstücke zwischen den Quadern.

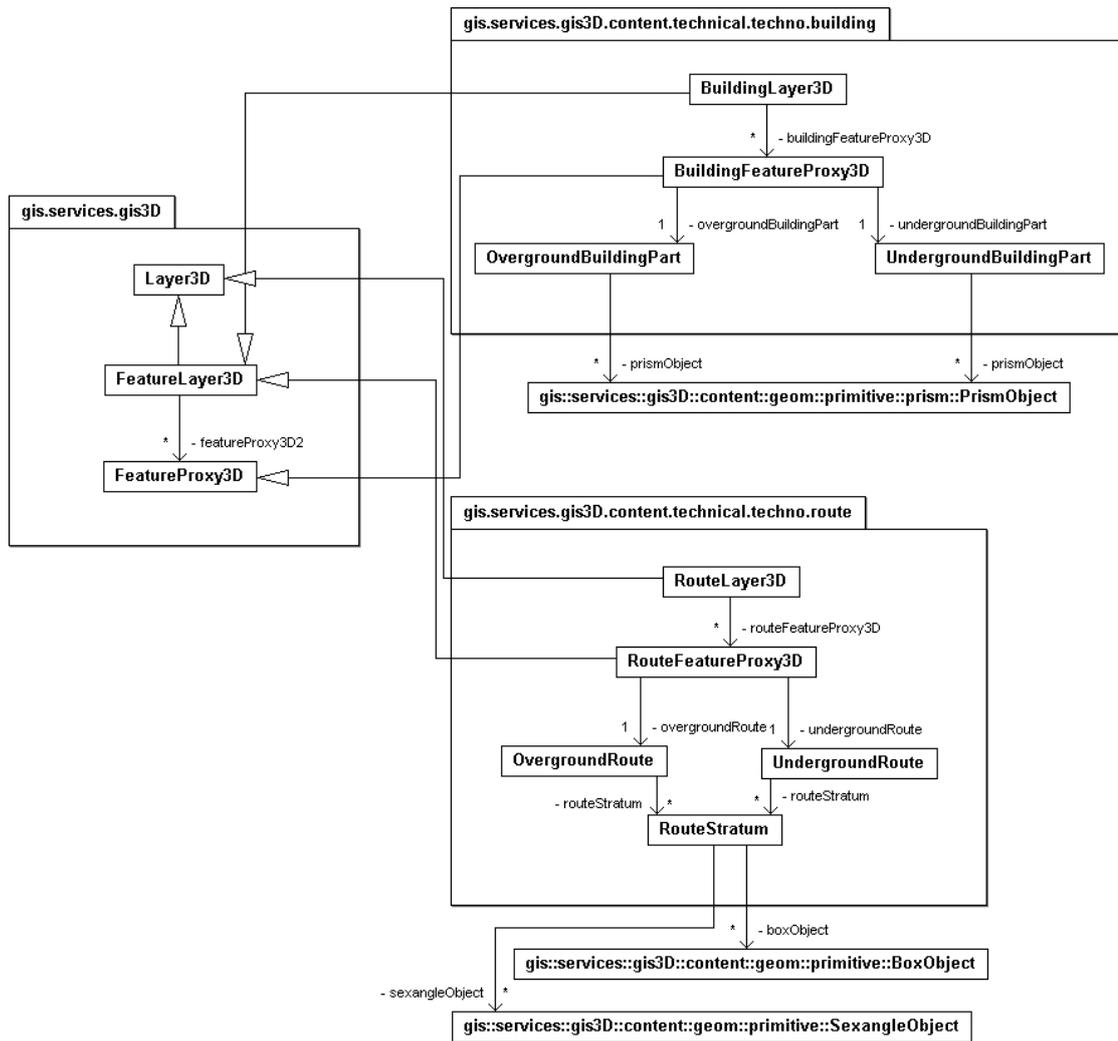


Abbildung 5.22: Klassendiagramm von den Objekten der Technosphäre

- gis.services.gis3D.content.technical.vegetation:

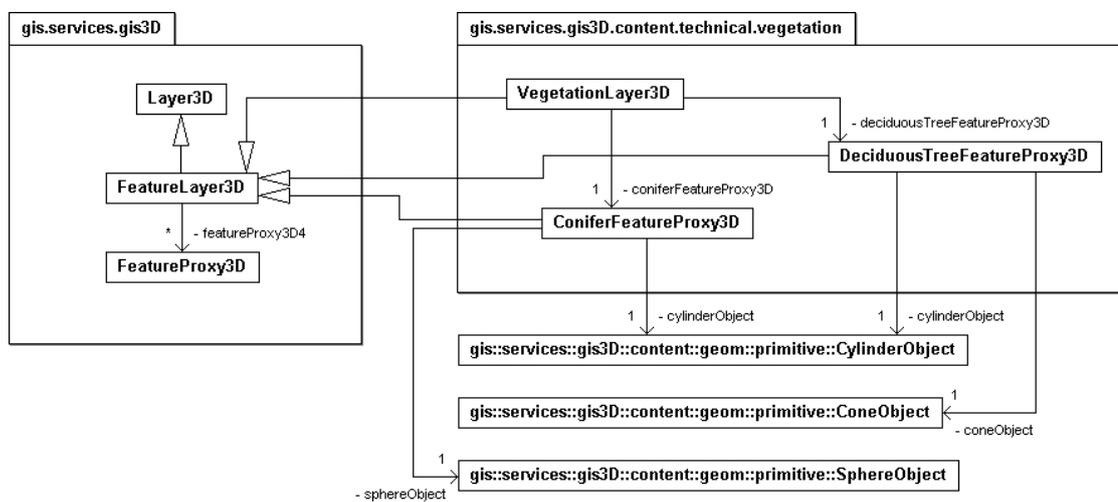


Abbildung 5.23: Klassendiagramm der Vegetationsobjekte

Das Vegetationspaket ermöglicht die Visualisierung von Nadel- und Laubbäumen mit Hilfe der Klassen aus Abbildung 5.23. Ein Nadelbaum (`ConifereFeatureProxy3D`) entsteht durch die Kombination eines Zylinders (`CylinderObject`) als Stamm mit einem Kegel (`ConeObject`) als Krone. Ein Laubbaum (`DeciduousFeatureProxy3D`) entsteht durch die Kombination eines Zylinders mit einer Kugel (`SphereObject`). Die Bäume werden im `VegetationLayer3D` visualisiert.

- `gis.services.gis3D.content.technical.spec`:

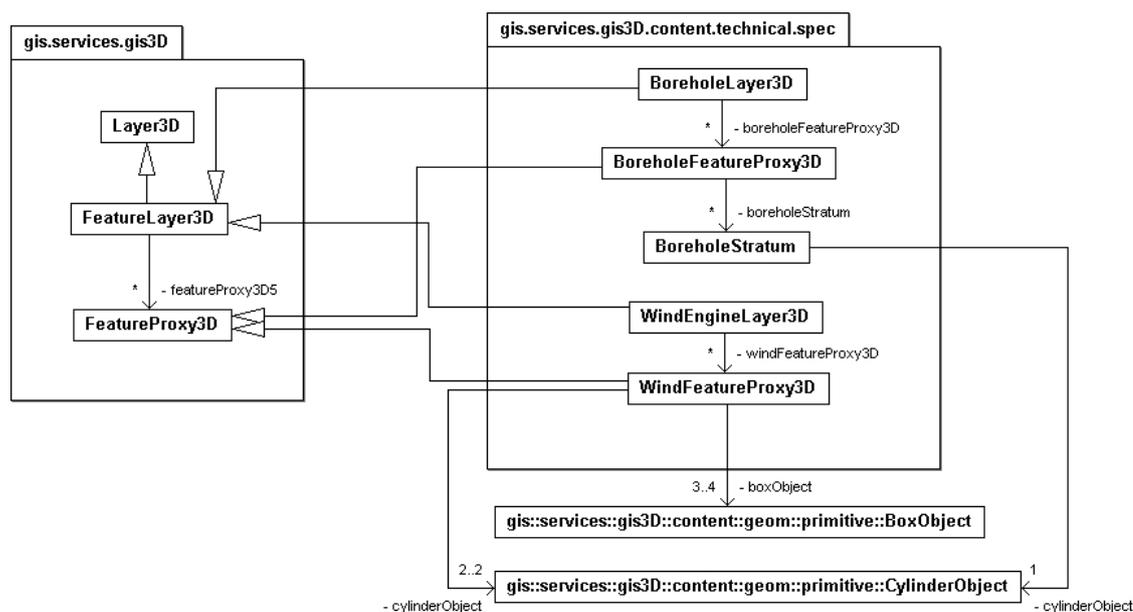


Abbildung 5.24: Klassendiagramm der besonderen Objekte

Im Paket für weitere Objekte können unterschiedliche Objekte für spezielle Visualisierungen realisiert werden. Der aktuelle Entwicklungsstand des Datenmodells der besonderen Objekte enthält Informationen über die Beschreibung von Bohrlöchern und Windkraftanlagen (siehe Abbildung 5.24):

- Bohrloch:  
Ein Bohrloch wird durch ein `BoreholeFeatureProxy3D` repräsentiert, das mehrere Bohrlochschichten (`BoreholeStratum`) enthält. Eine Schicht wird mit Hilfe eines Zylinders (`CylinderObject`) erzeugt. Es können mehrere Bohrlöcher in einem `BoreholeLayer3D` visualisiert werden.
- Windkraftanlage:  
Eine Windkraftanlage wird mit Hilfe eines `WindEngineFeatureProxy3D`-Objektes realisiert. Das Objekt enthält einen Zylinder (`CylinderObject`) als Turm, einen weiteren Zylinder als Rotorachse und drei Quader (`BoxObject`), die den Rotor bilden. Die fertigen Objekte können im `WindEngineLayer3D` visualisiert werden.

- `gis.services.gis3D.content.technical.unreal`:  
Das Paket für Objekte, die in der realen Welt nicht als Objekt existieren, enthält Grenzen, Profile, Isolinien und Volumenschnitte (siehe Abbildung 5.25):

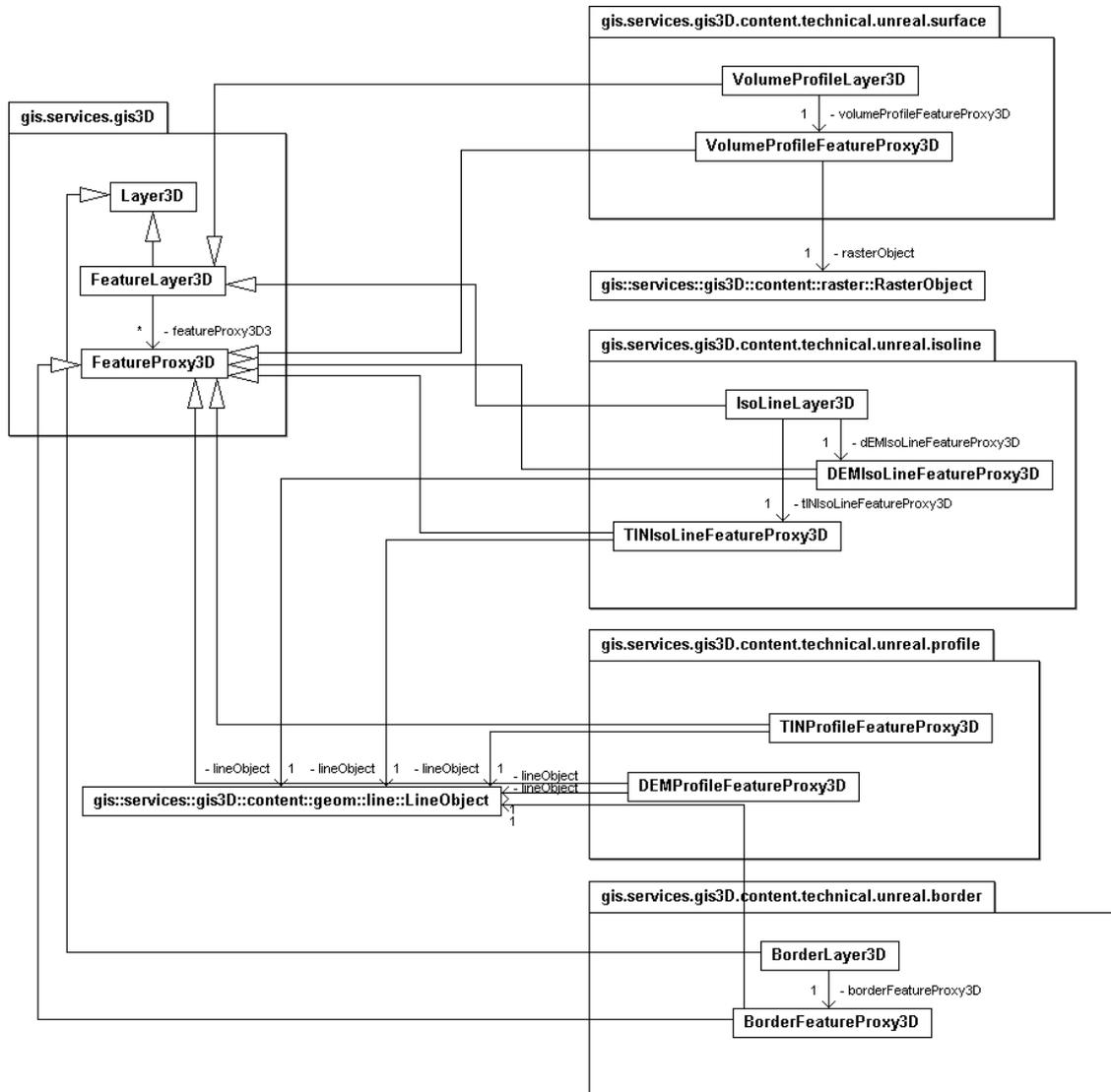


Abbildung 5.25: Klassendiagramm von virtuellen Objekten

- Grenzen:  
Das Grenzobjekt `BorderFeatureProxy3D` wird mit dem `BorderLayer3D` visualisiert und enthält ein `LineObject`, das die Grenze repräsentiert.
- Profile:  
Es existieren zwei verschiedene Arten von Profilschnitten, `DEMProfileFeatureProxy3D`-Objekte oder `TINProfileFeatureProxy3D`-Objekte, die in den dazu passenden Oberflächen-Layern dargestellt werden können (siehe `gis.services.gis3D.content.technical.surface`). Beide Versionen stellen den Schnitt mit Hilfe eines `LineObject`s dar. `DEMProfileFeatureProxy3D`-Objekte werden aus den Daten eines `TerrainFeatureProxy3D`-Objektes hergestellt, während `TINProfileFeatureProxy3D`-Objekte aus den Daten eines `Irregular`

SurfaceFeatureProxy3D-Objektes erzeugt werden.

- Isolinien:  
Die Geometrie der Isolinie wird ebenfalls durch ein `LineObject` dargestellt. Aus den Daten des `TerrainFeatureProxy3D`-Objektes wird ein `DEMIsoLineFeatureProxy3D`-Objekt erzeugt, während aus den Daten des `IrregularSurfaceFeatureProxy3D`-Objektes ein `TINIsoLineFeatureProxy3D`-Objekt generiert wird. Beide Isoliniensorten können im `IsoLineLayer3D` visualisiert werden.
- Volumenschnitte:  
Ein Schnitt durch ein Volumenobjekt wird mit Hilfe eines `RasterObjects` dargestellt und wird durch ein `VolumeFeatureProxy3D`-Objekt repräsentiert. Für die Visualisierung kann das Objekt in einen `VolumeProfileLayer3D` eingefügt werden.

Das Datenmodell der fachbezogenen Objekte umfasst die in Abschnitt 5.1.3 vorgestellten Objekte. Fachliche Umwelthanwendungen besitzen eine große Bandbreite, wie in den vorgestellten Beispielanwendungen in Abschnitt 4.3 erkennbar ist. Es ist deswegen nicht möglich alle Formen von fachspezifischen Objekten im Datenmodell von Beginn an zu berücksichtigen. Es ist allerdings möglich, das Datenmodell der fachbezogenen Objekte durch neue Objekte und Pakete dynamisch zu erweitern.

Die bisher im Datenmodell vorgestellten Objekte sind entweder Objekte, die häufig in Umwelthanwendungen benötigt werden, wie zum Beispiel die Objekte der Pakete für die Geländedarstellung, Interpolationsflächendarstellung, Vegetationsdarstellung, Visualisierung der Technosphäre und die Visualisierung von nicht realen Objekten, oder sie dienen als Beispiele (Bohrlöcher, Windkraftanlage) für neue Arten von Objekten, die bisher nicht berücksichtigt werden konnten.

#### 5.2.4 Verwendung des Datenmodells

Das in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellte Datenmodell enthält zunächst die wichtigsten Elemente für den Aufbau von Objekthinhalten für 3D-Umwelthanwendungen. Es ist so angelegt, dass es mit neuen Objekten erweitert werden kann.

Das Datenmodell wurde bei der Realisierung eines Systems für die Erzeugung von 3D-Umwelthanwendungen im Rahmen des Projektes dieser Dissertation benutzt. Dabei wurden die Teile des Datenmodells implementiert, die für zwei Beispielanwendungen benötigt wurden (siehe Abschnitt 7.1). Eine genauere Beschreibung der implementierten Teile befindet sich im Abschnitt 6.2.2.

# Kapitel 6

## Implementierung - GISterm 3D

### 6.1 Realisierung von GISterm 3D - Ein 3D-Desktop-GIS für Umweltanwendungen

Dieser Abschnitt beschreibt *GISterm 3D*, das 3D-Visualisierungssystem für Umweltanwendungen, das im Rahmen der in dieser Dissertation erarbeiteten Konzepte und Schlussfolgerungen entwickelt wurde.

#### 6.1.1 Ziel von GISterm 3D

Ziel von GISterm 3D ist es, einem Programmierer von Umweltanwendungen, also einem Anwendungsentwickler, ein Visualisierungssystem zur Verfügung zu stellen, mit dessen Klassen und Komponenten 3D-Visualisierungen für Umweltanwendungen entwickelt werden können.

Dabei sollen die Erkenntnisse aus den vorhergehenden Kapiteln der Dissertation bei der Entwicklung beachtet werden und das im Kapitel 5 abgeleitete Datenmodell als Grundlage für die Darstellung des Objektinhalts des Visualisierungssystems dienen.

Das Visualisierungssystem GISterm 3D besteht aus mehreren Komponenten, deren Zusammenspiel anhand von Beispielanwendungen, die konkrete 3D-Umweltvisualisierungen realisieren, getestet wird.

Die Bedienung der Beispielanwendungen soll dem Kenntnisstand der Anwender entsprechen, so dass das Hauptaugenmerk des Benutzers auf der Lösung seiner Fachaufgabe liegt und nicht in der Bedienung von GISterm 3D.

#### 6.1.2 Technische Voraussetzung von GISterm 3D: GISterm

Eine Hauptaufgabe von GISterm 3D ist die Verwirklichung von 3D-Visualisierungen. Deshalb beschäftigt sich dieser Abschnitt mit der Realisierung dieser Darstellungen. Dabei stellt sich für die Realisierung zunächst die Frage, ob ein 3D-Visualisierungssystem mit Komponenten für den Raumbezug (siehe Abschnitt 3.3) verwendet werden soll, oder ob

ein Geoinformationssystem mit 3D-Visualisierungstools erweitert werden soll.

Viele Aufgaben aus dem Umweltbereich sind Aufgaben der Regierung und werden von Verwaltungsstellen ausgeführt. Ein typisches Beispiel für ein solches Verwaltungsorgan ist die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (*LfU*). Dort und in ähnlichen Verwaltungsstellen arbeiten Betreuer von Umweltfachaufgaben und damit potentielle Nutzer eines 3D-Visualisierungssystems für Umwelthanwendungen. In den IT-Abteilungen der Umweltbehörden werden IT-Fachleute eingesetzt [LFU 2005b], während in den fachlichen Abteilungen überwiegend Angestellte mit naturwissenschaftlichem Hintergrund arbeiten [LFU 2005], bei denen tiefergehende informationstechnische Spezialkenntnisse nicht vorausgesetzt werden dürfen.

Abgesehen davon kommen seit einigen Jahren GI-Systeme für die Erfüllung von Umweltfachaufgaben zum Einsatz in Verwaltungsorganen, die mit Umweltaufgaben betreut sind. Eine Studie über die Verwendung von GI-Systemen für Umweltaufgaben wurde schon 1998 vom Umweltbundesamt durchgeführt [VAN NOUHUYS et al. 1998]. Daraus ergibt sich, dass für Fachleute in Umweltverwaltungen Grundlagenkenntnisse bei der Bedienung von Geoinformationssystemen vorausgesetzt werden können.

Die im Abschnitt 3.3.1 vorgestellten 3D-Visualisierungssysteme haben den Nachteil, dass sie häufig nur unzureichend mit Geodaten umgehen können. Außerdem werden für die Bedienung häufig Spezialisten benötigt.

Deswegen liegt es nahe, für die Realisierung von 3D-Darstellungen in Umwelthanwendungen Geoinformationssysteme zu nutzen, die mit 3D-Visualisierungskomponenten ausgestattet sind.

In den letzten Jahren wurden weit verbreitete kommerzielle GI-Systeme wie ArcGIS oder MapInfo mit 3D-GIS-Komponenten ausgerüstet [ESRI 2004] [MAPINFO 2005] (siehe Abschnitt 3.3.2). Allerdings arbeitet ein großer Teil der potentiellen Anwender eines 3D-Umweltvisualisierungssystems in den Verwaltungen des Bundes und der Länder, die für die Erledigung von Fachaufgaben zuständig sind. Erfahrungsgemäß sind die Mittel in behördlichen Einrichtungen knapp. Deshalb ist die Kostenreduzierung ein Ziel der technischen Realisierung des 3D-Visualisierungssystems für Umwelthanwendungen. Dies kann nicht mit Hilfe von kommerziellen Systemen, sondern nur durch die Verwendung von Open-Source Komponenten erreicht werden.

Das Land Baden-Württemberg verfolgt im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg diesen Ansatz. Seit 1999 wird in vielen Verwaltungsstellen des Landes, die mit Umweltfachaufgaben betraut sind, *disy GISterm* eingesetzt [DISY INFORMATIONSSYSTEME GMBH 2004]. GISterm wird zwar mittlerweile ebenfalls kommerziell vertrieben, steht aber den Projektpartnern des Projektes AJA (siehe Abschnitt 1.4) frei zur Verfügung und wird ständig weiterentwickelt. GISterm ist ein flexibles Klassen- und Komponentensystem, das vollständig in Java entwickelt ist. Es ist möglich, das System mit Hilfe der Hauptkomponente GISterm als Geoinformationssystem zu verwenden oder die Klassen und Methoden des GISterm Frameworks einzeln für die Implementierung von eigenen Entwicklungen zu benutzen. Da *disy GISterm* einerseits auf der Open-Source-Programmiersprache Java basiert und andererseits bereits in vielen Verwaltungsstellen, die Umweltaufgaben betreuen, erfolgreich eingesetzt wird, wird es als Basis für das 3D-Visualisierungssystem für Umwelthanwendungen gewählt.

GIStern besaß bisher keine Komponenten zur 3D-Visualisierung. Allerdings besitzt die Hauptkomponente GIStern eine Service-Schnittstelle, mit deren Hilfe verschiedenste Erweiterungen in GIStern integriert werden können. Über diese Service-Schnittstelle können GIStern 3D-Komponenten zur Verfügung gestellt werden (siehe Abbildung 6.1).

Die Schnittstelle eignet sich zur Integration von Java-Programmcode.

Deswegen sollte für die Realisierung der 3D-Visualisierungen eine Visualisierungsbibliothek benutzt werden, die mit Java kompatibel ist. Die folgenden Varianten sind möglich:



Abbildung 6.1: Service Schnittstelle

- Java mit VRML/X3D:

Die Verwendung einer Szenenbeschreibungssprache wie VRML oder dem Nachfolger X3D ist möglich. Allerdings dient X3D primär zur Vermittlung von 3D-Informationen und nicht zur Programmierung von interaktiven 3D-Applikationen. Um das zu erreichen, muss X3D mit zusätzlichen APIs kombiniert werden [WEB3D CONSORTIUM 2004].

- VTK:

VTK wurde ursprünglich nicht in Java entwickelt. Allerdings existiert eine VTK-Version, die Java unterstützt. Damit können 3D-Visualisierungen in Java-Programme integriert werden. VTK besitzt ein objektorientiertes Graphik-Modell und eine Visualisierungspipeline für die Darstellung der Daten auf dem Bildschirm [KITWARE INC 2004].

- Java 3D:

Java 3D ist eine Erweiterung der Java 2 Plattform [MICROSYSTEMS 2004]. Das bedeutet, dass Java 3D Code direkt in Java-Programme integriert werden kann. Java 3D besitzt eine moderne Szenengraphen-Architektur (siehe Abschnitt 3.1.2.2). Es gibt zwei Varianten von Java 3D, die beide auf gebräuchlichen 3D-Renderer-Systemen basieren (siehe Abbildung 6.2):

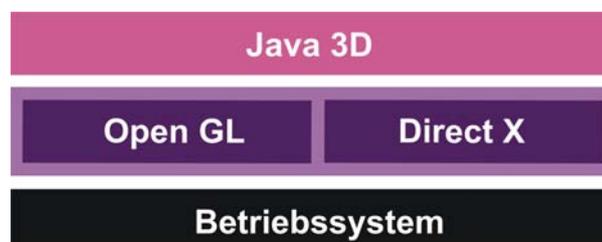


Abbildung 6.2: Integration von Java 3D in ein Betriebssystem

- Direct X
- Open GL

	<b>Gängige Betriebssysteme werden unterstützt</b>	<b>Open Source</b>	<b>API</b>	<b>Szenengraph</b>	<b>Verfügbarkeit bei Projektbeginn</b>
<b>Java + VRML/X3D</b>	ja	ja	nein	ja	ja
<b>VTK</b>	ja	ja	ja	nein	ja
<b>Java 3D</b>	ja	seit 2004	ja	ja	ja
<b>JOGL</b>	ja	ja	ja	nein	nein
<b>Xith3D</b>	ja	ja	ja	ja	nein

Tabelle 6.1: Vergleich von Java-basierten 3D-Visualisierungsbibliotheken

Insbesondere OpenGL ist bei den Betriebssystemen Windows NT, Windows 2000 und Windows XP bereits vorinstalliert oder wird mit dem Graphikkartentreiber installiert (Linux).

- Sonstige Java-basierte Visualisierungsbibliotheken:  
Neben den bereits aufgeführten Beispielen existieren seit kurzer Zeit noch einige weitere Java-basierte APIs für 3D-Visualisierungen, wie zum Beispiel JOGL [THOMAS 2005] oder auch Xith3D [YAZEL 2005]. Diese APIs standen zu Beginn des Projektes noch nicht zur Verfügung und wurden deshalb bei der Wahl einer geeigneten Visualisierungsbibliothek nicht berücksichtigt.

Tabelle 6.1 zeigt einen Vergleich der Java-basierten 3D-Visualisierungsbibliotheken. Eine Bibliothek, die für die Implementierung eines generischen Umweltvisualisierungssystems benutzt wird, sollte möglichst alle der in der Tabelle geforderten Eigenschaften erfüllen. Die Zusammenstellung zeigt, dass alle Bibliotheken für die gängigen Betriebssysteme verfügbar sind, und der Source-Code durch die Verwendung von Open-Source-Lizenzen zugänglich ist. Bis auf die Kombination von Java mit X3D bauen alle Systeme auf einer Application-Programming-Interface-Bibliothek auf. Unterschiedliche Ansätze werden überwiegend bei der Modellierung der 3D-Szene verfolgt. Low-Level Systeme, wie zum Beispiel JOGL, haben den Vorteil, dass OpenGL-Befehle direkt umsetzbar sind. Dies ist bei Szenengraph-basierten APIs im Allgemeinen nicht möglich. Allerdings ist die Modellierung von 3D-Szenen mit Hilfe eines Szenengraphen leichter verständlich. Das ist nicht nur ein Vorteil für den Systementwickler, sondern vor allem auch für den Anwendungsprogrammierer, der die Möglichkeit haben soll, das entwickelte 3D-Umweltvisualisierungssystem zu verstehen und nach seinen speziellen Bedürfnissen zu erweitern. Deswegen sollte eine Visualisierungsbibliothek mit Szenengraph-Modell benutzt werden.

GISterm ist eine Visualisierungskomponente für die UIS-Fachanwendungen des WAABIS-Projektes (siehe Abschnitt 1.4). Das im Projekt am meisten verbreitete Betriebssystem ist Windows 2000. Java 3D kann ohne Probleme in die bestehende Java-Umgebung integriert werden und die bestehende OpenGL-Basis nutzen. Mit Java 3D generierter Code baut

auf der modernen Szenengraphenstruktur auf und kann leicht in die GISterm-Service-Schnittstelle integriert werden. Deswegen wird Java 3D für die Realisierung der 3D-Darstellungen für das in dieser Dissertation entwickelte 3D-Visualisierungssystem für Umweltsanwendungen gewählt.

Alle Komponenten, die im Rahmen der vorliegenden Dissertation für die Entwicklung der 3D-Visualisierungen in GISterm realisiert wurden, werden unter dem Namen *GISterm 3D* zusammengefasst und im Folgenden genauer beschrieben.

### 6.1.3 Komponenten von GISterm 3D

Die Komponenten von GISterm 3D (siehe Abbildung 6.3) können in zwei Hauptkategorien unterteilt werden:

1. Komponenten zur Realisierung von 3D-Visualisierungen:  
Diese Komponenten enthalten grundlegende Funktionen für die Realisierung von 3D-Darstellungen innerhalb von GISterm. Die Funktionsmöglichkeiten dieser Komponenten sind möglichst allgemein gehalten und können flexibel kombiniert werden.
2. Beispielanwendungen:  
Mit Hilfe der allgemeinen Komponenten wurden Anwendungen entwickelt, welche die Funktionen der allgemeinen Komponenten so kombinieren, dass daraus 3D-Visualisierungsanwendungen entstehen, die fachliche Umweltaufgaben unterstützen.

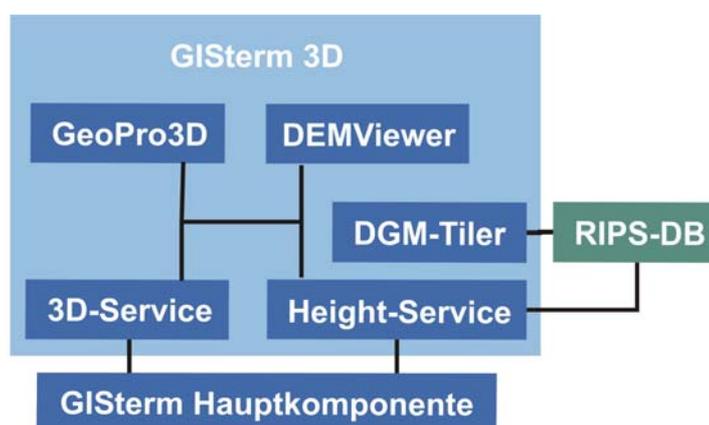


Abbildung 6.3: Komponenten von GISterm 3D

Die folgenden Komponenten gehören zur ersten Kategorie:

- *3D-Service*:  
Der 3D-Service ist die wichtigste Komponente von GISterm 3D. Er realisiert die Erzeugung der virtuellen Welt und deren Integration in das Basis-Geoinformationssystem GISterm. Einerseits bietet der 3D-Service grundlegende Funktionen, die für

eine virtuelle Welt benötigt werden, andererseits kann mit seinen Klassen und Methoden Objektinhalt erzeugt werden, der im Allgemeinen in 3D-Umweltvisualisierungsanwendungen vorkommt. Grundlage für die Erzeugung dieses Objektinhalts ist das Datenmodell aus Kapitel 5.

- *DGM-Tiler*:  
Der DGM-Tiler befasst sich mit der Datenaufbereitung der Rohdaten digitaler Geländemodelle für die Verwaltung in einer Datenbank. Weil digitale Geländemodelle einerseits eine wichtige Datengrundlage für 3D-Umweltvisualisierungen bilden, andererseits aber auch für viele andere Anwendungen benötigt werden, ist der DGM-Tiler nicht in den 3D-Service integriert.
- *Height-Service*:  
Der Height-Service regelt den Zugriff auf Daten digitaler Geländemodelle in der Datenbank und stellt diese Daten anderen Programmen zur Verfügung. Da sich diese Programme nicht notwendigerweise mit 3D-Visualisierungen befassen, ist der Height-Service ebenfalls nicht in den 3D-Service integriert, sondern eine selbstständige Komponente.

Die allgemeinen Komponenten kommen in den zwei entwickelten Beispielanwendungen zum Einsatz:

- *DEMViewer*:  
Der DEMViewer ist eine leicht zu bedienende Anwendung für die Visualisierung texturierter digitaler Geländemodelle. Die Anwender des DEMViewers können in zwei Gruppen aufgeteilt werden. Einerseits haben Anwender aus der Öffentlichkeit ein Interesse daran, sich ein Bild von umweltrelevanten Informationen in Ihrer Umgebung zu machen (siehe Abschnitt 4.3.1). Andererseits können auch Fachkräfte in Umweltverwaltungen (siehe Abschnitt 4.3.2 den DEMViewer für Visualisierungen nutzen (siehe Abschnitt 7.1.1).
- *GeoPro<sup>3D</sup>*:  
GeoPro<sup>3D</sup> ist eine 3D-Visualisierungsanwendung für die Analyse der Grundwassersituation in Planungsgebieten. Zielgruppe sind Sachbearbeiter in der Verwaltung, die fachliche Umweltaufgaben betreuen (siehe Abschnitt 7.1.2).

Die einzelnen Komponenten werden in den folgenden Abschnitten ausführlich vorgestellt.

## 6.2 3D-Service

Die zentrale Komponente von GISterm 3D ist der 3D-Service. Mit Hilfe der Klassen und Methoden des 3D-Service wird eine 3D-Szene erzeugt und über die Service-Schnittstelle in GISterm integriert.

## 6.2.1 Erzeugung der virtuellen Welt mit den notwendigen Grundfunktionen

In GISterm 3D werden dreidimensionale Daten in einem 3D-Raum visualisiert, der mit Hilfe der Zentralperspektive auf den Bildschirm projiziert wird. Dieser 3D-Raum wird im Folgenden auch als virtuelle Welt oder virtuelle Realität bezeichnet (siehe Abschnitt 3.2.1.3).

Die folgenden Abschnitte beschreiben einerseits die Erzeugung und die Eigenschaften der virtuellen Welt und andererseits die Integration der virtuellen Welt in das Basisgeoinformationssystem GISterm.

### 6.2.1.1 Implementierung der virtuellen Welt mit Java 3D

Die Visualisierung dreidimensionaler Daten unterscheidet sich von der Visualisierung zweidimensionaler Daten. Deswegen wird für die Visualisierung der dreidimensionalen Daten in GISterm 3D eine neue Oberflächenkomponente erzeugt: das 3D-Ansichtsfenster. Mit Hilfe von Java 3D wird die GUI-Komponente (`GIS3DView`) geschaffen, die eine virtuelle Welt erzeugt. Die Klasse `GIS3DView` ist die zentrale Klasse in der Organisation des 3D-Service. Sie übernimmt die eigentliche Visualisierung mit Hilfe der Methoden von Java 3D.

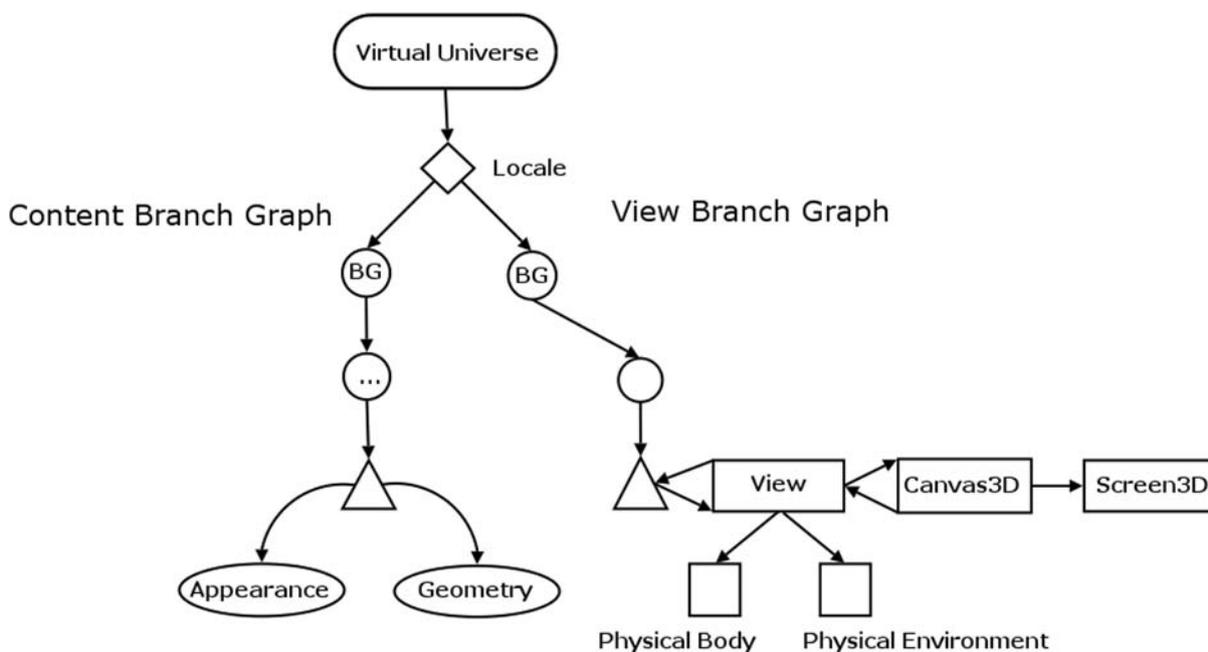


Abbildung 6.4: Content- und ViewBranchGraph

Für den Aufbau und die Realisierung der 3D-Szene benutzt Java 3D einen Szenengraphen, der zwei Teilgraphen enthält: den *ViewBranchGraph* und den *ContentBranchGraph* (siehe Abschnitt 3.1.2.2 und Abbildung 6.4).

Im *ViewBranchGraph* (rechte Seite von Abbildung 6.4) werden die Parameter gesetzt,

die zur Beschreibung und Rendering der virtuellen Welt notwendig sind. Der virtuelle Betrachter in der 3D-Szene wird physikalisch definiert, und es wird eine Oberflächenkomponente (`Canvas3D`) für die Darstellung der 3D-Szene geschaffen. Dies geschieht in der Klasse `DoubleViewUniverse`, die von `GIS3DView` durch den Aufruf der Methode `createUniverse()` erzeugt wird (siehe Abbildung 6.5).

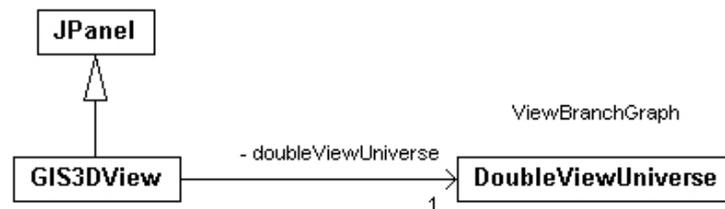


Abbildung 6.5: Erzeugung der virtuellen Welt

Im `ContentBranchGraph` (linke Seite von Abbildung 6.4) von Java 3D wird der Inhalt der virtuellen Welt beschrieben. Darauf wird im Abschnitt 6.2.2 näher eingegangen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die 3D-Visualisierung ist die Einflussnahme des Nutzers auf die 3D-Visualisierung. Die Beeinflussung der Visualisierungskomponenten sollte möglichst direkt erfolgen. Deswegen integriert der `GIS3DView` zusätzlich allgemeine Grundfunktionen, die für unterschiedliche Arten von 3D-Umweltanwendungen nützlich sind. Diese Grundfunktionen bieten dem Nutzer die Möglichkeit, interaktiv auf die erzeugte 3D-Szene Einfluss zu nehmen. Sie werden im Abschnitt 6.2.4 erläutert.

### 6.2.1.2 Integration der virtuellen Welt in ein 2D-GIS

Für die Akzeptanz von 3D-Visualisierungen ist es wichtig, das zweidimensionale GIS und die 3D-Visualisierungen unter einer einzigen Benutzerschnittstelle zu verwenden, weil dadurch dem Anwender aus dem Zweidimensionalen vertraute Methoden, in den 3D-Visualisierungen mitbenutzt werden können. Die Bedienung von GISterm, dem Basisgeoinformationssystem für die 3D-Visualisierungen ist vielen potentiellen Benutzern von 3D-Umweltvisualisierungen vertraut. Deshalb soll die virtuelle Welt direkt in die Hauptkomponente von GISterm integriert werden und möglichst unkompliziert zu benutzen sein.

Die erzeugte virtuelle Welt wird durch eine Instanz der Klasse `GIS3DView` repräsentiert. Diese Klasse wird in die Klasse `GIS3DService` integriert, die die Service-Schnittstelle des GISterm Frameworks `GIStermService` implementiert (siehe Abbildung 6.6).

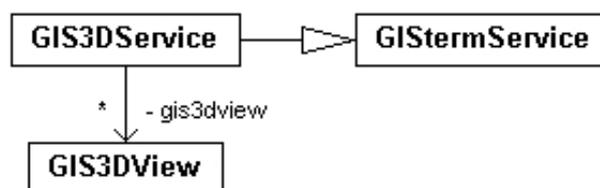


Abbildung 6.6: Integration der virtuellen Welt in GISterm

Das 3D-Ansichtsfenster erscheint im Register der GISterm-Hauptkomponente, und die Hauptmenüleiste wird durch ein 3D-Menü ergänzt (siehe Abbildung 7.8). Dieses 3D-Menü bedient die folgenden Anforderungen:

1. Es ermöglicht den Zugriff auf allgemeine Funktionen des 3D-Service mittels des Funktionsaufrufs für ein 3D-Eigenschaftsfenster, dessen interaktive Funktionen im Abschnitt 6.2.3 und im Abschnitt 6.2.4 näher erläutert werden.
2. Und es bietet Platz für die Integration von fachlichen 3D-Umweltanwendungen, die mit Hilfe des 3D-Service erzeugt werden.

Dadurch, dass das 3D-Ansichtsfenster direkt in GISterm integriert wird, können verschiedene bewährte Funktionen aus GISterm wieder verwendet werden.

Ein Beispiel dafür ist die Layer-Verwaltung. In GISterm, wie auch in anderen üblichen 2D-GI-Systemen werden Objekte in Layers zusammengefasst. 2D-Layer können sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden, sie können entfernt werden, oder die Ansicht kann auf die Größe des Layers gezoomt werden. Die Position des Layers in der Legende regelt, in welcher Reihenfolge die Layer in der Karte gezeichnet werden, und wie sie sich überlagern.

Diese Layerverwaltung wird auch im 3D-Service verwendet. Ein 3D-Layer besitzt die gleichen Funktionen wie ein 2D-Layer. Eine Ausnahme bildet die Position des Layers in der Legende. Sie hat keinen Einfluss auf die Darstellung des 3D-Layers im 3D-Viewer, denn im dreidimensionalen Raum wird die Reihenfolge der Darstellung der Objekte durch die perspektivische Verdeckung geregelt.

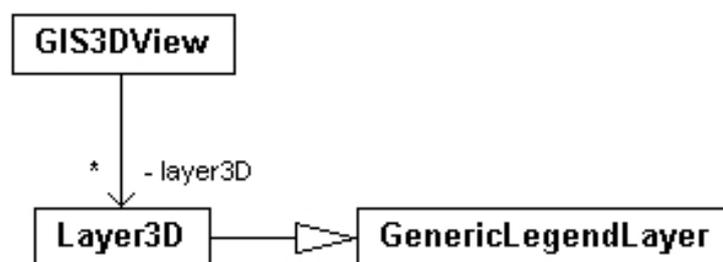


Abbildung 6.7: Integration von 3D-Layern in den 3D-Viewer

Die Realisierung der 3D-Layer orientiert sich an der Implementierung der 2D-Layer von GISterm. Dabei ist es möglich, vorhandene Klassen aus dem 2D-Teil direkt mitzubeneutzen. Die Klasse `Layer3D` repräsentiert einen 3D-Layer und implementiert mit Hilfe des `GenericLegendLayer`-Interface die 2D-Layer-Funktionen. Das 3D-Ansichtsfenster, also der `GIS3DView`, kann mehrere `Layer3D`-Instanzen enthalten (siehe Abbildung 6.7).

Die 3D-Layer enthalten den Objektinhalt, der in der virtuellen Welt dargestellt werden soll. Welche Objekte im 3D-Service verfügbar sind und wie sie visualisiert werden, wird im Folgenden näher beschrieben.

## 6.2.2 Inhalt für die virtuelle Welt

Interessant wird die virtuelle Welt erst durch visualisierte Objekte, die aus den zur Verfügung stehenden Daten generiert werden. Das in Kapitel 5 entwickelte Datenmodell dient als Grundlage für die 3D-Objekte, die im 3D-Service erzeugt werden.

Für die Realisierung der Beispielanwendungen, die mit den Klassen und Methoden von GISterm 3D entwickelt werden (siehe Abschnitt 7.1), wurden Teile des Datenmodells implementiert. Die verschiedenen Inhaltstypen, die der 3D-Service zur Zeit darstellen kann, werden im Folgenden beschrieben. Wie im Datenmodell erklärt, können die Objekte in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Geometrie-Objekte
- Darstellungsobjekte
- Fachbezogene Objekte

### 6.2.2.1 Geometrie-Objekte

Die folgenden Geometrie-Objekte, die in Abschnitt 5.1.1 vorgestellt und deren Implementierungskonzept in Abschnitt 5.2.1 entwickelt wurde, sind für die Verwendung im 3D-Service implementiert worden.

**Für die Generierung von Punktobjekten** ist das Geometrie-Paket `gis.services.gis3D.content.geom.point` im 3D-Service zuständig. Es kann Punktlayer visualisieren.

**Die Generierung von Linienobjekten** ist im Geometrie-Paket `gis.services.gis3D.content.geom.line` des 3D-Service implementiert. Es kann Polylinien darstellen.

**Die Realisierung der Oberflächen** richtet sich ebenfalls nach den Vorgaben des Datenmodells.

- Das Paket `gis.services.gis3D.content.geom.surface.raster` wurde im 3D-Service implementiert. Mit den Klassen des Paketes können Raster-Oberflächen dargestellt werden.
- Das Paket `gis.services.gis3D.content.geom.surface.tin` wurde im 3D-Service implementiert. Mit den Klassen des Paketes können TIN-Oberflächen dargestellt werden.

Beide Pakete erzeugen Oberflächenobjekte, die mit Hilfe von 3D-Layern visualisiert werden können.

**Die Generierung von Primitiven** wurde nach der Vorlage des Datenmodells aus Kapitel 5 im Paket `gis.services.gis3D.content.geom.primitive` des 3D-Service implementiert:

- Quader (`BoxObject`)
- Zylinder (`CylinderObject`)
- Kugel (`SphereObject`)
- Kegel (`ConeObject`)
- Prisma (`PrismObject`)
- Dreiecksprisma (`SexangleObject`)

Das Datenmodell im Abschnitt 5.2.1 beschreibt auch bisher noch **nicht implementierte Geometrie-Objekte**. Sie wurden für die Realisierung der zwei implementierten 3D-Umweltanwendungen bisher nicht benötigt. Allerdings orientiert sich die Implementierung des Datenmodells des 3D-Service konzeptionell am Datenmodell aus Kapitel 5 und kann jederzeit mit den noch fehlenden Klassen ergänzt werden. Die folgende Liste enthält eine Aufstellung der noch fehlenden Geometrie-Objekte:

- Volumenobjekte:
  - Richtungsfelder
  - Opaque Volumenobjekte
  - Semitransparente Volumenobjekte

### 6.2.2.2 Darstellungsobjekte

Darstellungsobjekte sind Objekte, die in der realen Welt nicht existieren, virtuelle Welten aber mit zusätzlichen Informationen anreichern können (siehe Abschnitte 5.1.2 und 5.2.2). Das folgende Darstellungsobjekt ist im 3D-Service implementiert.

**Die Generierung von Text** wird im Paket `gis.services.gis3D.content.illustration.text` des 3D-Service implementiert. Das eigentliche Textobjekt `TextFeatureProxy3D` besitzt einen Skalierungsfaktor mit dem die Größe des Textes dynamisch an die Ausdehnung der Szene angepasst werden kann.

Kapitel 5 beschreibt außerdem **noch nicht implementierte Darstellungs-Objekte**. Sie können im 3D-Service jederzeit ergänzt werden. Die folgenden Objekte sind noch nicht realisiert:

- Symbole
- Glyphen
- Prism Map:  
Die Geometrie-Objekte (Prismen) für die Erzeugung einer Prism Map sind jedoch bereits vorhanden.

### 6.2.2.3 Fachbezogene Objekte

Fachbezogene Objekte sind Objekte, die fachliche Umweltdaten in 3D-Visualisierungen repräsentieren. Die Bedeutung der fachbezogenen Objekte wird in Abschnitt 5.1.3 erklärt, während sich das Konzept für die Implementierung in Abschnitt 5.2.3 befindet. Die folgenden Elemente sind im 3D-Service implementiert.

**Die Visualisierung von Geländeoberflächen** ist ein zentraler Bestandteil von 3D-Umweltanwendungen, wie die Untersuchung in Abschnitt 4.3 gezeigt hat. Geländeoberflächen werden häufig mit Hilfe von digitalen Geländemodellen dargestellt, deren Daten in regelmäßigen Rastern vorliegen.

Digitale Geländemodelle werden heutzutage für große Gebiete erfasst und verarbeitet. Visualisierungsanwendungen von umweltrelevanten Daten können und sollen üblicherweise nur einen Teil des erfassten Gebietes darstellen. Sie können nur einen Teil visualisieren, weil die Rechnerkapazitäten die Größe des visualisierbaren Geländeausschnitts begrenzen, und sie sollen nur einen Teil visualisieren, weil sich fachliche Umweltanwendungen häufig auf die Analyse eines bestimmten Gebietes konzentrieren. Wegen der großen Datenmenge werden neben Klassen und Methoden, die zur Visualisierung von digitalen Geländemodellen dienen, auch Komponenten benötigt, die sich mit der Datenverwaltung der digitalen Geländemodelle beschäftigen. Dafür existieren in GISterm 3D die Komponenten DGM-Tiler und Height-Service, die im Abschnitt 6.3 näher erläutert werden.

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die Aspekte der Visualisierung digitaler Geländemodelle im 3D-Service von GISterm 3D.

Für die geometrische Darstellung von digitalen Geländemodellen existiert im Datenmodell der fachbezogenen Objekte das Paket `gis.services.gis3D.content.technical.surface.terrain`, das rasterförmige Geländeoberflächenobjekte mit Hilfe der Objektgeometrie-Klasse `RasterObject` darstellen kann (siehe Abschnitt 5.2.3). Diese Klassen werden benutzt, um das eigentliche 3D-Objekt aus den vorliegenden Daten zu generieren.

Das dadurch entstehende Objekt repräsentiert lediglich die Form des Geländes (siehe Abbildung 6.8(a)).

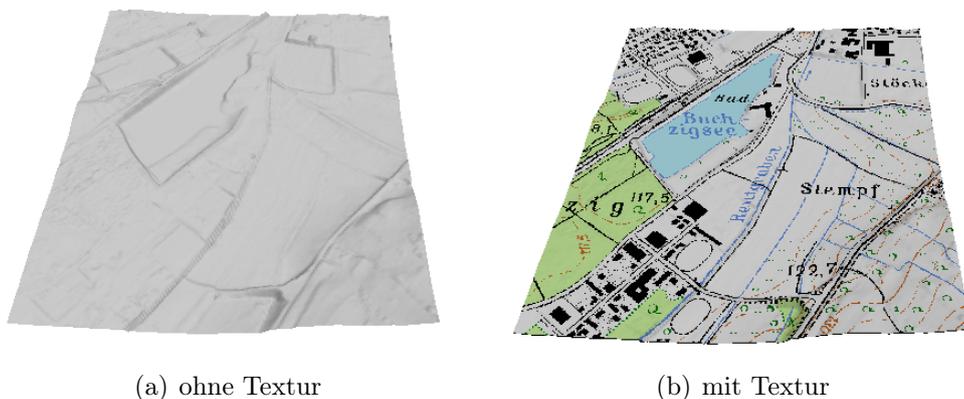


Abbildung 6.8: 3D-Geländeobjekte

Interessanter für die meisten Anwendungen ist allerdings die Verwendung von texturierterem Gelände, also Gelände das mit Kartendarstellungen versehen ist, weil damit der Realitätseindruck des Geländes verbessert werden kann oder zusätzliche Informationen in die 3D-Szene integriert werden können (siehe Abbildung 6.8 (b) und Abschnitt 3.1.3.5). Techniken für die Texturierung von Objekten sind in Java 3D enthalten und werden für die Erzeugung der Geländeobjekte im 3D-Service verwendet. Dabei ergeben sich für die Visualisierung zusätzliche Randbedingungen, die beachtet werden müssen:

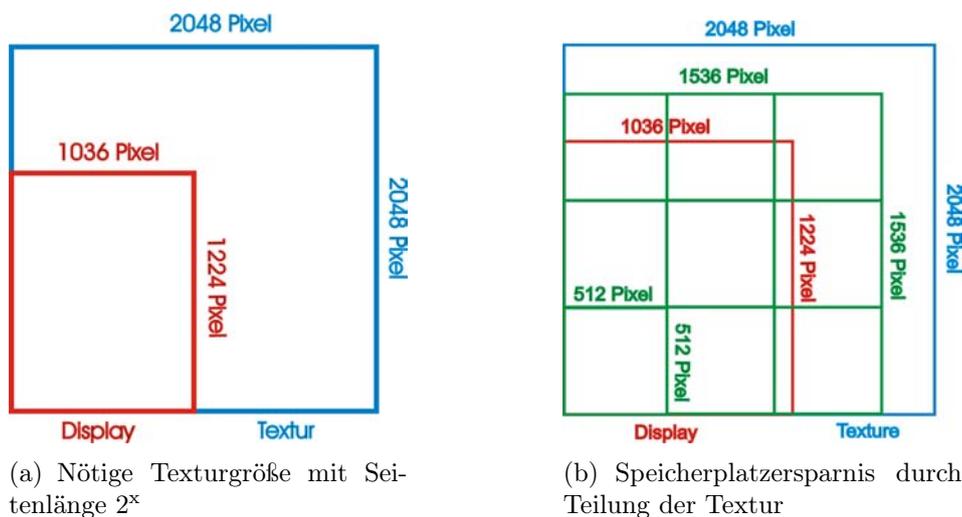


Abbildung 6.9: Speicherplatzverbrauch von Texturen

- Java 3D unterstützt die Bildformate JPG und GIF für die Integration von Texturen. Der 3D-Service verwendet JPG-Dateien als Texturen.
- Beim Texture Mapping wird das Texturbild im Speicher der Graphikkarte abgelegt. Die Größe dieses Speichers ist limitiert. Die größtmögliche Dimension eines Texturbildes, die in den Graphikkartenspeicher geladen werden kann, hängt von der Größe des Speichers ab. Beispielsweise ist bei der im Projekt verwendeten NVIDIA GeForce4 Graphikkarte mit 64 MB das Limit der Texturgröße  $2048 * 2048$  Pixel (siehe Abschnitt 3.1.3.5).
- Die Seitenlängen des Texturbildes müssen aufgrund der Randbedingungen von Java 3D einer Potenz von zwei entsprechen. Diese Anforderung hat folgende Auswirkungen für das Texture Mapping von digitalen Geländemodellen:  
Angenommen ein zu texturierendes Geländeobjekt hat eine Größe, zu der ein aus einer digitalen Karte oder einem digitalen Orthophoto ausgeschnittenes Stück der Größe von  $1036 * 1224$  Pixel passen würde. Ein Texturbild für diesen Ausschnitt, das den Anforderungen von Java 3D entspricht, muss dann mindestens eine Dimension von  $2^{11} * 2^{11}$ , das entspricht  $2048 * 2048$  Pixel, haben und den für das Texture Mapping notwendigen kleineren Ausschnitt in der linken unteren Ecke enthalten. Für die Darstellung ist die Größe des Bildes kein Problem, da die überlappenden Teile bei der Visualisierung abgeschnitten werden. Allerdings zeigt Abbildung 6.9 (a), dass das Texturbild viel größer ist und mehr Speicherplatz auf der Graphikkarte verbraucht, als für die eigentliche Texturierung des Geländeobjektes notwendig wäre. Auf diese Weise wird das Limit des Graphikkartenspeichers schnell erreicht.

Aufgrund dieser Randbedingungen ist ein Ziel der Implementierung den Speicherbedarf von texturierten Geländeobjekten zu verringern. Die Idee dabei ist, die Textur aus mehreren Teilstücken zusammenzusetzen, die alle die Randbedingung erfüllen, dass die Seitenlänge einer Potenz von zwei entspricht. Damit kann die Textur eines Teilobjektes grundsätzlich unter dem Limit des Graphikkartenspeichers bleiben. Abbildung 6.9 (b) zeigt die Speicherplatzersparnis, wenn die Textur für das obige Beispiel in neun Teilstücke à  $2^9 * 2^9$ , das entspricht  $512 * 512$  Pixel, aufgeteilt wird: Statt  $2048 * 2048$  werden insgesamt nur  $1536 * 1536$  Pixel benötigt.

Dieses Prinzip wurde mit Hilfe der in Abbildung 6.10 gezeigten Klassen implementiert:

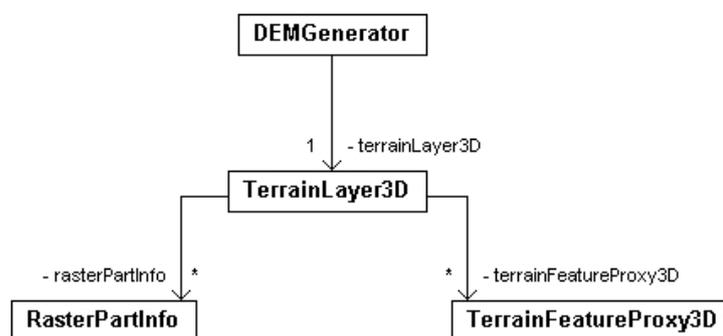


Abbildung 6.10: Implementierung der Visualisierung digitaler Geländemodelle

Mit Hilfe einer Instanz der Klasse `DEMGenerator` werden die Daten des zu visualisierenden Geländemodellstücks ermittelt und an den `TerrainLayer3D` geliefert. Hier ist es wieder möglich und von Vorteil, bereits implementierte Funktionen des GISterm-Frameworks mitzubeneutzen. Die Druckfunktion von GISterm wird verwendet, um das zum Geländeteilstück passende Texturbild zu ermitteln. Im `TerrainLayer3D` wird nun das Ausgangsbild in Texturteilstücke zerlegt, deren Seitenlänge einer Potenz von zwei entsprechen. Werden diese Teilstücke zusammengesetzt, decken sie das zu texturierende Gelände komplett ab (siehe Abbildung 6.11 (a)).

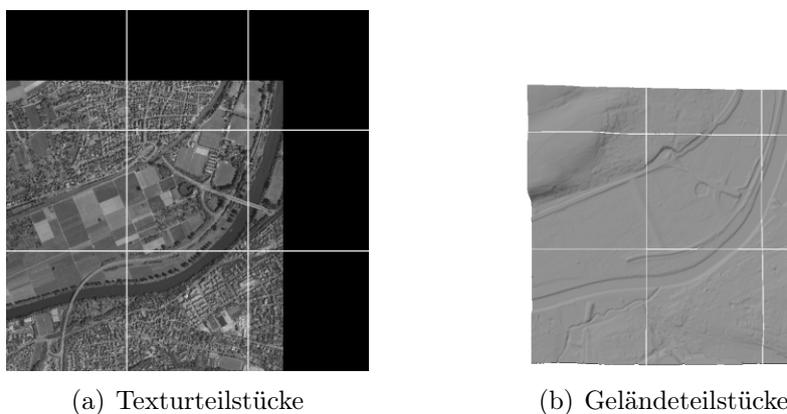


Abbildung 6.11: Teilstücke für die Geländeerzeugung

Passend zu den Texturteilstücken werden die Daten des digitalen Geländemodells aufgeteilt und Informationen darüber in Instanzen der Klasse `RasterPartInfo` abgelegt. Mit

den dort abgelegten Informationen wird für jedes Texturteilstück ein `TerrainFeatureProxy3D`-Objekt als Geländeteilstück erzeugt (siehe Abbildung 6.11(b)). Jedes Geländeteilobjekt erhält als Textur das passende Texturteilstück. Die Textur wird passend zum Geländeteilobjekt skaliert:

$$sf = \frac{tp}{ip \cdot tm}$$

$sf$  : Skalierungsfaktor  $\left[\frac{1}{m}\right]$

$tp$  : Breite des DGM-Teilobjektes [pixel]

$tm$  : Breite des DGM-Teilobjektes [m]

$ip$  : Bildbreite [pixel]

Die fertigen `TerrainFeatureProxy3D`-Objekte werden im `TerrainLayer3D` zu einem Geländestück zusammengesetzt (siehe Abbildung 6.12).



Abbildung 6.12: Zusammengesetztes Geländestück

**Die Generierung von interpolierten Oberflächen** spielt in 3D-Umweltanwendungen ebenfalls eine Rolle. Diese Oberflächen können zum Beispiel geologische Schichten, Wasser- oder Gletscheroberflächen repräsentieren. Sie werden häufig durch diskret verteilte Punktmengen beschrieben, deren Daten interpoliert wurden. Aus der daraus entstehenden Punktmenge wird ein 3D-Objekt generiert.

Das Datenmodell der fachbezogenen Objekte aus Kapitel 5 bietet im Paket `gis.services.gis3D.content.technical.surface.interpolation` Klassen und Methoden zur Erzeugung solcher Objekte an.

In einem `IrregularSurfaceLayer3D` wird ein `IrregularSurfaceFeatureProxy3D`-Objekt erzeugt das ein `TINObject` aus dem Geometrie-Datenmodell enthält. Innerhalb der Klasse `TINObject` kommen Klassen und Methoden der Visualisierungsbibliothek `VisAD` zum Einsatz [HIBBARD 2004]. `VisAD` ist eine Java-Bibliothek für die interaktive Visualisierung und Analyse von numerischen Daten. Mit Hilfe von `VisAD` können 3D-Visualisierungen erzeugt werden, die auf Java 3D Komponenten basieren. Außerdem enthält `VisAD` einige nützliche Algorithmen. Durch die Verwendung geeigneter Klassen der `VisAD`-Bibliothek kann der Implementierungsaufwand verringert werden. Deswegen benutzt die Klasse

`TINObject` die Delaunay-Triangulation von `VisAD` und erzeugt aus deren Ergebnis ein 3D-Objekt, das mit `VisAD`-Klassen erzeugt wurde. Die Geometrie dieses Objektes basiert auf Klassen von Java 3D. Das bedeutet, dass der Objektgeometrieteil des erzeugten Objektes direkt in das `TINObject` übernommen wird und damit ein 3D-Objekt des 3D-Service bildet (siehe Abbildung 6.13).

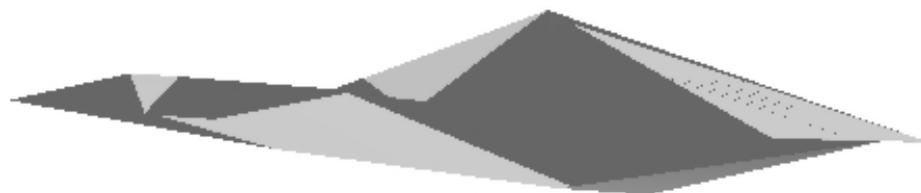


Abbildung 6.13: 3D-Objekt einer TIN-Oberfläche

**Die Visualisierung von Objekten der Technosphäre** ist wichtig für die Analyse der Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Umwelt. Die Generierung der Objekte richtet sich nach dem entsprechenden Teil des Datenmodells in Abschnitt 5.2.3:

- Gebäude sind im 3D-Service im Paket `gis.services.content.technical.techno.-building` implementiert.
- Trassen, die Straßen oder Bahntrassen repräsentieren, sind im Paket `gis.services.-content.technical.techno.route` implementiert.

Die einzelnen Geometrielemente, aus denen die Objekte der Technosphäre zusammengesetzt sind, können auch für die Generierung von anderen Objekten benutzt werden und sind deswegen im Paket `gis.services.content.geom.primitive` implementiert.

**Aus der Objektsammlung der weiteren Objekte** (siehe weitere Objekte in Abschnitt 5.1.3), also Objekten, die für einen speziellen fachbezogenen Zweck benötigt werden, ist bisher nur das Bohrloch im 3D-Service realisiert:

- Bohrloch:  
Für die Realisierung des Bohrlochs wurden die Klassen `BoreholeLayer3D`, `BoreholeFeatureProxy3D` und `BoreholeStratum` aus dem Paket `gis.services.gis3D.-content.technical.spec` implementiert. Mit Hilfe dieser Klassen, ist es möglich einen Layer mit Bohrlochern zu erzeugen, die aus verschiedenen Schichten zusammengesetzt werden.

**Aus der Gruppe der nichtrealen Objekte** (siehe nichtreale Objekte in Abschnitt 5.1.3), also Objekten, die in der realen Welt nicht vorhanden sind, existieren bereits zwei Objekttypen, die anhand des Datenmodell für fachbezogene Objekte realisiert wurden:

- Grenzen:  
Grenzen sind im Paket `gis.services.gis3D.content.technical.unreal.border` des 3D-Service implementiert.
- Profilschnitte:  
Die Datengrundlage für die Erzeugung von Profilschnitten bilden Oberflächenobjekte. Deswegen bieten die Klassen der Oberflächenobjekte `TerrainLayer3D` und der `IrregularSurfaceLayer3D` Methoden zur Profilerzeugung an. Die eigentlichen Profilschnitte werden im Paket `gis.services.gis3D.content.technical.-unreal.profile` erzeugt, da sie zu den nicht sichtbaren fachbezogenen Objekten gehören. In diesem Paket wird der entsprechende Datenmodellteil aus Kapitel 5 für den 3D-Service implementiert. Abhängig von der Datengrundlage existieren zwei verschiedene Profilarten:
  - Profile für Rasteroberflächen werden mit Hilfe der Klasse `DEMProfileFeatureProxy3D` generiert.
  - Profile für TIN-Oberflächen werden mit Hilfe der Klasse `TINProfileFeatureProxy3D` generiert.

In beiden Fällen werden die Methoden und Klassen der Visualisierungsbibliothek VisAD benutzt, um aus der Profilposition (Lage und Richtung auf dem Oberflächenobjekt) und den Oberflächendaten den Profilschnitt zu berechnen. Das heißt, die Profilberechnung musste nicht entwickelt werden, sondern die Java3D-Ergebnisgeometrie der VisAD-Klassen kann direkt in ein `LineObject` überführt werden, das die Geometrie des Profils in einer Instanz von `DEM-` oder `TINProfileFeatureProxy3D` realisiert.

Im Datenmodell der fachbezogenen Objekte in Abschnitt 5.1.3 wurden außerdem einige Objekte vorgestellt, die bisher noch nicht realisiert wurden. Sie fehlen im 3D-Service. Die in Abschnitt 5.1.3 zusammengestellte Liste kann nicht alle möglichen Arten von fachbezogenen Objekten umfassen, sondern soll als Grundlage für generische Umweltvisualisierungen dienen. Sowohl das Datenmodell als auch die Implementierung können und sollen mit sinnvollen Objekten für Umweltvisualisierungen erweitert werden.

Die folgende Liste stellt die noch fehlenden fachbezogenen Objekte aus dem Datenmodell zusammen, die für die Implementierung der Beispielanwendungen (siehe Abschnitt 7.1) bisher nicht benötigt wurden:

- Vegetation:  
Es fehlen im 3D-Service noch Klassen die Vegetationsobjekte darstellen. Allerdings existieren bereits die Klassen der Grundprimitive Kugel, Kegel und Zylinder, die für die Erzeugung der Vegetationsobjekte benutzt werden können.
- Weiteres Objekt - Windkraftanlage:  
Der 3D-Service enthält noch keine Klasse für die Repräsentation einer Windkraftanlage. Die Grundprimitive, mit deren Hilfe eine Windkraftlagen-Objekt modelliert werden kann, sind allerdings bereits implementiert.

- Nicht reale Objekte:
  - Isolinien:  
Der 3D-Service besitzt noch keine Klasse, die Isolinien repräsentiert. Die Klasse `LineObject`, die für die geometrische Repräsentation der Isolinie benutzt werden kann, existiert allerdings bereits.
  - Volumenprofilschnitte:  
Im 3D-Service sind noch keine Klassen für die Visualisierung von Volumenprofilschnitten realisiert. Die Datengrundlage für die Erzeugung von Volumenprofilschnitten sind Volumenobjekte, die ebenfalls noch nicht implementiert sind. Allerdings existieren bereits Oberflächenelemente (Raster- oder TIN-Oberflächen), die für die Realisierung der geometrischen Struktur der Volumenprofilschnitte verwendet werden können.

#### 6.2.2.4 Positionierung der generierten Objekte

Für die Integration der Objekte in die 3D-Szene werden noch Informationen für ihre Positionierung benötigt. Jedes Objekt besitzt eine Objektgeometrie, die Koordinaten enthält. Die Koordinaten, die für die Erzeugung der Geometrien im 3D-Service verwendet werden, sind Koordinaten des Weltkoordinatensystems von Java 3D (siehe auch Abschnitt 3.1.1). Die Ursprungsdaten der erzeugten Objekte befinden sich im Allgemeinen in einem Geokoordinatensystem. Dabei ist der Anwendungsprogrammierer dafür verantwortlich, dass Daten aus verschiedenen Geokoordinatensystemen nicht gemeinsam im Weltkoordinatensystem benutzt werden, sondern vorher ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert werden.

Die, der Visualisierung zu Grunde liegenden, originalen Lagekoordinaten liegen häufig im Gauß-Krüger-System vor, während sich die Höhenangaben auf Normal Null (NN) beziehen. Diese Koordinaten müssen in das Weltkoordinatensystem von Java 3D (siehe Abschnitt 3.1.1) überführt werden. Für die notwendige Umrechnung zwischen Geokoordinatensystem und Weltkoordinatensystem (Java 3D System mit den Achsen  $x, y$  und  $z$ ) stellt die Klasse `Transposition` die benötigten Methoden zur Verfügung. Für das Gauß-Krüger-System funktioniert das folgendermaßen:

$$\begin{aligned}x &= \text{Ordinaten- oder Rechtswerte des GK-Systems} \\y &= \text{Höhenangabe über NN} \\z &= \text{-(Abszissen- oder Hochwerte des GK-Systems)}\end{aligned}$$

Jedes generierte 3D-Objekt erhält außerdem ein Objekt, das die Ausdehnung der Geometrie des 3D-Objektes im Weltkoordinatensystem enthält: eine *Bounding-Box*. Diese Bounding-Box umschließt die Geometrie des 3D-Objektes mit Hilfe eines Quaders, dessen Kanten parallel zu den Achsen des Weltkoordinatensystems verlaufen (siehe Abbildung 6.14), und wird durch Elemente der Klasse `WorldVolume` repräsentiert. `WorldVolume` erweitert die in GISterm definierte `WorldBox`, die ein Rechteck enthält, mit zwei Höhenkoordinaten. Die Lage und Ausdehnung eines 3D-Objektes in der virtuellen Welt wird mit Hilfe eines solchen `WorldVolume` eindeutig definiert.

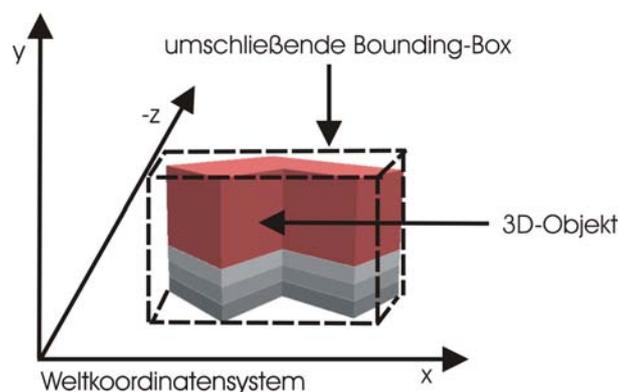


Abbildung 6.14: Bounding Box eines 3D-Objektes

### 6.2.2.5 Integration in den Szenengraph des 3D-Service

Die mit Hilfe des Datenmodells aus Kapitel 5 generierten Objekte werden in den Content-BranchGraph von Java 3D eingefügt (siehe Abschnitt 3.1.2.2). Einfache Objekte werden durch ein `Shape3D`-Objekt repräsentiert, während komplexe Objekte in einem Teilgraphen unter einer `BranchGroup` zusammengefasst werden. Dadurch können auch die komplexen Objekte innerhalb der 3D-Szene wie ein Objekt behandelt werden. Beide Knoten werden in der Klasse `Layer3D` in den Szenengraph der 3D-Szene eingefügt, die vom 3D-Service generiert wurde, und zwar unterhalb des Knoten `layertrans` der Klasse `Layer3D`. Dieser Knoten hängt an der Wurzel `layer3d` eines Layer-Teilgraphen. Die Objekte eines Layers werden in der 3D-Szene sichtbar, wenn die Wurzel des Teilgraphen in den Szenengraphen eingefügt wird (siehe Abbildung 6.15).

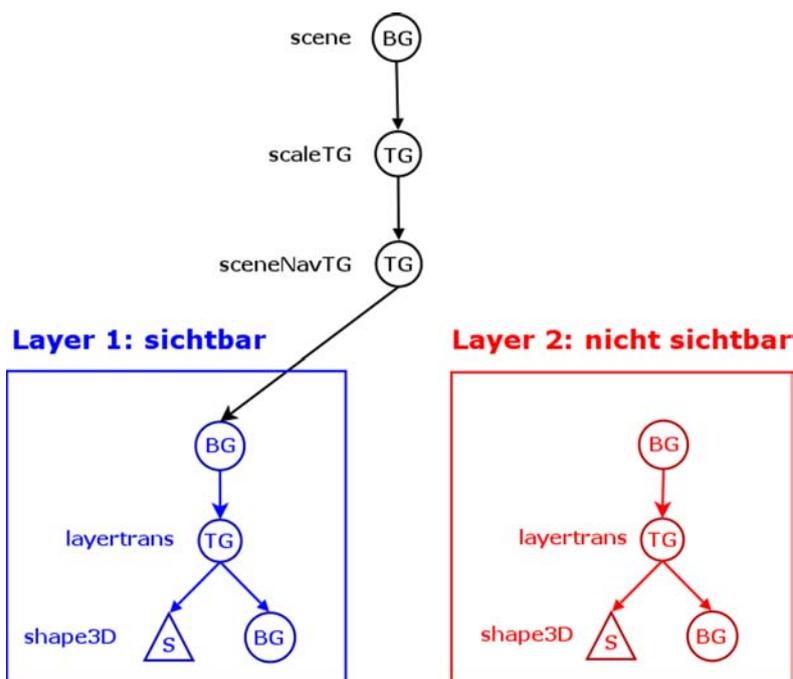


Abbildung 6.15: Integration von 3D-Layern in die 3D-Szene

### 6.2.3 Licht für die virtuelle Welt

Die richtige Ausleuchtung des Objektinhalts einer virtuellen Welt ist wichtig, damit eine fachgerechte Analyse und Problemlösung stattfinden kann (siehe Abschnitt 3.1.3.4).

Für die Steuerung der Ausleuchtung einer 3D-Szene enthält Java 3D verschiedene Arten von Lichtquellen. Für jede Lichtquelle muss ein Wirkungsbereich definiert werden. Alle Objekte, die sich im Wirkungsbereich einer Lichtquelle befinden, werden von ihr ausgeleuchtet. Zwei Lichtquellen, die Java 3D zur Verfügung stellt, werden in GISterm 3D verwendet:

- Ein *Ambient Light* ist realisiert eine diffuse Hintergrundbeleuchtung. Die Lichtquelle besitzt keine definierte Richtung, sondern leuchtet alle Objekte gleichmäßig aus.
- Ein *Directional Light* kann mit dem Sonnenlicht der realen Welt verglichen werden. Die Objekte werden durch parallele Lichtstrahlen ausgeleuchtet. Der Ursprung der Lichtstrahlen liegt im Unendlichen und die Richtung wird im *DirectionLight*-Objekt von Java 3D angegeben.

Sobald eine Lichtquelle mit definiertem Wirkungsbereich in den Szenengraph von Java 3D eingefügt wird, werden die Objekte im Wirkungsbereich der Quelle beleuchtet.

3D-Objekte, die von Lichtquellen angestrahlt werden, werden zunächst gleichmäßig ausgeleuchtet (siehe Abb. 6.16). Jedes 3D-Objekt, das Oberflächennormalen für seine Stützpunkte besitzt, kann schattiert werden. Das bedeutet, jedem Pixel einer Randfläche eines 3D-Objekts wird abhängig von der Normalenrichtung und der Lichtquellenrichtung ein bestimmter Farbwert zugewiesen. Dadurch verbessert sich der Realitätseindruck der Objekte. Die Oberflächennormalen können bei der Erzeugung der Geometrie der 3D-Objekte mitgeneriert werden.

Für die Schattierung von Objekten mit Oberflächennormalen werden in GISterm 3D verschiedene Schattierungstechniken verwendet, die Java 3D zur Verfügung stellt:

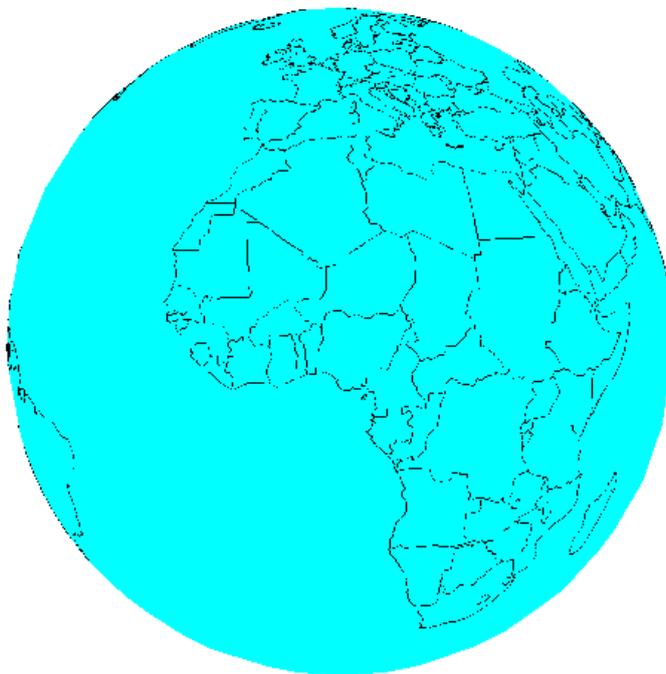


Abbildung 6.16: Gleichmäßige Ausleuchtung einer Erdkugel

- Beim *Flat-Shading* wird der ganzen Randfläche ein Farbwert zugewiesen (siehe Abb. 6.17).



Abbildung 6.17: Flat-Shading

- Beim *Gouraud-Shading* werden die Farbwerte der Eckpunkte der Fläche interpoliert (siehe Abbildung 6.18).



Abbildung 6.18: Gouraud-Shading

Die meisten 3D-Umweltvisualisierungen simulieren Situationen aus der realen Welt. Deswegen wurde für die Implementierung der Beleuchtung im 3D-Service ein Directional Light als Lichtquelle gewählt, das die Sonne in der realen Welt repräsentiert. Wird in der erzeugten 3D-Szene navigiert, ändert sich die Ausleuchtung der Objekte in der 3D-Szene nicht. Die Sonne in der realen Welt bewegt sich schließlich auch nicht plötzlich, sondern lediglich kontinuierlich im Verlauf des Tages.

<b>Schattierungsart:</b>	<input checked="" type="radio"/> Gouraud Schattierung
	<input type="radio"/> Flat Schattierung
	<input type="radio"/> Keine Schattierung
<b>Sonne:</b>	<input type="radio"/> Zenit <input type="radio"/> Südwest
	<input type="radio"/> Nordost <input type="radio"/> Süd
	<input checked="" type="radio"/> Nordwest <input type="radio"/> Südost
	<input type="radio"/> West <input type="radio"/> Ost

Abbildung 6.19: Beleuchtungsfunktionen im Eigenschaftsfenster

Diese Veränderung kann der Nutzer mit einer interaktiven Funktion des 3D-Service eingeschränkt simulieren. Eine kontinuierliche Veränderung ist bisher nicht möglich, aber das Eigenschaftsfenster des 3D-Service enthält eine Funktion, mit deren Hilfe die Himmelsrichtung in der sich die Sonne befindet festgelegt werden kann (siehe Abbildung 6.19).

Dort kann der Nutzer außerdem die Schattierungsart auswählen (ebenfalls Abbildung 6.19).

Die Implementierung der Beleuchtung im 3D-Service erfolgt in der zentralen Klasse `GIS3DView`, da die Ausleuchtung der 3D-Szene wichtig ist. Ohne existierendes Licht sind keine Objekte in der 3D-Szene sichtbar. Deshalb wird zunächst ein Ambient Light in die Szene integriert, das nicht ausgeschaltet werden kann. Damit ist gewährleistet, dass alle Objekte der Szene sichtbar sind.

Für die Schattierung werden zusätzlich Directional Light Objekte in den `GIS3DView` integriert. In der Methode `makeLight` werden für die verschiedenen Sonnenstandspositionen Directional Lights erzeugt, deren Strahlungsrichtung den Sonnenstand für verschiedene Himmelsrichtungen simulieren. Der Wirkungsbereich des Lichtes wird im 3D-Service auf die gesamte Szene festgelegt. Das aktuell ausgewählte Licht wird in den ContentBranchGraph von Java 3D eingehängt und die Objekte der 3D-Szene werden schattiert (siehe Abbildung 6.20).

Für die Änderung der Schattierungsart wird das Erscheinungsobjekt aller Objekte einer 3D-Szene geändert, je nachdem ob der Nutzer Flat- oder Gouraud-Shading ausgewählt hat.

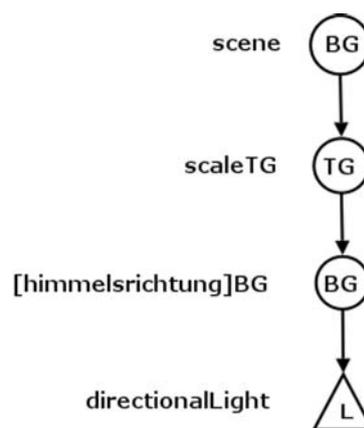


Abbildung 6.20: Integration des Lichts in den Szenengraph

## 6.2.4 Interaktion in der virtuellen Welt

Die Bedeutung der Interaktion wird in Abschnitt 3.1.3.6 erklärt. Grundsätzlich sollte beim Design von Interaktionsfunktionen der Interaktionsfluss beachtet werden, denn es ist wichtig, dass der Nutzer den Zweck und die Bedienungsweise einer Funktion begreift. Die Nichtbeachtung des Interaktionsflusses kann zu unbenutzbaren Systemen führen [DOMIK 2004].

Der potentielle Nutzer des 3D-Umweltinformationssystems ist vermutlich mit der Bedienung des zugrunde liegenden Geoinformationssystems GISterm bereits vertraut. Deswegen ist es für die Generierung von 3D-Interaktionsarten sinnvoll, sich so weit wie möglich an die Bedienung von GISterm anzulehnen.

Eine Forderung aus Abschnitt 2.5.6 für die Entwicklung eines generischen 3D-Umweltvisualisierungssystems ist ein an die Visualisierung angepasstes dynamisches Interaktionskonzept. Wie das in GISterm 3D realisiert ist, wird im Folgenden beschrieben:

Da viele verschiedene Arten von Interaktionen im Bezug auf 3D-Visualisierungen existieren, werden in GISterm 3D drei Gruppen von Interaktionsarten verwendet:

- Allgemeine Interaktionen
- 3D-GIS-Interaktionen
- 3D-UIS spezifische Interaktionen

Die elementaren Funktionen aus den Kategorien „Allgemeine Interaktionen“ und „3D-GIS-Interaktionen“ sind für alle Arten von 3D-Umweltvisualisierungen sinnvoll und deshalb in die Implementierung einer allgemeinen 3D-Szene integriert. Allerdings stehen die Interaktionsfunktionen innerhalb von GIStern 3D als Methoden zur Verfügung. Darum können die komplexen Interaktionsfunktionen („3D-UIS spezifische Interaktionen“) an die Verwendung in der jeweiligen Visualisierung angepasst werden.

#### 6.2.4.1 Allgemeine Interaktionsarten

Für die Bedienung einer 3D-Szene werden zunächst einige allgemeine Interaktionsarten benötigt. Diese kommen unabhängig von der Art des Inhaltes einer 3D-Szene zum Einsatz, das heißt, dass sie beispielsweise für eine 3D-Darstellung chemischer Moleküle ebenso sinnvoll sind wie für umweltspezifische 3D-Anwendungen. Diese allgemeinen Anwendungen und ihre Realisierung im 3D-Service werden im Folgenden näher erläutert:

**Die Orientierung** im Raum ist die Voraussetzung für die Navigation, die dazu dient, ein örtlich definiertes Ziel zu erreichen. Für eine darauf ausgerichtete Routenplanung muss der Startpunkt (Position) bekannt sein.

In der realen Welt hat der Mensch entweder, bedingt durch seine Erfahrungen, eventuell eine ungefähre Vorstellung, wo er sich befindet, oder er benötigt zusätzliche Hilfsmittel wie topographische Karten oder Stadtpläne, um sich zu orientieren. Beim Betrachten der Anfangsansicht einer neu erzeugten 3D-Szene ist dem Anwender seine Anfangsposition unbekannt. Sein erstes Ziel in der Anfangsansicht ist es, sich zurechtzufinden. Dabei entstehen folgende Fragen:

- Wo befinde ich mich als Betrachter in der 3D-Szene?
- Welchen Ausschnitt betrachte ich?

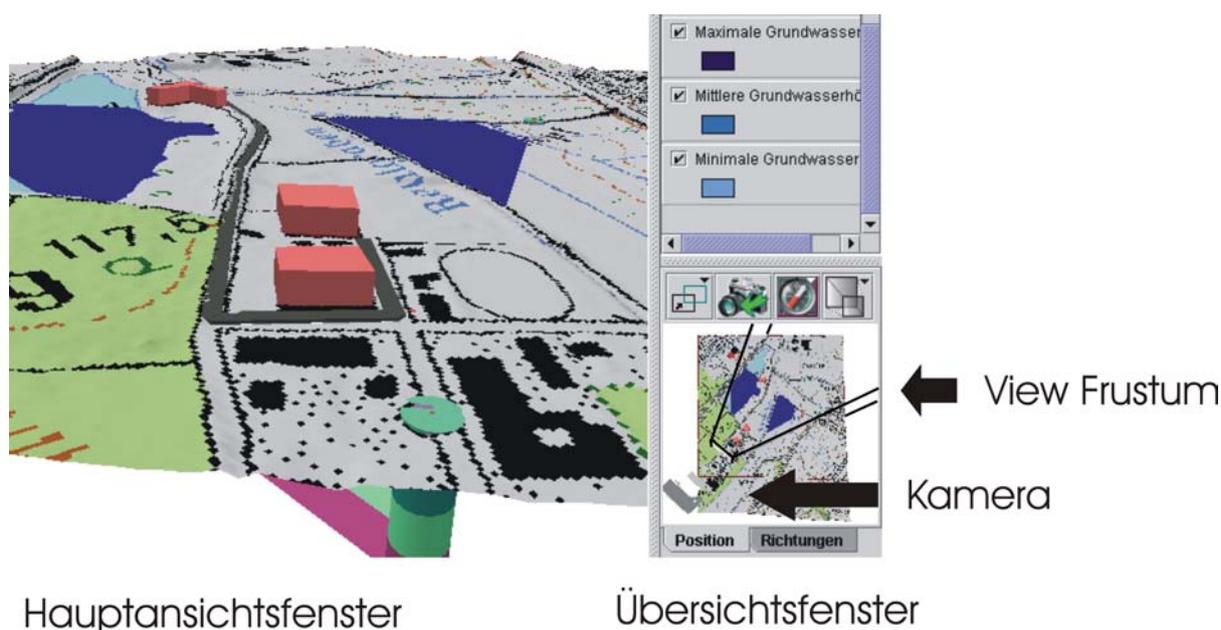


Abbildung 6.21: Elemente des Übersichtsfensters

Für die Lösung dieser Fragen wurde das *Übersichtsfenster* entwickelt. Dieses Fenster zeigt zu jeder Zeit eine Komplettansicht der 3D-Szene mit allen Elementen. Außerdem enthält es, repräsentiert durch eine Kamera, die Position des Betrachters. Die Blickrichtung des Betrachters ist im Übersichtsfenster durch das Kameraobjektiv gekennzeichnet. Außerdem enthält das Übersichtsfenster das View Frustum des Kameramodells (siehe Abschnitt 3.1.3.1). Das View Frustum begrenzt den Teil der 3D-Szene, der gerade aktuell auf dem Bildschirm im Hauptansichtsfenster zu sehen ist (siehe Abbildung 6.21).

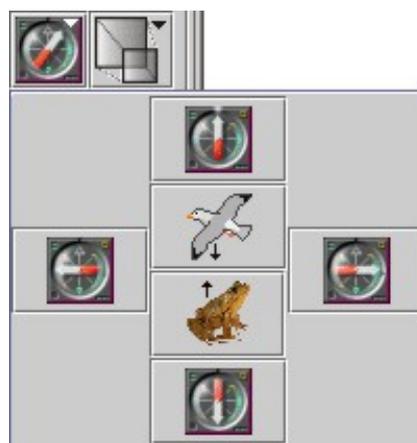
In der 2D-Kartendarstellung von GISterm befindet sich in der rechten unteren Ecke der Hauptkomponente ein 2D-Übersichtsfenster. Analog dazu wird im Kartenreiter der 3D-Ansicht das 3D-Übersichtsfenster an diese Stelle positioniert.

Das 3D-Übersichtsfenster enthält noch einige zusätzliche Funktionen (siehe Buttons in Abbildung 6.22(a)), die den Nutzer bei der Orientierung unterstützen können:

- Beispielsweise können die einzelnen Clipping-Ebenen des View Frustums ausgeschaltet, oder das View Frustum komplett ausgeblendet werden (*View Frustum Button*).
- Der Nutzer kann die Ansicht im Übersichtsfenster ändern (*Kompass Button* siehe Abbildung 6.22(b)). Die Defaulteinstellung der Ansicht des Orientierungsfensters ist die Vogelperspektive. In dieser Ansicht ist die Lageposition der Kamera gut zu erkennen. Es ist außerdem möglich, die Szene von unten oder von verschiedenen Seiten zu betrachten. Mit Hilfe der Seitenansichten kann die Höhe der Kamera, also die Höhe der Betrachterposition in der 3D-Szene, abgeschätzt werden (siehe Abbildung 6.23).



(a) Menüleiste



(b) Kompass-Menü

Abbildung 6.22: Funktionen des Übersichtsfensters

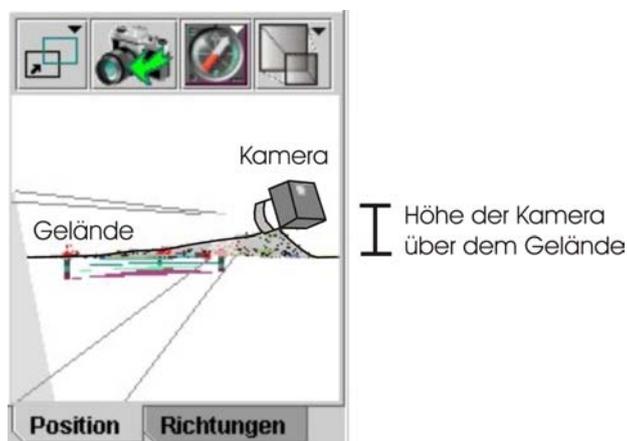


Abbildung 6.23: Seitenansicht im Übersichtsfenster zur Höhenabschätzung der Betrachterposition

- Der Nutzer kann außerdem die aktuelle Ansicht des Übersichtsfensters in die Hauptansicht des 3D-Ansichtsfensters übernehmen (*Kamera Button* siehe Abbildung 6.22(a)).

Realisiert wird das Übersichtsfenster mit Hilfe der Klasse `GIS3DControlView`, die in `GIS3DView` erzeugt wird. Dadurch ist die Ansicht der 3D-Szene, die im Übersichtsfenster sichtbar ist, eng mit der Hauptansicht verknüpft. Die interaktiven Funktionen des Übersichtsfensters werden in der Klasse `SceneViewToolbar`, welche die Funktionsleiste des Übersichtsfensters repräsentiert, realisiert (siehe Abbildung 6.24).

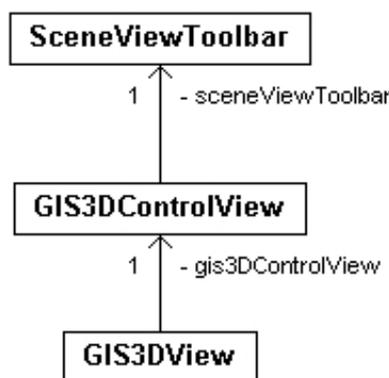


Abbildung 6.24: Realisierung des Übersichtsfensters

Jetzt hat der Nutzer eine grundsätzliche Vorstellung seiner Position in der 3D-Szene. Bei der Navigation in der 3D-Szene wird die Position der Kamera und des View Frustums im Übersichtsfenster dynamisch aktualisiert. Trotzdem kann es beim Navigieren in der 3D-Szene passieren, dass der Nutzer die Orientierung verliert und sich in der virtuellen Welt erneut zurecht finden muss. Dabei kann eine neue Frage auftreten: Wo ist oben und unten?

Für die grundsätzliche Orientierung der Himmelsrichtungen wurde zusätzlich ein *Orientierungsfenster* implementiert (siehe Abbildung 6.25). In diesem Fenster wird ein Koordinatensystem mit der aktuellen Ost-, Nord- und Höhenachse visualisiert, das beim Navigieren in der 3D-Szene ständig aktualisiert wird.

Das Orientierungsfenster wird durch die Klasse `OrientationPanel3D` repräsentiert, die wie das Übersichtsfenster im `GIS3DView` erzeugt wird. Durch die direkte Verknüpfung erhält das Orientierungsfenster die notwendigen Daten zur Ausrichtung des Dreibeins.

Das Orientierungsfenster wird in der Hauptkomponente von `GISTerm` an die gleiche Stelle wie das Übersichtsfenster positioniert. Der Nutzer kann zwischen der Ansicht des Orientierungsfensters und des

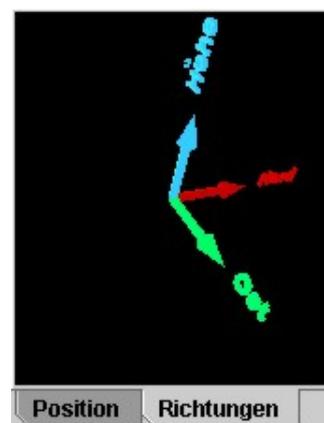


Abbildung 6.25: Orientierungsfenster mit Ostachse (grün), Nordachse (rot) und Höhenachse (blau) Übersichtsfensters frei wählen.

Die **Navigation** ist eine weitere allgemeine Interaktionsfunktion. Der Begriff der Navigation stammt zwar vom lateinischen Verb „navigare“ für segeln, ist heutzutage aber allgemeiner belegt. Sie bezeichnet das Zurechtfinden in einem geographischen Raum. Analog dazu bezieht der Begriff der Navigation in Zusammenhang mit virtuellen Welten eine Bewegung durch den geometrischen Raum ein, dazu gehört die Positionierung und das Ausrichten der Augen des virtuellen Betrachters in der 3D-Welt [JON 2001b].

Es existieren drei unterschiedliche Hauptnavigationsarten für virtuelle Welten [JON 2001b]:

- „*First Person*“:

Bei der First-Person-Betrachtungsweise repräsentiert der Betrachter des Bildschirms die Kamera in der virtuellen Welt. Navigationsaktionen des Betrachters ändern das Blickfeld der Kamera entsprechend. Um ein Objekt in der 3D-Szene von mehreren Seiten zu betrachten, muss der Betrachter die Kamera in der 3D-Szene navigieren. Die Art der Bewegung und die verwendeten Freiheitsgrade hängen von der Navigationsmetapher (3D-Objektrepräsentation der Kameraposition) für die Kamera ab. Eine Flugzeugmetapher besitzt mehr Freiheitsgrade als eine Fahrzeug- oder Personenmetapher. Konsolenelemente, die für das Auslösen der Navigationsaktionen notwendig sind, werden in die Navigationsmetapher integriert. Außerdem sollte bei Verwendung einer Navigationsmetapher die Technik der *Kollisionserkennung* (*Collision Detection*) verwendet werden. Mit Hilfe der Kollisionserkennung kann festgestellt werden, ob sich zwei Objekte in einer 3D-Szene schneiden. Bei der Navigation wird die Navigationsmetapher mit den Objekten verglichen, mit denen sie in Kontakt kommt. Das heißt, die Navigationsmetapher kann nicht durch Wände oder Böden hindurchgehen, -fahren oder -fliegen.

- „*Second Person*“:

Bei der Second-Person-Navigation werden Objekte und Kontrollen aus der 3D-Szene in die Navigation mit einbezogen. Hier ist es zum Beispiel möglich durch Klicken den Fokus auf ein Objekt der 3D-Szene zu lenken, das dann durch Rotation analysiert werden kann.

- „*Third Person*“:

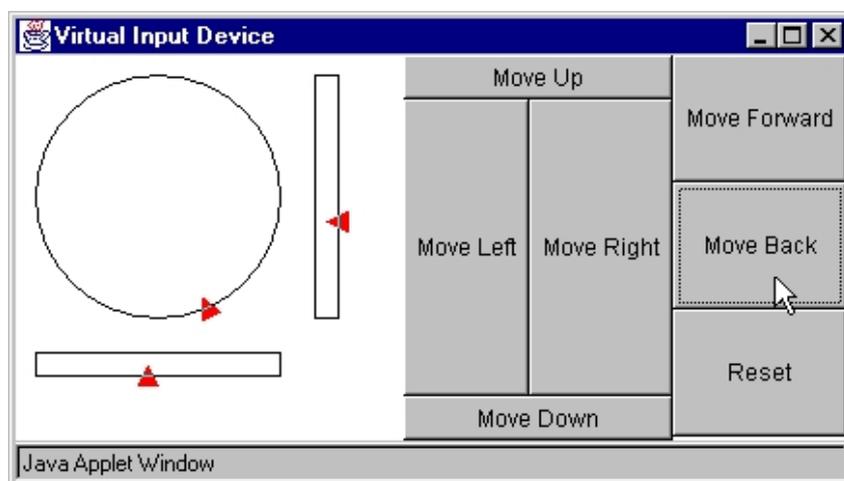


Abbildung 6.26: Virtual Input Device - Navigationsfenster

Bei der Third Person Betrachtungsweise existieren Navigationskontrollen außerhalb der 3D-Szene. Ein Beispiel hierfür ist das Demo-Programm Virtual Input Device von Java 3D (siehe Abbildung 6.26), bei dem die Navigation eines Würfels mit Hilfe der Kontrollen des Navigationsfensters gesteuert wird. Diese Art der Navigation ermöglicht außerdem die Verwendung mehrerer Ansichtsfenster.

Ein Ziel bei der Realisierung der Navigation im 3D-Service ist die einfache Bedienung. Die 3D-Service-Navigation lehnt sich bewusst an die Navigationskontrollen des 2D-GIS an. Dort wird, wie in GI-Systemen allgemein üblich, mit Hilfe von Navigationskontrollbuttons in einer Toolbar zwischen den Funktionen „Verschieben“, „Vergrößern“, „Verkleinern“, „Letzten Kartenbereich anzeigen“ und „Gesamten Kartenbereich anzeigen“ unterschieden.

Der 3D-Service übernimmt die Funktionalität der Funktionen „Letzten Kartenbereich anzeigen“ und „Gesamten Kartenbereich“ anzeigen aus dem 2D-Teil von GIS, deaktiviert die Pan-, und Zoomfunktionen und ergänzt die Menüleiste durch einen 3D-Navigationsbutton (siehe Abbildung 6.27).

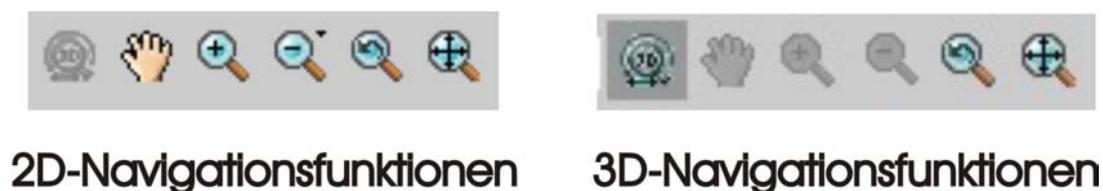


Abbildung 6.27: Navigationsfunktionen

Die Navigationskontrollen der 3D-Szene befinden sich damit außerhalb der 3D-Szene, das heißt, die Steuerung erfolgt mit Hilfe der Third-Person-Navigation. Die visuelle Kontrolle der Navigationsaktionen kann, wie bereits beschrieben, im Übersichtsfenster durchgeführt werden.

Die Art der Bewegung bei der Navigation im 3D-Service orientiert sich nicht an einer Navigationsmetapher, die eine Entsprechung in der Wirklichkeit besitzt, wie zum Beispiel eine Personen- oder Flugzeugmetapher. Für Umweltvisualisierungen ist es wichtig, alle Objekte genau betrachten zu können. Das schließt auch Objekte ein, die sich eventuell unter der Erdoberfläche befinden, wie zum Beispiel geologische Schichten. Deshalb werden bei der Realisierung der Navigation im 3D-Service alle Freiheitsgrade benutzt und keine Kollisionserkennung verwendet.

Grundsätzlich wird der Eindruck der Navigation beim Betrachter durch eine Änderung des Betrachtungsausschnittes erzeugt. Dabei kann der Betrachter visuell nicht erkennen, ob die Objekte in der 3D-Ansicht ihre Position entsprechend der Navigation geändert haben und die Betrachterposition bestehen bleibt, oder ob lediglich die Betrachterposition und die Blickrichtung geändert wurde und die Objekte der 3D-Szene ihre Position beibehalten haben. Java 3D bietet Klassen und Methoden für beide Möglichkeiten an. Da das Prinzip der Änderung der Position des Betrachters einer Navigation in der realen Welt ähnelt, wird diese Methode bei der Implementierung der Navigation im 3D-Service verwendet.

Im Folgenden wird die Realisierung der Navigationsfunktionen im 3D-Service erläutert. Für die Realisierung der Anzeige des gesamten Kartenbereiches wird mit der Information aus den Bounding-Boxen der im Szenengraphen enthaltenen Geometrien die Gesamtausdehnung der 3D-Szene berechnet. Mittels dieser Information wird der virtuelle Betrachter im 3D-Raum so positioniert, dass der gesamte Szeneninhalte im View Frustum sichtbar ist. Der Nutzer kann dann die gesamte Szene überblicken. Die gleiche Funktion existiert auch auf Layerebene. Sie ist analog zur Funktion „Gesamten Kartenbereich anzeigen“ implementiert, allerdings mit dem Unterschied, dass die Ausdehnung des entsprechenden Layers als Grundlage für die Berechnung der Betrachterposition im Raum benutzt wird.

Vor jeder Navigationsaktion wird die aktuelle Position des Betrachters gespeichert. Bei Ausführung der Funktion „Letzten Kartenbereich anzeigen“ wird diese Position reaktiviert und der Ausschnitt des 3D-Ansichtsfensters ändert sich entsprechend.

Diese beiden Funktionen verändern die Position des Betrachters abrupt und unterscheiden sich damit von der kontinuierlichen Navigationsform, die durch die Nutzung des 3D-Navigationsbuttons ausgelöst und im Folgenden beschrieben wird.

Die 3D-Navigation wird durch Aktivieren des Navigationsbuttons in der Toolbar eingeschaltet. Das bedeutet, dass die Behavior-Knoten für die Navigation in der Klasse `GIS3DView` in den Szenengraph von Java 3D eingehängt werden (siehe Abbildung 6.28). Dadurch wird der Wirkungsbereich der Navigation auf die gesamte 3D-Szene festgelegt.

Wie im zweidimensionalen Teil von GISterm wird die 3D-Navigation ebenfalls mit der Maus gesteuert. Jede Taste einer 3-Tastenmaus wird mit einer Navigationsfunktion belegt. Es existieren damit drei verschiedene Verhaltensweisen bei der Navigation (siehe auch Abbildung 6.29):

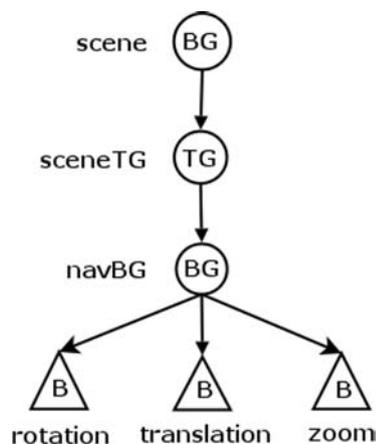


Abbildung 6.28: Integration der Navigation in den Szenengraph

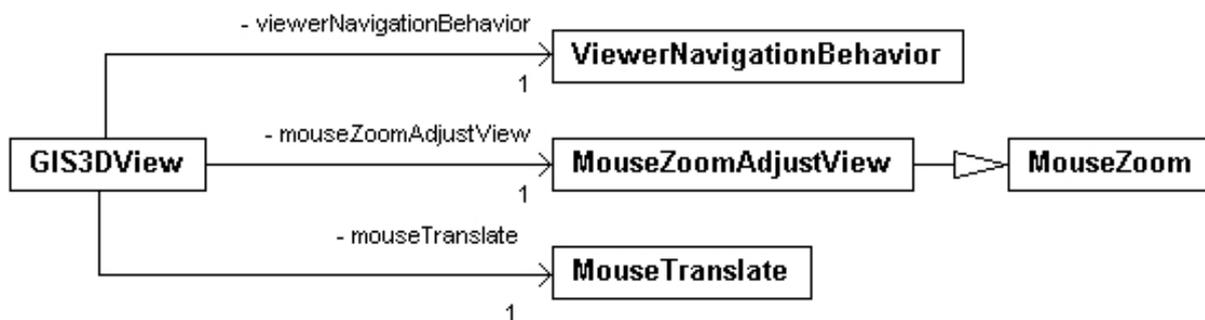


Abbildung 6.29: Realisierung der Navigation

- Die *Rotation* wird durch die Klasse `ViewerNavigationBehavior` repräsentiert. Sie wird aktiviert, wenn die linke Maustaste betätigt wird. Mit Hilfe der `Viewer-`

`NavigationBehavior` können Objekte in der 3D-Szene analysiert werden. Der Anwender kann durch Halten der linken Maustaste und Bewegen der Maus die virtuelle Kamera in der 3D-Szene um den Mittelpunkt des aktuellen Szenenausschnitts bewegen. Dabei entsteht optisch häufig der Eindruck, dass die Objekte um sich selbst rotieren. Technisch ist die Funktion allerdings durch eine Änderung der Kameraposition und -Blickrichtung realisiert. Ein Objekt kann mit Hilfe dieser Methode von allen Seiten betrachtet werden.

- Das *Zoomen* wird durch die Klasse `MouseZoomAdjustView` repräsentiert und belegt die mittlere Maustaste. `MouseZoomAdjustView` ist von der Java 3D Klasse `MouseZoom` abgeleitet, das heißt, sie verwendet das Zoom-Prinzip von Java 3D. Beim Testen der Zoom-Funktion von Java 3D in den Beispielanwendungen hat sich gezeigt, dass in einigen Darstellungsfällen Tiefenpufferprobleme auftreten: Übergänge zwischen flächigen Objekten, die relativ nah beieinander liegen, werden graphisch nicht immer genau getrennt (siehe Abschnitt 3.1.3.1). Die Folge sind ausgefranste Schnittlinien wie in Abbildung 6.30. Dieser Effekt wird in GISterm 3D folgendermaßen abgemildert:



Abbildung 6.30: Tiefenpuffereffekt von zwei Flächen

Solche Effekte entstehen vor allem im hinteren Bereich des View Frustums der 3D-Szene und können verbessert werden, indem die vordere Clipping-Ebene des View Frustums relativ nah an die darzustellenden Objekte herangesetzt wird.

Beim Zoom-Vorgang von `MouseZoom` wird die Betrachterposition näher an das Objekt gesetzt. Der Abstand der Vorderseite des Frustums vom Betrachter bleibt aber gleich, was dazu führt, dass beim Zoomen das Objekt von der vorderen Clipping-Ebene des View Frustums abgeschnitten wird. Deshalb wird in `MouseZoomAdjustView` die Position der beiden Clipping-Ebenen ständig neu berechnet, so dass die Objekte hinreichend nah an der vorderen Clipping Ebene liegen und trotzdem nicht abgeschnitten werden (siehe auch Abbildung 6.31):

$$fcp = dist - boxLength/2$$

$$bcp = fcp + boxLength \cdot 1,25$$

$fcp$  : neue vordere Clipping Ebene  
 $bcp$  : neue hintere Clipping Ebene  
 $dist$  : Abstand Kamera vom Zentrum der Szenenelement-Bounding-Box  
 $boxLength$  : Maximale Länge der BoundingBox der Szenenelemente

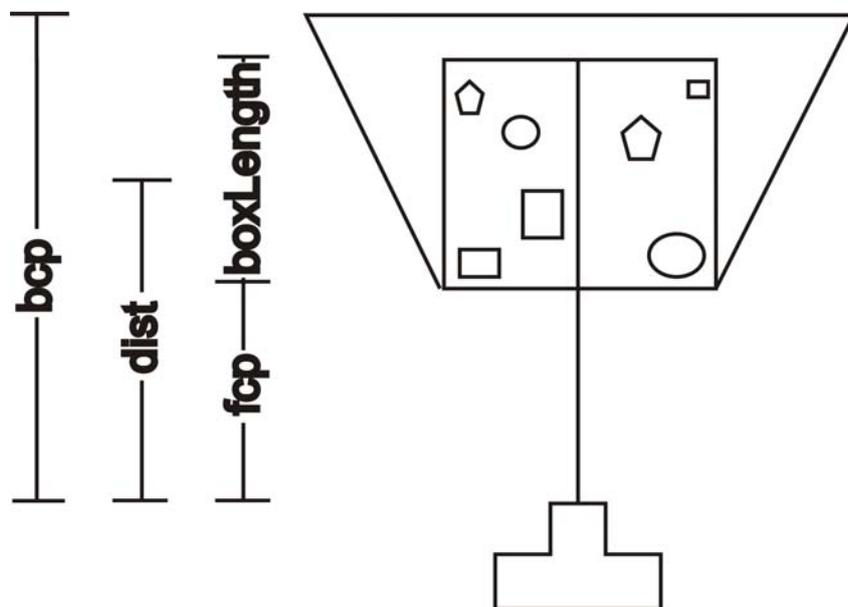


Abbildung 6.31: Berechnung der vorderen und hinteren Clipping-Ebene des View Frustums

- Das *Panning*, also das Verschieben des Betrachters parallel zu den Objekten der 3D-Szene, wird durch die Java 3D Klasse `MouseTranslate` repräsentiert und belegt die rechte Maustaste. In diesem Fall wurde das Prinzip der Realisierung des Pannings in Java 3D direkt in den 3D-Service übernommen.

Eine weitere allgemeine Interaktionsfunktion ist das **Picking**. Es bezeichnet das Selektieren von Objekten. Diese Funktion kennen Nutzer bereits aus dem 2D-GIS-Bereich.

Wie in der 2D-Umgebung von GISterm wird die Pickfunktion mit Hilfe des Pfeilbuttons (siehe Abbildung 6.32) aktiviert. Anschließend kann der Nutzer Objekte in der virtuellen Welt mit der Maus auswählen. Diese werden dann in der Selektionsfarbe gelb gekennzeichnet. Beim Selektieren in der virtuellen Welt sollen keine Objektteile, sondern vollständige Objekte, also Darstellungsobjekte oder fachbezogene Objekte, selektiert werden können. Dies wird folgendermaßen umgesetzt:



Abbildung 6.32: Selektionsbutton

Die Klasse `PickObjectBehavior` realisiert die Pickfunktion im 3D-Service. Sie ist von der Java 3D Klasse `PickMouseBehavior` abgeleitet, die ausgehend von dem mit der Maus auf der Bildschirmoberfläche gepickten Punkt einen zur Projektion der Szene parallelen Strahl in die Szene projiziert (siehe Abbildung 6.33).

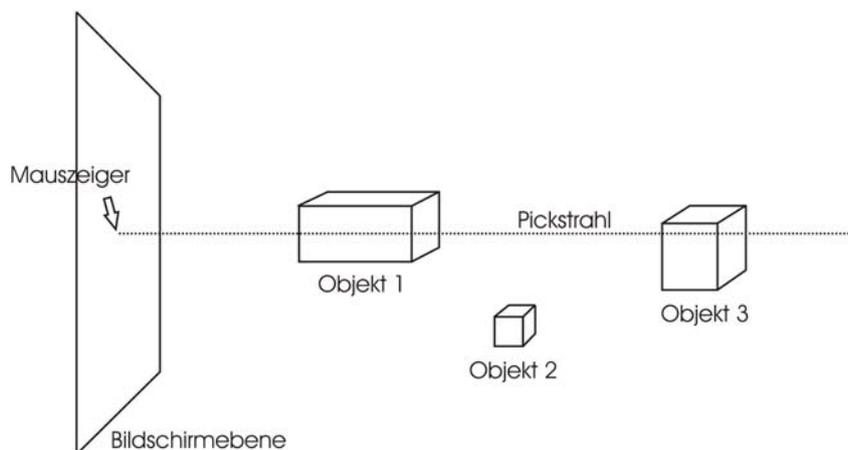


Abbildung 6.33: Funktionsweise des Picking nach [SUN MICROSYSTEMS (C) 2005]

Der `SceneGraphPath` des ersten Objekts, auf das der Strahl trifft wird zurückgeliefert. In Abbildung 6.33 trifft der Strahl zuerst Objekt 1 und anschließend Objekt 3. Objekt 2 wird nicht getroffen. Das bedeutet der `SceneGraphPath` von Objekt 1 wird zurückgeliefert. Der `SceneGraphPath` enthält den Pfad von der gepickten 3D-Geometrie zurück zum Ursprung des Szenengraphen.

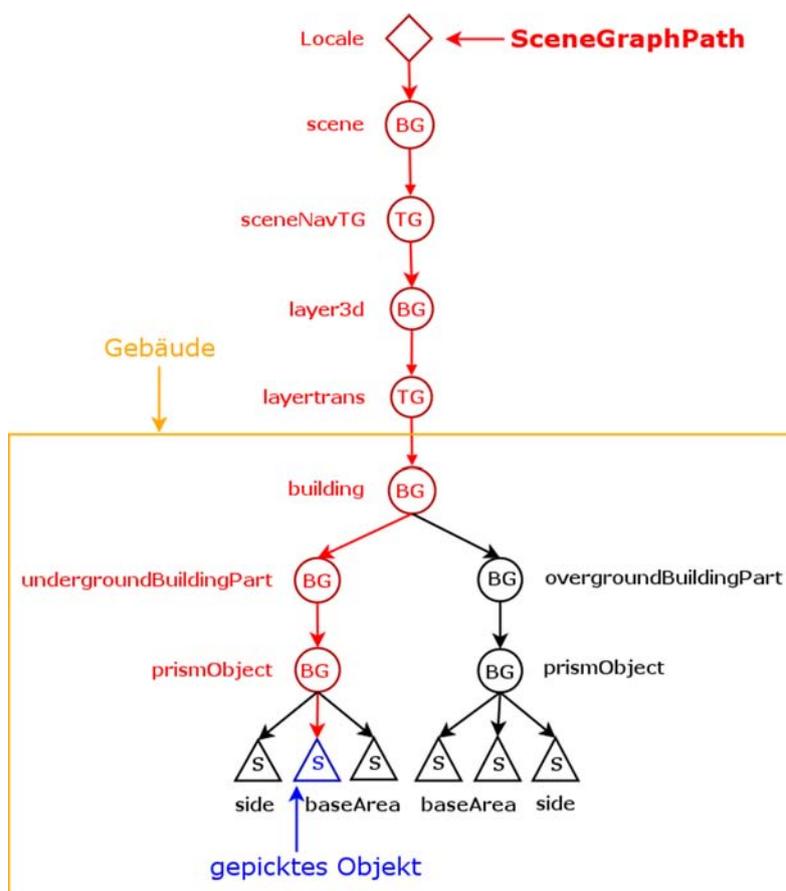


Abbildung 6.34: SceneGraphPath eines gepickten Objektes

Der `SceneGraphPath` in Abbildung 6.34 enthält das gepickte Objekt: in diesem Fall das selektierte Gebäude aus Abbildung 6.35. Der Pickstrahl trifft eine Grundfläche des Gebäudes. Die roten Elemente der Zeichnung bilden den `SceneGraphPath`. Dieser wird in der Klasse `PickObjectBehavior` untersucht (siehe Abbildung 6.36). Befindet sich über der gefundenen Geometrie im Pfad ein Darstellungsobjekt oder ein fachbezogenes Objekt, also Objekte die von der Klasse `FeatureProxy3D` abgeleitet wurden, wird das komplette Objekt selektiert (siehe Abbildung 6.35).

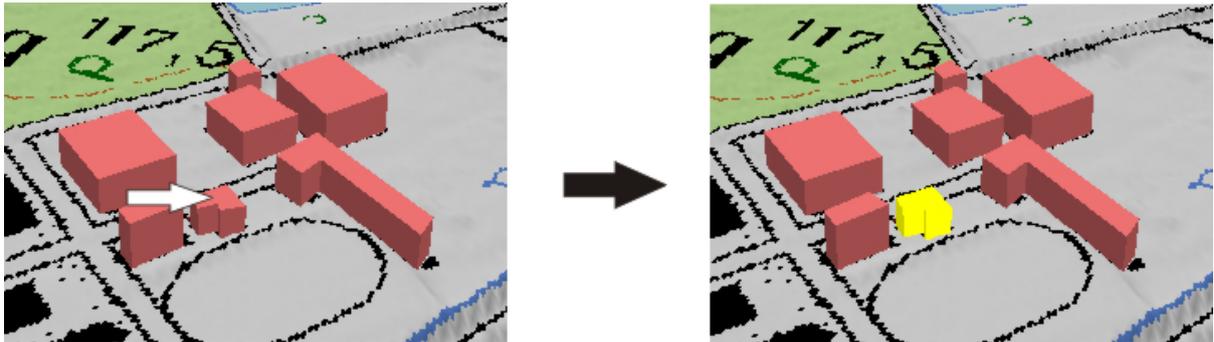


Abbildung 6.35: Selektion eines Gebäudes

Im Beispiel wird ein Element der Klasse `BuildingFeatureProxy3D` gefunden. `BuildingFeatureProxy3D` repräsentiert das Gebäude, ist von `FeatureProxy3D` abgeleitet und wird deshalb als Ganzes selektiert.

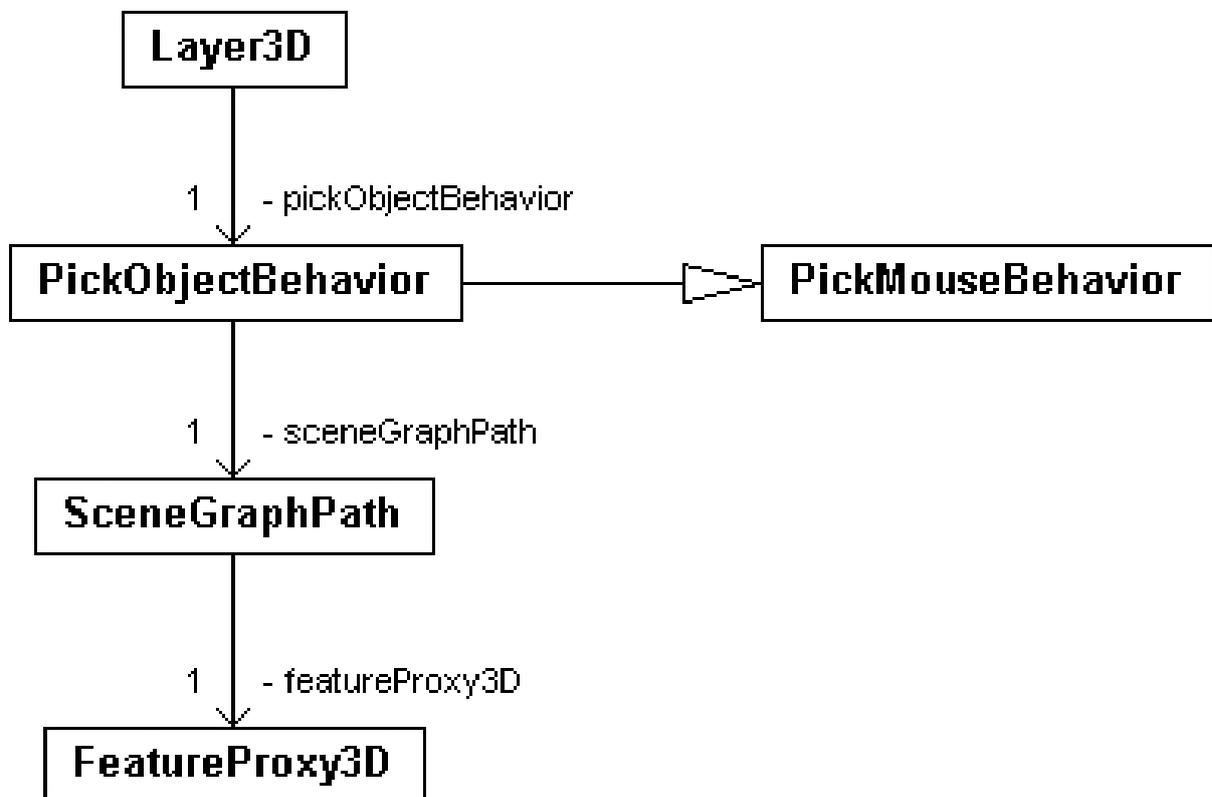


Abbildung 6.36: Realisierung des Picking

Die Instanz der Klasse `PickObjectBehavior` ist in der Klasse `Layer3D` in den Szenengraphen integriert. Die Picking-Behavior wurde dabei mit Hilfe einer `BranchGroup` hinter die `Layer-BranchGroup` in den Szenengraphen eingefügt (siehe Abbildung 6.37).

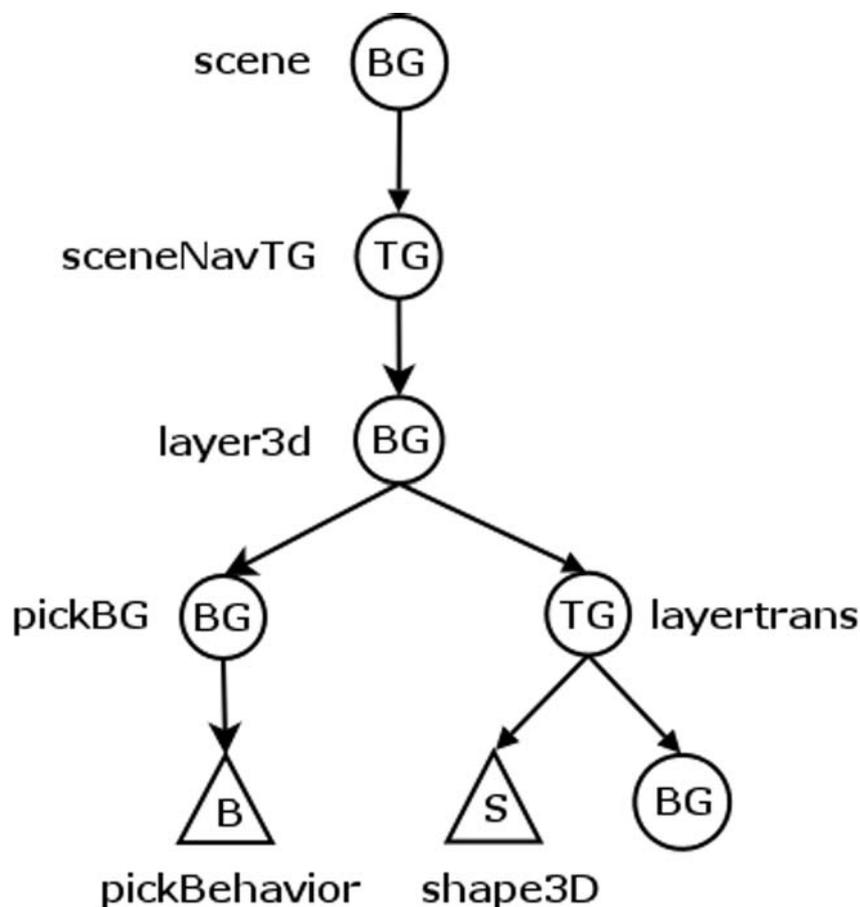


Abbildung 6.37: Integration des Picking in den Szenengraph

Die **Informationsanzeige** ist eine weitere allgemeine Interaktionsart. Ihre Aufgabe ist das Darstellen der Attributinformationen von selektierten Objekten. Jedes `FeatureProxy3D`-Objekt erhält seine Attributinformation über die Schnittstelle `IFeatureProxy3D`.

Die Funktion der Informationsanzeige wird, wie in der 2D-Umgebung von GIStern, mit Hilfe des Informationsbuttons aktiviert (siehe Abbildung 6.38). Anschließend kann der Nutzer Objekte in der 3D-Szene auswählen, deren Attributinformationen in einer Tabelle angezeigt werden.

Technisch gesehen funktioniert die Informationsanzeige wie das Picking, nur dass die Objekte nicht gelb selektiert, sondern deren Attribute in einem Attributfenster angezeigt werden.

Die **Hintergrundfarbe** kann das Erscheinungsbild der virtuellen Welt für die menschliche Wahrnehmung entscheidend beeinflussen. Deswegen wird mit der Interaktionsfunk-



Abbildung 6.38: Informationsbutton

tion „Änderung der Hintergrundfarbe“ eine weitere allgemeine Interaktionsart in den 3D-Service integriert. Die Defaulteinstellung der Hintergrundfarbe im 3D-Service ist schwarz. Für das analoge Drucken von 3D-Szenen auf Papier ist wegen der Druckertonerersparnis weiß vorzuziehen. Eine blaue Hintergrundfarbe hingegen kann den Realitätseindruck einer 3D-Szene erhöhen. Deshalb kann der Nutzer die Hintergrundfarbe im Eigenschaftsfenster des 3D-Service ändern (siehe Abbildung 6.41).

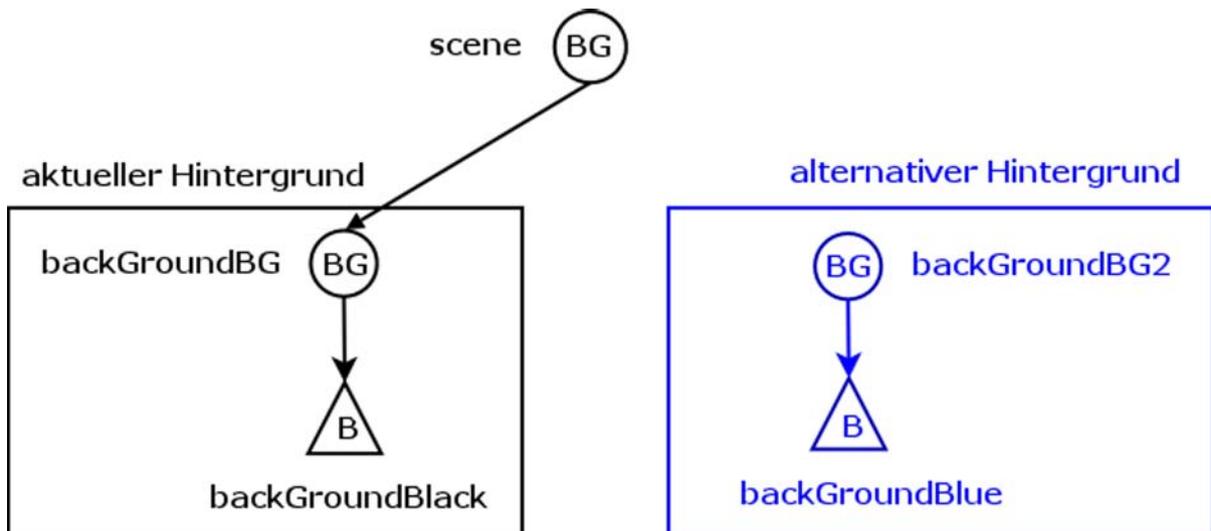


Abbildung 6.39: Änderung der Hintergrundfarbe

Die Änderung der Hintergrundfarbe wird in der Klasse `GIS3DView` realisiert, indem der `Background`-Knoten von Java3D im Szenengraph ausgetauscht wird (siehe Abbildung 6.39).

**Ziel einer allgemeinen Clipping-Funktion** ist es, dem Nutzer die Möglichkeit zu geben, einen bestimmten Ausschnitt der 3D-Szene genauer zu betrachten. Der Teil der virtuellen Welt, der den Nutzer nicht interessiert, wird in der 3D-Szene abgeschnitten.

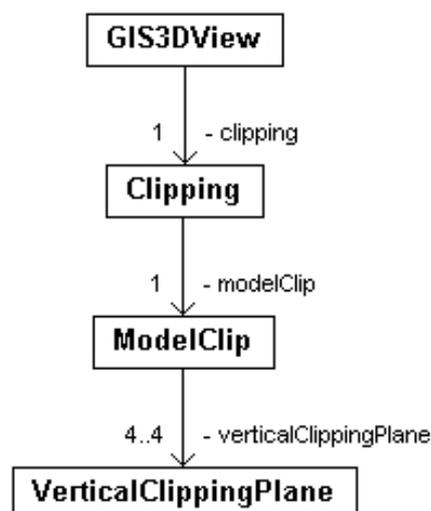


Abbildung 6.40: Realisierung des Clipping

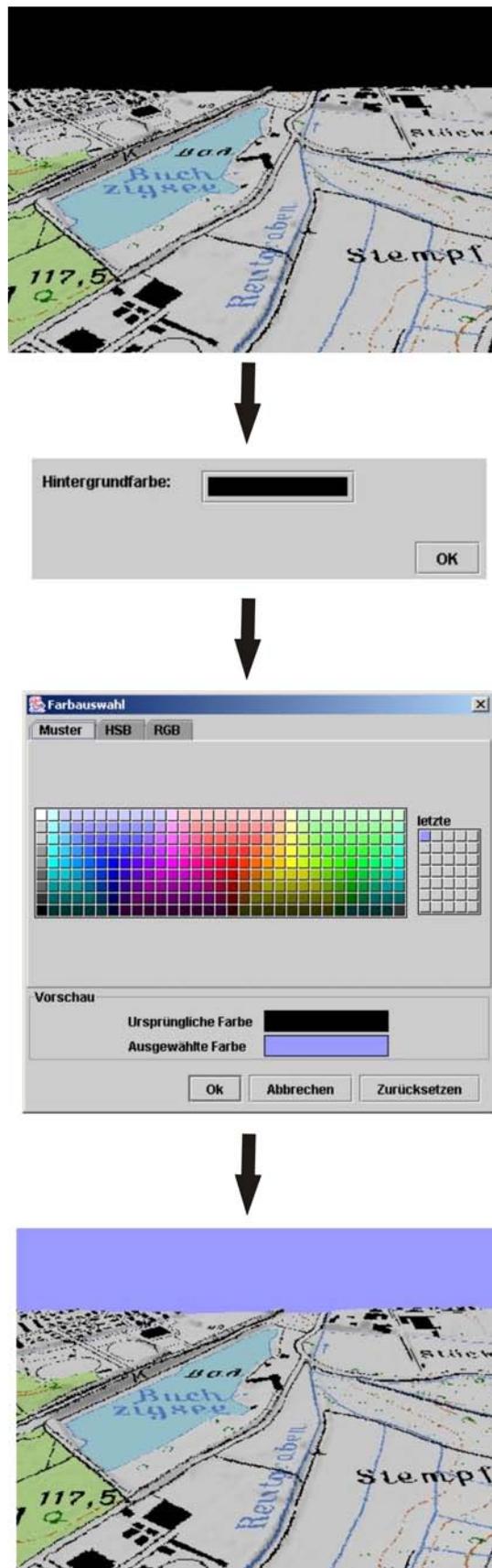


Abbildung 6.41: Änderung der Hintergrundfarbe

Der 3D-Service stellt Methoden zur Verfügung, die das Beschneiden der 3D-Szene realisieren können (siehe Abbildung 6.40). Die Klasse `Clipping` erzeugt mit Hilfe der Java 3D Klasse `ModelClip` vier vertikale Ebenen (`VerticalClippingPlane`), welche die Außengrenze des Schnittbereiches definieren (siehe Abbildung 6.42). Diese Ebenen können bei Bedarf in der Klasse `GIS3DView` in den Szenengraphen des 3D-Service eingehängt werden und schneiden die 3D-Szenenteile außerhalb der Ebenen ab.

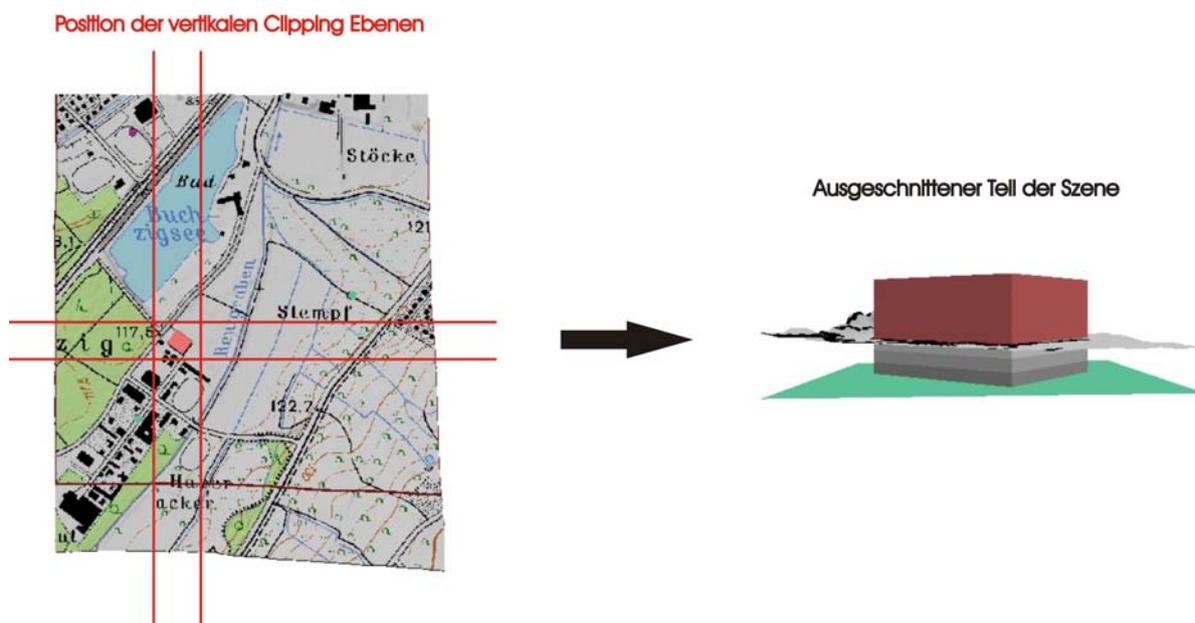


Abbildung 6.42: Die Linien markieren die Position der vertikalen Ebenen für das Clipping

Welche Teile abgeschnitten werden sollen, ist abhängig von der fachspezifischen Anwendung. Deshalb gehören die eigentlichen Interaktionsfunktionen, die das Clipping benutzen, zu den anwendungsspezifischen Interaktionsarten und werden dort implementiert und im Abschnitt 7.1.2.4 diskutiert.

#### 6.2.4.2 3D-GIS-Interaktionen

Neben den allgemeinen Interaktionsarten existieren auch Interaktionsfunktionen, die speziell für 3D-GI-Systeme entwickelt wurden. Diese Funktionen sind für die Realisierung von 3D-Umweltvisualisierungen ebenfalls sinnvoll. Sie werden im Folgenden vorgestellt.

**Neben der Generierung ist das Handling von Oberflächenobjekten** ein bedeutender Teil für die Realisierung von 3D-Visualisierungssystemen mit Geobezug. Die Problemstellung vieler Umweltsystemanwendungen bezieht sich häufig auf ein zeitlich vor der Visualisierung definiertes, räumlich begrenztes Gebiet, das mit Hilfe des Geländeoberflächenobjektes aus digitalen Geländemodellen visualisiert werden kann (siehe Abschnitt 6.2.2.3). Für die visuelle Analyse dieses begrenzten Gebietsabschnitts kann der Nutzer allgemeine Funktionen der Navigation benutzen (siehe Abschnitt 6.2.4.1). Ein automatisches Nachladen neuer Geländeteile während der Navigation, das in professionellen Geländevisualisierungssystemen häufig eingesetzt wird (siehe Abschnitt 3.3.2.2), kann durch Änderungen

des Geländeausschnitts die Analyse des Abschnittes stören. Trotzdem interessiert sich der Nutzer ebenfalls häufig für benachbarte Teile der visualisierten Geländeoberfläche. Deshalb wurde der 3D-Service mit einer Funktion zum interaktiven Nachladen neuer Geländeteile ausgestattet.

Das Nachladen neuer Oberflächenobjektteile ist zwar eine relativ spezielle Interaktion, wird aber häufig genutzt, und sollte deswegen in den grundlegenden Interaktionsarten eines 3D-GI-Systems enthalten sein.

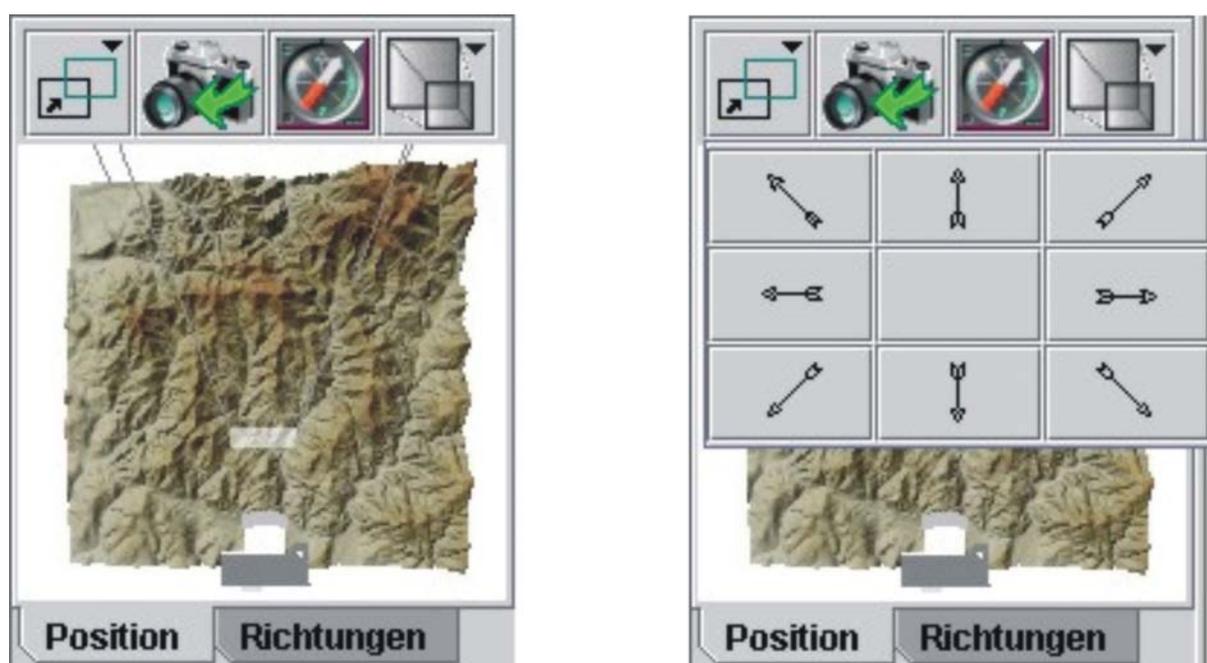


Abbildung 6.43: Die Nachladefunktion im Übersichtsfenster (Kamera gibt Blickrichtung an, Nachgeladen wird in Pfeilrichtung)

Besonders bei der Visualisierung von digitalen Geländeoberflächen existieren große Datenmengen, die nur ausschnittsweise visualisiert werden können. Der 3D-Service visualisiert mit Hilfe des `TerrainFeatureProxy3D`-Objekts in einem `TerrainLayer3D` ein begrenztes Geländeobjekt. Interessiert sich der Nutzer für die angrenzenden Teile des Gelände-Objekts können diese mit der Funktion „Nachladen neuer Geländeteile“ (siehe Abbildung 6.43), realisiert in der Klasse `SceneViewToolBar` des Übersichtsfensters, nachgeladen werden.

Bei Wahl dieser Funktion öffnet sich ein Menü, in dem der Nutzer zwischen verschiedenen Pfeilrichtungen (Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest) wählen kann. Die Pfeilrichtung repräsentiert die Nachladerrichtung der neuen Geländedaten. Bei Aktivierung eines Pfeil-Buttons wird ein `ReloadDEMEvent` erzeugt (siehe Abbildung 6.44). Der `TerrainLayer3D`, der den `ReloadDEMListener` implementiert, reagiert auf das Event, indem er das alte Geländeobjekt löscht, die Daten des neuen Geländeteils aus der Datenbank lädt und ein neues Geländeobjekt erzeugt, das in der 3D-Szene dargestellt wird. Das neue Geländeobjekt enthält Teile des vorherigen Geländeobjekts.

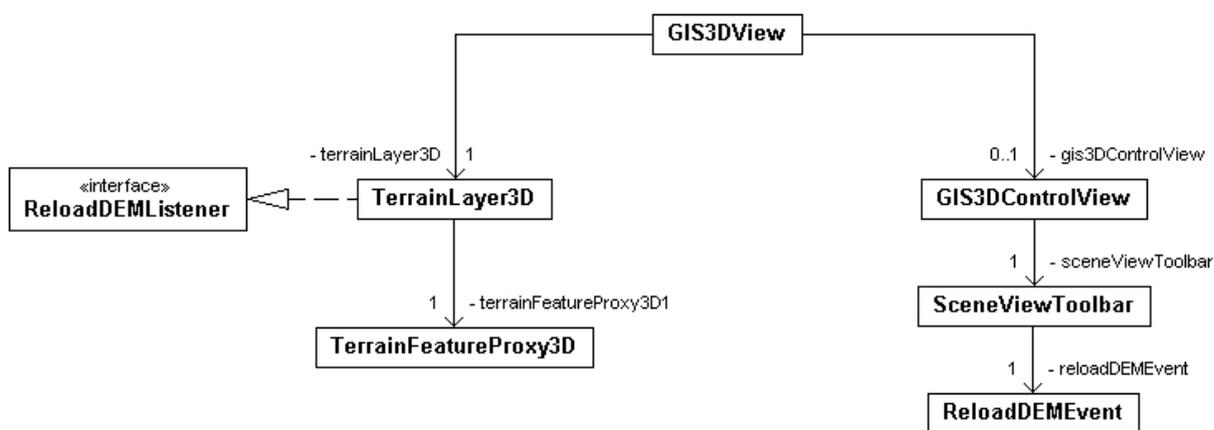


Abbildung 6.44: Realisierung des Nachladens neuer Geländeobjektteile

Eine weitere 3D-GIS-Interaktion ist die **vertikale Überhöhung** einer 3D-Szene. Sie ist sinnvoll, weil die Höhenverhältnisse, besonders bei der Visualisierung von Geländedaten, häufig schlecht zu erkennen sind. Der 3D-Service bietet diese Funktion im Eigenschaftsfenster an. Dort kann der Nutzer den Skalierungsfaktor frei wählen (siehe Abbildung 6.45).

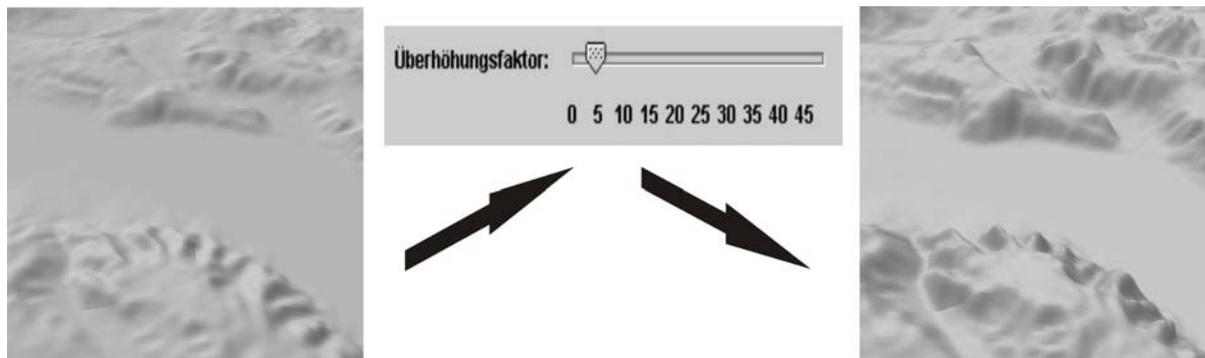


Abbildung 6.45: Überhöhung der Geländedarstellung

Technisch realisiert wird die Überhöhung im 3D-Service durch eine Skalierung der Höhenachse des Weltkoordinatensystems.

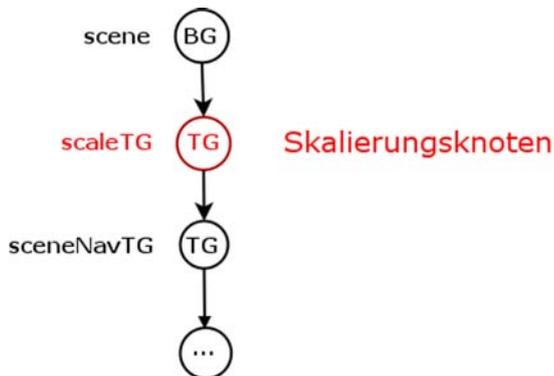


Abbildung 6.46: Szenengraph mit Skalierungsknoten

Das bedeutet, dass in den Szenengraphen ein `TransformGroup`-Knoten eingehängt wird, mit dessen Hilfe die Skalierung der Höhenachse realisiert wird (siehe Abbildung 6.46). Dadurch werden alle nachfolgenden Objekte im Szenengraph skaliert.

Textobjekte müssen von der Überhöhung ausgenommen werden, deswegen enthält der `TextLayer3D` ebenfalls einen Skalierungsknoten, der die Überhöhung rückgängig macht.

### 6.2.4.3 3D-UIS spezifische Interaktionsarten

Zusätzlich zu den allgemeinen und 3D-GIS spezifischen Interaktionsarten sind für die Realisierung von 3D-Umweltvisualisierungen auch fachspezifische Interaktionsfunktionen notwendig. In diesem Bereich existieren Interaktionsformen, die für alle 3D-Umweltvisualisierungen sinnvoll sind, sowie Interaktionsarten, die speziell für fachliche Anwendungen benötigt werden.

**Die Erzeugung von 2D-Profilen** ist eine Funktion, die für viele Umweltvisualisierungsanwendungen nützlich sein kann, da die meisten Anwendungen Oberflächenobjekte enthalten.

Die Generierung einer 2D-Profilansicht wird durch den Aufruf der Funktion „2D Ansicht suchen/ entfernen“ aktiviert. Die Hauptansicht der 3D-Szene wird in die Vogelperspektive umgeschaltet und die Hälfte der 3D-Szene wird durch eine Schnittebene weggeschnitten. Damit wird die potentielle Profilposition in der Hauptansicht gekennzeichnet. Der Nutzer kann mit Hilfe der Cursor-Tasten (Drehen und Verschieben der Schnittebene) die Position des Schnitts verändern, bis die gewünschte Profilposition erreicht ist (siehe Abbildung 6.47).



Abbildung 6.47: Einstellen der Profilposition

Anschließend startet der Anwender die Berechnung der 2D-Profile. Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der Klasse `ProfileHandler` (siehe Abbildung 6.48). Aus den Daten der Oberflächenobjekte `TerrainFeatureProxy3D` oder `IrregularSurfaceFeatureProxy3D` erzeugt der `ProfileHandler` die Profilobjekte `DEMProfileFeatureProxy3D` oder `TIN-ProfileFeatureProxy3D` (siehe Abschn. 6.2.2.3).

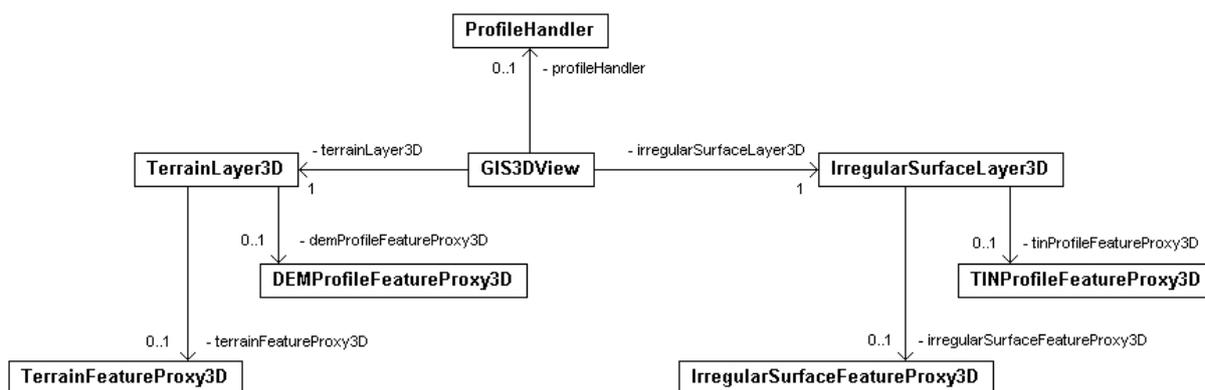


Abbildung 6.48: Realisierung der Profilerzeugung

Der `ProfileHandler` fügt die Profile in die Oberflächenlayer ein, deaktiviert die Sichtbarkeit der anderen Objekte in der 3D-Szene und ändert die Ansichtsrichtung der Hauptansicht auf eine Parallele zur Horizontalen, so dass der Nutzer die 2D-Profile in der Hauptansicht von der Seite betrachten kann (siehe Abbildung 6.49). Außerdem wird das Übersichtsfenster durch eine zusätzliche Linie ergänzt, die die Profilposition in der Hauptansicht markiert.

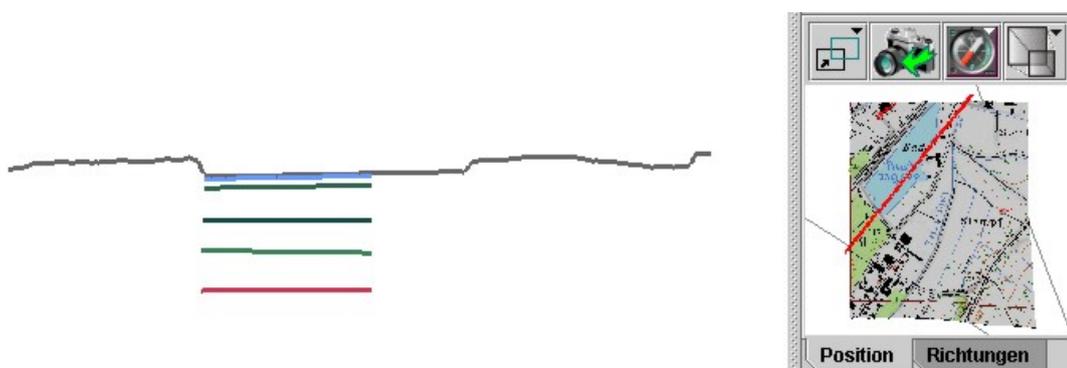


Abbildung 6.49: Profil in der Hauptansicht und Profilposition (rot) im Übersichtsfenster

**Anwendungsspezifische Interaktionsarten** sind im Allgemeinen auf Anwendungen ausgerichtet, die eine bestimmte Aufgabe erfüllen. Deshalb sind sie nicht direkt im 3D-Service implementiert, sondern werden bei der Realisierung von konkreten 3D-Umweltvisualisierungen vom Anwendungsprogrammierer integriert.

Durch den zunehmenden Bezug der Interaktionsfunktionen auf die Erfüllung eines Zwecks für eine bestimmte Aufgabe wird die Bedienung derselben zunehmend komplexer. Auch aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Funktionen bei der Anwendungsentwicklung zu implementieren. Dadurch wird sichergestellt, dass die Bedienung der Funktionen auf die Spezialkenntnisse der Anwenderzielgruppe ausgerichtet ist.

Bei der Implementierung können häufig allgemeine oder 3D-GIS spezifische Interaktionen miteinander kombiniert und erweitert werden, um fachliche Interaktionsfunktionen zu generieren. Beispiele hierfür finden sich in der realisierten 3D-Umweltvisualisierungsanwendung GeoPro<sup>3D</sup> und werden im Abschnitt 7.1.2.4 erklärt.

## 6.3 Integration digitaler Geländemodelle

Digitale Geländemodelle bilden einerseits eine wichtige Datengrundlage für die Visualisierung von Geländeoberflächen (siehe Abschnitt 6.2.2.3), andererseits werden unabhängig von der 3D-Visualisierung die Daten digitaler Geländemodelle für viele andere Anwendungen in Umweltinformationssystemen genutzt. Außerdem sollte die Datenmenge sinnvoll verwaltet werden. Deshalb wurden die Komponenten DGM-Tiler und Height-Service entwickelt, die sich mit der Verwaltung, Speicherung und dem Zugriff auf die Daten digitaler Geländemodelle in GIS-term 3D befassen.

### 6.3.1 DGM-Tiler

Die Datenmenge digitaler Geländemodelle kann beträchtlich sein. Deswegen ist es sinnvoll, die Daten in einer Datenbank zu verwalten.

Der DGM-Tiler enthält einerseits Klassen und Methoden, die Rohdaten digitaler Geländemodelle aus dem Ascii-Format in eine Form konvertiert, die in einer Datenbank verwaltet werden kann, und andererseits Klassen und Methoden, die diese Daten in einer Datenbank speichern.

Auf der einen Seite liegen die Daten vieler digitaler Geländemodelle in einer regelmäßigen Gitterstruktur vor. Auf der anderen Seite existieren in vielen 2D-GI-Systemen, wie auch in GIS-term, Techniken für die Verwaltung und Visualisierung von Rasterdaten in verschiedenen Bildformaten [HOFMANN et al. 1999]. Mit Hilfe dieser Techniken werden die Rasterdaten als Bilder in der Datenbank gespeichert. Die Idee ist, die vorhandenen Methoden der Rasterverwaltung für die Verwaltung der digitalen Geländemodelle wiederzuverwenden.

Mit Hilfe des DGM-Tilers können mehrere digitale Geländemodelle mit unterschiedlichen Auflösungen in einer Datenbank gespeichert werden.

Die Integration der DGM-Daten in die Datenbank ist üblicherweise ein Vorgang, der im Gegensatz zur Verwendung einmal gespeicherter Daten relativ selten vorkommt. Deshalb ist der DGM-Tiler unabhängig von der Hauptkomponente GIS-term und den dort integrierten sonstigen Komponenten von GIS-term 3D.

Die folgenden Abschnitte erläutern die Funktionsweise des DGM-Tilers.

#### 6.3.1.1 Datenvorverarbeitung

Die Rohdaten der digitalen Geländemodelle liegen oft in ASCII-Dateien mit x-, y- und z-Koordinaten vor. Die Rasterstruktur wird durch die Lagekoordinaten definiert. Die Koordinaten haben sowohl in x- als auch in y-Richtung den gleichen Abstand. Dieser Abstand bestimmt die Auflösung des digitalen Geländemodells.

**Ausdünnen der Rohdaten:** Wird in der Datenbank ein digitales Geländemodell benötigt, dessen Auflösung gröber ist als die der vorhandenen Rohdaten, besteht die Möglichkeit, die Rohdaten vor der Integration in die Datenbank auszudünnen. Aus den vorhandenen ASCII-Dateien werden neue Rohdatensätze mit geringerer Auflösung generiert (siehe Abschnitt 6.3.1.3).

**Kodierung der Höheninformation in Bildern:** Die Informationen des digitalen Geländemodells können in einem georeferenzierten Bild, in dem der Farbwert eines jeden Pixels die Höheninformation eines Gitterpunktes repräsentiert, gespeichert werden. Dafür wird ein Bildformat benötigt, dessen Farbtiefe groß genug ist, um die Höhenauflösung des digitalen Geländemodells speichern zu können. Die Auflösung, die in einem Bildformat gespeichert werden kann, berechnet sich folgendermaßen:

$$a = \frac{max - min}{ft - 1}$$

Ein Farbwert wird für undefinierte Werte des Rohdatensatzes reserviert. Alle anderen können für die Kodierung der Höheninformation verwendet werden. Der Farbwert eines Pixels wird dann folgendermaßen berechnet:

$$fv = \frac{hv}{a}$$

$a$  : Auflösung, die im Bildformat gespeichert werden kann [m]

$ft$  : Farbtiefe des Formats

$max$  : maximaler Höhenwert des digitalen Geländemodells[m]

$min$  : minimaler Höhenwert des digitalen Geländemodells[m]

$hv$  : Höhenwert [m]

$fv$  : Farbwert des Pixels

Damit ist es möglich, Bilder zu generieren, die codierte Höheninformationen enthalten. Jedes Bild erhält zusätzlich eine Datei, in der die Koordinaten und die Bounding-Box des Bildes enthalten sind. Damit ist die Georeferenzierung gewährleistet.

### 6.3.1.2 Raster-Kachelung

Die erzeugten Bilder können wie andere Rasterdaten behandelt werden. Es ist möglich, sie für die Verwendung in einer Datenbank zu „kacheln“. Das bedeutet, dass die Bilder in Teilstücke, sogenannte Kacheln, zerlegt und in einer Datenbank verwaltet werden.

Das Ziel des DGM-Tiler ist es, den im GISterm Framework vorhandenen Rasterkachelungsalgorithmus wiederzuverwenden. GISterm enthält Klassen und Methoden zur Kachelung von Bildern, zum Speichern der Bilder in der Datenbank und für den Zugriff auf diese Bilder. Die Daten können in Rasterpyramiden in verschiedenen Auflösungen vorgehalten werden. Diese Klassen und Methoden sind in den DGM-Tiler integriert worden und werden direkt für die Kachelung der Bilder, welche die Höheninformation der digitalen Geländemodelle enthalten, benutzt.

Neben den codierten Höheninformationen werden in der Datenbank pro digitalem Geländemodell zusätzlich die Werte  $max$  und  $min$  vorgehalten, damit beim Lesen des DGMs aus der Datenbank die originalen Höhenwerte wiederhergestellt werden können.

### 6.3.1.3 Implementierung

Wie bereits erwähnt, ist die Integration der Geländemodelle in die Datenbank ein Vorgang der relativ selten vorkommt. Deshalb sind die dafür notwendigen Klassen, die im

Folgenden beschrieben werden, von den sonstigen Komponenten von GIStern 3D unabhängig und in einzelnen eigenständigen Java-Programmen realisiert.

Die Integration der digitalen Geländemodelle wird in drei Schritten durchgeführt:

**Ausdünnen der Rohdaten:** Für das Ausdünnen der Rohdaten kann das Programm DEMThinOutGenerator benutzt werden, das ASCII-Dateien einliest und mit Hilfe des Algorithmus in der Klasse DGMReaderThinout ausdünnert. Der Algorithmus halbiert die vorhandene Auflösung, also zum Beispiel von einem Meter auf zwei Meter oder von fünf Meter auf zehn Meter. Das Prinzip wird in Abbildung 6.50 deutlich.

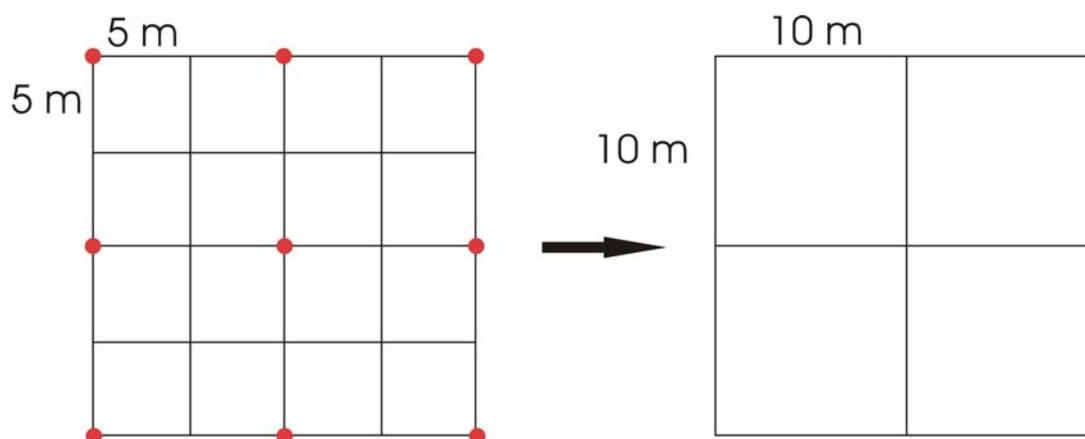


Abbildung 6.50: Die roten Punkte (links) werden in die neue Datei übernommen (rechts)

Der Algorithmus löscht alle Spalten mit ungeradem Index und speichert nur jeden zweiten Punkt aus den Spalten mit geradem Index in eine neue Datei.

**Erzeugung der Bilddateien:** Die Daten eines digitalen Geländemodells liegen im Allgemeinen nicht in einer einzigen Datei vor, sondern verteilen sich auf viele Datensätze, deren Dateinamen Informationen zur Georeferenzierung enthalten. Die ASCII-Datensätze müssen für die Konvertierung in Bilddateien in ein gemeinsames Verzeichnis gespeichert werden. In einer Konfigurationsdatei wird die Lage des Verzeichnisses, der Name der Konfigurationsdatei für die Erzeugung von Bilddateien, die Auflösung des digitalen Geländemodells und der Identifizierungsschlüssel des DGM in der Datenbank eingetragen:

```
# Properties für Einlesen der Dateien ins Config-File
png*.descr
# Verzeichnispfade MÜSSEN mit '/' eingeben werden!!

SOURCEDIR=D:/DGMTiler
CONFIGFILE=dgmtiler.descr

SUFFIX=.5m
UISOAC = 243
USERID = 010
```

Das Programm `CreateDescrFiles` interpretiert die Konfigurationsdatei und startet die Erzeugung der höhencodierten Bilddateien mit Hilfe der Klasse `BatchAsciiDGMTToPNG`. Außerdem wird von `CreateDescrFiles` eine neue Konfigurationsdatei erzeugt, die die notwendigen Informationen über jeden zu kachelnden Datensatz enthält. Anschließend können die Datensätze gekachelt werden.

**Rasterkachelung:** Diese Konfigurationsdatei für die Kachelung sieht folgendermaßen aus:

```

; filename      llNorth llEast urNorth urEast objectID theme/UIISOAC geometry
; -----
D:\\DGMTiler\\1-5m.png 54397.5 35097.5 54402.5 35102.5 35105440 01000000885 1
D:\\DGMTiler\\2-5m.png 54497.5 35097.5 54402.5 35102.5 35105441 01000000885 1
D:\\DGMTiler\\3-5m.png 54497.5 35097.5 54402.5 35102.5 35104442 01000000885 1

```

Mit Hilfe dieser Datei kann das Programm `BatchRasterTiler` gestartet werden, das die Bilddateien mit dem Rasterkachelungsalgorithmus von GISterm kachelt und in der Datenbank speichert.

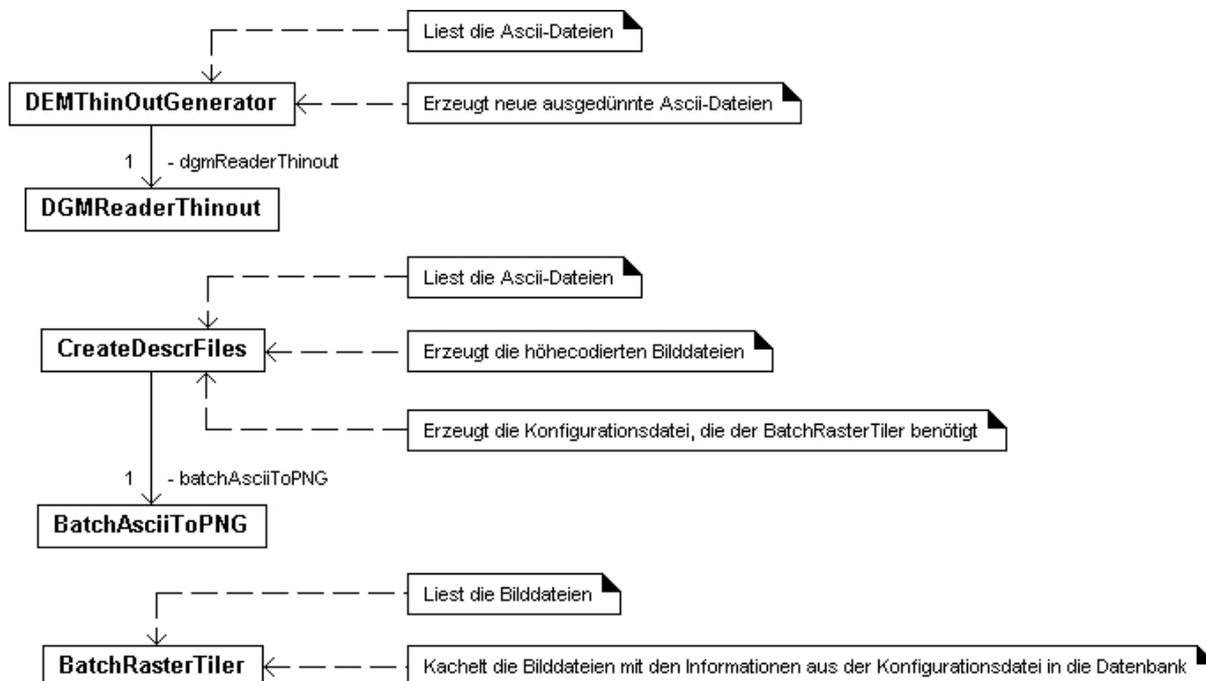


Abbildung 6.51: Realisierung des DGM-Tilers

Mit Hilfe dieser Klassen und Methoden (siehe Abbildung 6.51) können mehrere digitale Geländemodelle in unterschiedlichen Auflösungen in der Datenbank gespeichert werden.

### 6.3.2 Height-Service

Die Verwendung der Daten digitaler Geländemodelle ist nicht nur für dreidimensionale Umweltvisualisierungen interessant. Aus diesem Grund wurde mit dem Height-Service eine Schnittstelle geschaffen, die unabhängig von den 3D-Visualisierungsklassen den Zugriff auf die DGM-Daten regelt.

Der Height-Service kann wie der 3D-Service mit Hilfe der Service-Schnittstelle von GIS-Servern in die Hauptkomponente integriert werden. Anschließend kann der Height-Service zum Zugriff auf die in der Datenbank gespeicherten digitalen Geländemodelle genutzt werden. Die abgefragten Daten können dann für verschiedene Anwendungen, wie zum Beispiel Berechnungsaufgaben oder Visualisierungen, benutzt werden.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Funktionsweise des Height-Service.

#### 6.3.2.1 Entscheidung für ein passendes DGM

Zunächst benötigt der Height-Service die Grenzen des gewünschten Gebietes für die Abfrage von digitalen Geländemodelldaten aus der Datenbank. Ausgehend von der Größe dieser Region sucht der Height-Service unter den verfügbaren digitalen Geländemodellen in der Datenbank nach einem geeigneten DGM.

Dabei stellt sich die Frage: Was ist ein geeignetes DGM? Bei der Lösung dieser Frage spielen zwei Aspekte eine Rolle.

Auf der einen Seite ist die endgültige Darstellungsauflösung auf dem Bildschirm wichtig. Es ist zum Beispiel nicht sinnvoll, das gesamte digitale Geländemodell von Baden-Württemberg in 1m-Auflösung in einer 3D-Szene darzustellen, weil die Bildschirmauflösung dafür bei weitem nicht ausreicht.

Auf der anderen Seite benötigt die Visualisierung eines solch großen DGM sehr viel Speicherplatz, der abhängig vom System eventuell nicht zur Verfügung steht.



Abbildung 6.52: Wahl der DGM-Auflösung

Der Height-Service zieht diese Aspekte in Betracht und entscheidet sich aufgrund der Größe der abgefragten Region und der zu erwartenden Punktzahl für eine passende DGM-Auflösung.

Die Suche des Height-Service in der Datenbank nach dem passenden DGM beginnt mit der höchsten sinnvollen Auflösung. Da es möglich ist, dass in der gewünschten Auflösung keine Daten für die abgefragte Region in der Datenbank vorhanden sind, prüft der Height-Service bei negativer Rückmeldung iterativ die digitalen Geländemodelle schlechterer Auflösung in der Datenbank (siehe Abbildung 6.52).

### 6.3.2.2 Zugriff auf die DGM-Daten

Ist die Wahl für ein bestimmtes DGM getroffen, können die Daten mit Hilfe der Height-Service-Schnittstelle abgefragt werden (siehe Abbildung 6.53).

Das Klassendiagramm zeigt die wichtigsten Klassen und Methoden der Schnittstelle. Die Klasse `HeightOperations` implementiert das Interface `HeightProvider`. Die Methode `setBoundingBox(BoundingBox box)` der Klasse `HeightOperations` legt mit Hilfe der abgefragten Region, die durch eine `BoundingBox` definiert wird, den Arbeitsbereich des digitalen Geländemodells fest. Findet sich in der Datenbank kein passendes Geländemodell wird eine `InvalidBoundingBoxException` erzeugt.

Die Klasse `HeightOperations` enthält außerdem die Methoden, um die Daten, also die Ost-, Nord- und Höhen-Koordinaten der Stützpunkte des digitalen Geländemodells, im festgelegten Bereich abzufragen. Diese Aufgabe übernehmen die Methoden `getCoordinates(double[] eastValues, double[] northValues)` und `getHeightValues()`.

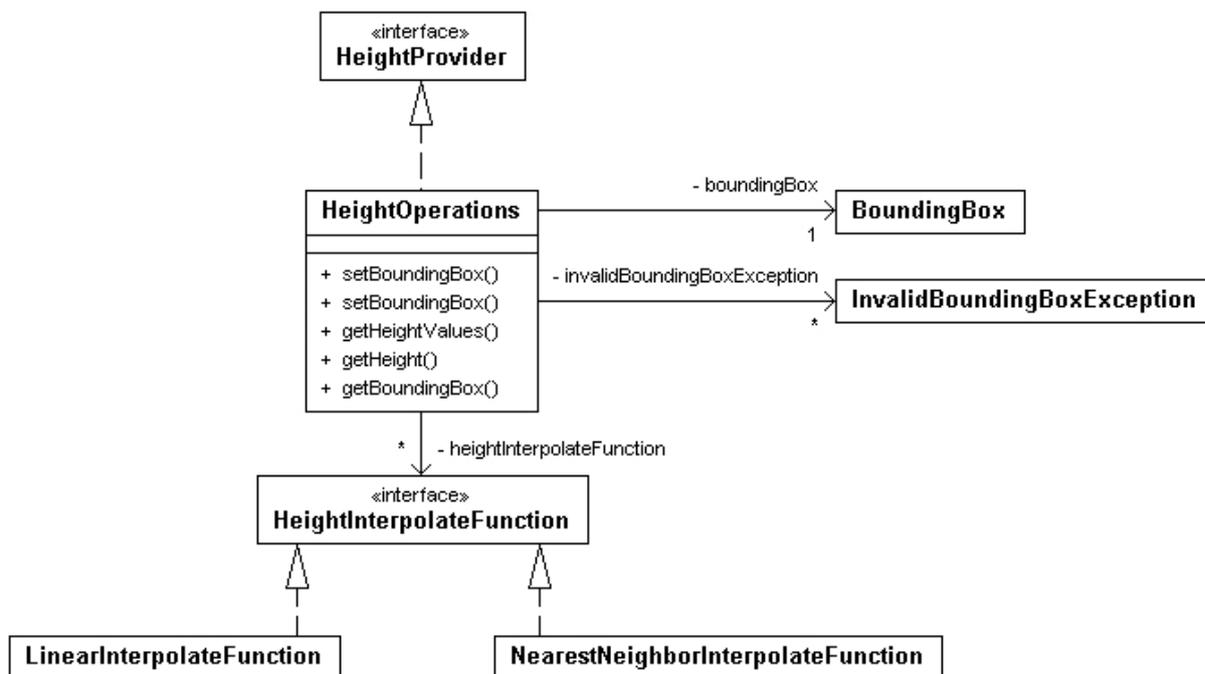


Abbildung 6.53: Schnittstelle des Height-Service

Außerdem können Höhenwerte zwischen den Stützpunkten des digitalen Geländemodells interpoliert werden. Diese Funktion wird mit Hilfe der Methode `getHeight(double`

`east`, `double north`, `HeightInterpolateFunction interpolateFunction`) der Klasse `HeightOperations` realisiert. Die Interpolation wird dabei vom Interface `HeightInterpolateFunction` übernommen. Der `Height-Service` besitzt zwei Klassen, die das Interface implementieren, nämlich die Klasse `NearestNeighborInterpolateFunction` und die Klasse `LinearInterpolateFunction`<sup>1</sup>. Erstere liefert den Höhenwert des nächsten Nachbarn des abgefragten Punktes, während letztere zwischen den vier nächstgelegenen Punkten des Wertes mittels biquadratischer Interpolation interpoliert [BÄHR und VÖGTLE 1991]. Der Vorteil des Interface `HeightInterpolateFunction` ist, dass der Anwendungsprogrammierer durch die Implementierung neuer Klassen, die vom Interface abgeleitet sind, weitere Interpolationsklassen realisieren kann.

## 6.4 Überprüfung der Randbedingungen für 3D-Umweltvisualisierungen

Abschnitt 2.5 hat zu Beginn der Arbeit einige Anforderungen an ein generisches 3D-Visualisierungssystem für Umwelthanwendungen gestellt, deren Einhaltung in GISterm 3D im Folgenden überprüft wird.

Die erste Aufgabe des Anforderungskataloges war, in Frage kommende Daten für 3D-Umweltvisualisierungen zu analysieren. Dies ist in Kapitel 4 geschehen. Die daraus resultierenden Kenntnisse wurden im Datenmodell aus Kapitel 5 umgesetzt. Dieses Datenmodell wird in GISterm 3D verwendet. Damit ist die erste Anforderung erfüllt.

Die nächste Anforderung bezog sich darauf, allgemeine wissenschaftliche Anforderungen an Visualisierungen zu erfüllen. Mit Hilfe von GISterm 3D ist es möglich, verschiedene Objekte in 3D-Ansichten beliebig zu kombinieren und daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen, sei es nun durch Objekte, die Abbildungen von Objekten aus der realen Welt sind, oder Objekte, die in der realen Welt nicht als sichtbare Objekte existieren. Die mit GISterm 3D erzeugten Visualisierungen (Beispiele in Kapitel 7) können von den Anwendern diskutiert und analysiert werden und somit die Kommunikation unterstützen.

Eine weitere Anforderung bezog sich auf die Beachtung der Kenntnisse der potentiellen Nutzer der Anwendung. Da GISterm 3D ein generisches System ist, das für die Erzeugung von 3D-Visualisierungsanwendungen benutzt werden kann, die viele verschiedene Anwenderzielgruppen besitzen, ist das Bedienungskonzept einerseits möglichst einfach gehalten und andererseits erweiterbar gestaltet worden, so dass spezielle Anforderungen an Interaktionsfunktionen flexibel implementiert werden können.

Ein weiterer Punkt der Anforderungen war der Raumbezug. Alle Objekte in GISterm 3D sind durch Koordinaten repräsentiert und werden in einem gemeinsamen dreidimensionalen Weltkoordinatensystem visualisiert.

GISterm 3D verwendet die technischen Hilfsmittel (perspektivische Darstellung, Verdeckung und Schattierung), die Java 3D anbietet, um die Aspekte der Wahrnehmung des Menschen zu bedienen, die notwendig sind, um 3D-Visualisierungen als solche zu erkennen.

Visualisierungen von Volumendaten, Strömungsdaten oder statistischen Darstellungen

---

<sup>1</sup>Der Name der Klasse `LinearInterpolateFunction` wurde vor Implementierung der Klasse verbindlich festgelegt und kann aus Projektgründen nicht angepasst werden.

sind im Datenmodell aus Kapitel 5 enthalten, wurden aber bisher noch nicht implementiert. Dies sollte in Zukunft noch geschehen.

Ein weiterer zentraler Punkt der Anforderungen war die Forderung nach einem dynamischen Interaktionskonzept. Das in GISterm 3D implementierte Interaktionskonzept ist in verschiedene Gruppen aufgeteilt worden, die je nach Komplexität der Anwendung flexibel kombiniert werden können.

Die Wahl von Java 3D als geeignete Software für die Entwicklung eines generischen 3D-Visualisierungssystems für Umweltsanwendungen fiel nach der Untersuchung von verfügbaren Softwarekomponenten in den Abschnitten 3.3 und 6.1.2.

Die Untersuchung zeigt, dass die in Abschnitt 2.5 gestellten Forderungen von GISterm 3D erfüllt werden. Wie sich das System in der Praxis präsentiert, wird im nächsten Kapitel anhand von zwei Beispielanwendungen beschrieben.

# Kapitel 7

## Evaluierung des implementierten Systems anhand von 3D-Umweltanwendungen

Die grundlegenden Komponenten von GISterm 3D werden für die Implementierung von zwei konkreten Umweltanwendungen verwendet, die im Projekt WAABIS des Umweltinformationssystems (UIS) von Baden-Württemberg eingesetzt werden (siehe Abschnitt 1.4).

Dieses Kapitel beschreibt die beiden Anwendungen *DEMViewer* und *GeoPro<sup>3D</sup>* und behandelt Erfahrungen, die beim Einsatz der Anwendungen entstanden sind.

Ausgehend davon rundet das Kapitel die Dissertation mit einem Fazit ab, macht Vorschläge für Verbesserungen und gibt einen Ausblick für die Weiterentwicklung von GISterm 3D.

### 7.1 Implementierte 3D-Visualisierungsanwendungen im UIS Baden-Württemberg

Die Komponenten 3D-Service, DGM-Tiler und Height-Service werden anhand der Realisierung von zwei unterschiedlichen 3D-Umweltanwendungen getestet. Die beiden Testanwendungen unterscheiden sich hinsichtlich des Zwecks der Visualisierung, ihrer Komplexität und ihrer Nutzer.

#### 7.1.1 DEMViewer - Visualisierung digitaler Geländemodelle

Der DEMViewer ist eine einfach zu bedienende Visualisierungsanwendung für die Darstellung von Geländeoberflächen. Die Oberfläche des Geländes kann mit individuell erzeugten Texturen versehen werden.

### 7.1.1.1 Anwendungsgebiete und Nutzertypen

Wie die Untersuchung von bereits existierenden 3D-Umweltanwendungen in Abschnitt 4.3 zeigt, spielt die Visualisierung der Geländeoberfläche eine wichtige Rolle für 3D-Umweltvisualisierungen. Der DEMViewer ist eine Anwendung, deren Kern eben diese Visualisierung der Geländeoberfläche umsetzt. Die Nutzer des DEMViewers können in Gruppen unterteilt werden:

- **Privatanwender:**  
Der Privatanwender interessiert sich für die Visualisierung seines persönlichen Einzugsgebiets (Wohnhaus, Arbeitsstätte). Die Visualisierung kann durch Verwendung von Texturen mit umweltrelevanten Informationen angereichert werden. Ebenso ist die Visualisierung von möglichen Ausflugszielen für die Freizeitplanung attraktiv, die neben umweltrelevanten Informationen, wie zum Beispiel dem Vorkommen von bestimmten Pflanzenarten, auch gerne touristische Informationen enthalten darf, wie zum Beispiel Informationen über Aussichtspunkte oder Rastplätze.
- **Mitarbeiter in Behörden und Angestellte in Firmen, die Umweltfachaufgaben erfüllen:**  
Umweltfachangestellte sind primär an der Visualisierung eines Gebietes interessiert, das für die Erfüllung einer Umweltfachaufgabe relevant ist. Die 3D-Darstellung des Gebietes kann dem Sachbearbeiter eine Vorstellung der Region vermitteln. Dies kann bei der Entscheidungsfindung helfen.

Das heißt, es existieren zwei Hauptanwendergruppen für die Nutzung des DEMViewers: Privatanwender und Angestellte, die Umweltfachaufgaben lösen wollen. Die Vorkenntnisse, die für die Nutzung des DEMViewers relevant sind, unterscheiden sich für beide Gruppen.

Privatanwender haben im Allgemeinen keine ausgeprägten fachlichen Umweltkenntnisse. Außerdem kommen GI-Systeme in Privathaushalten nicht zum Einsatz. Wahrscheinlicher ist, dass der Privatanwender mit computergenerierten 3D-Visualisierungen in Kontakt gekommen ist. Der Computerspielmekmarkt befindet sich im Wachstum und virtuelle Welten werden heutzutage in Computerspielen intensiv genutzt [SEUFERT und RING 2005] [DFC INTELLIGENCE 2005]. Wird dieser Trend beachtet, so ergibt sich die mögliche Schlussfolgerung, dass der Privatanwender eventuell an die visuelle Interpretation von 3D-Welten und die Handhabung bestimmter Navigationsformen gewöhnt ist.

Angestellte, die Umweltfachaufgaben lösen, besitzen zusätzlich zu ihren Kenntnissen aus dem privaten Bereich, erweiterte Kenntnisse. Die fachliche Umweltkompetenz ist voll ausgeprägt und durch die zunehmende Verbreitung von GIS in Verwaltung und Wirtschaft kann davon ausgegangen werden, dass Grundkenntnisse für die Bedienung von GI-Systemen vorhanden sind (siehe Tabelle 7.1).

	Privatanwender	Angestellte
Umweltkenntnisse	nein	ja
GIS-Kenntnisse	nein	ja
3D-Kenntnisse	vielleicht	vielleicht

Tabelle 7.1: Kenntnisse der Nutzergruppen

Da der DEMViewer für zwei Anwendergruppen interessant ist, sollten auch beide Gruppen Zugriff auf die 3D-Umweltanwendung haben. Während für Angestellte, die Umweltaufgaben betreuen, sowohl eine normale Desktopanwendung als auch eine Internetanwendung geeignet ist, bietet sich für Privatanwender das Internet als Plattform an. Primäres Ziel des Auftraggebers des Projektes „Integration von 3D-Visualisierungsanwendungen in das UIS Baden-Württemberg“ war, den Fachangestellten der Verwaltungen die entwickelten Module zur Verfügung zu stellen. Deswegen wurde der DEMViewer zunächst als integrierte 3D-Erweiterung von GISterm realisiert (siehe Abschnitt 7.1.1.3 und Abschnitt 7.1.1.4). Damit hat der Privatanwender keinen Zugriff auf den DEMViewer. Natürlich ist die Portierung der Anwendung für die Nutzung im Internet trotzdem interessant. Im Abschnitt 7.1.1.5 werden dahingehende Tests beschrieben.

### 7.1.1.2 Datengrundlage

Für die individuell texturierten Geländevisualisierungen, die mit Hilfe des DEMViewers möglich sind, werden zwei Kategorien von Daten benötigt. Während digitale Geländemodelle als Grundlage für die Objektgeometrie des Geländes dienen, werden zweidimensionale Raster- und Vektordaten als Grundlage für die Erzeugung der individuellen Textur verwendet. Die beiden folgenden Abschnitte beschreiben die Datengrundlage, auf die mit dem DEMViewer zugegriffen werden kann. Alle Daten werden oder sind in der RIPS-Datenbank des *Räumlichen Informations- und Planungssystem* gespeichert, das den UIS-Nutzern zur Verfügung steht und den Zugriff auf raumbezogene Daten ermöglicht.

**Digitale Geländemodelle von Baden-Württemberg:** Dem Projekt „3D-Visualisierungen im Umweltinformationssystem von Baden-Württemberg“ (siehe Abschnitt 1.4) stehen für die Visualisierung von Geländeobjekten digitale Geländemodelle unterschiedlicher Auflösung in verschiedenen Regionen von Baden-Württemberg zur Verfügung. Abbildung 7.1 zeigt das gleiche Gebiet in 50m-, 5m- und 1m-Auflösung:

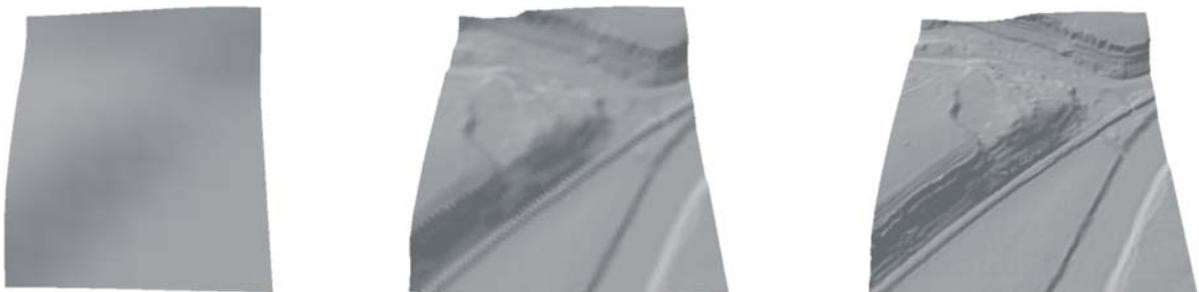


Abbildung 7.1: Das gleiche Gebiet in perspektivischer 3D-Visualisierung in 50m-, 5m- und 1m-Auflösung

- 50m-DGM [LANDEVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2005]:  
Durch photogrammetrische Auswertung von Luftbildern der 70er Jahre wurde ein digitales Geländemodell in 50m-Auflösung erzeugt, das für ganz Baden-Württemberg flächendeckend vorhanden ist. Die Höhengenaugigkeit des Modells beträgt ca. +/-

3m. Dieses Geländemodell wurde mit Hilfe des DGM-Tilers in die RIPS-Datenbank integriert und steht den 3D-Umweltanwendungen zur Verfügung.

- Zwei hochauflösende Laserscanner-DGMs [LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2005]:

Das Landesvermessungsamt von Baden-Württemberg hat in den Jahren 2001 - 2003 eine hochgenaue Laserscanner-Befliegung von Baden-Württemberg durchgeführt. Die daraus entstehenden Rohdaten werden vom UTM-System in das Gauß-Krüger-System transformiert, bereinigt und anschließend in das regelmäßige Punktgitter eines digitalen Geländemodells überführt.

Die bestmögliche Auflösung des Geländemodells ist 1m. Größere Gitterweiten sind verfügbar. Die empirisch ermittelte Höhengenaugigkeit beträgt 0,2-0,3 Meter in Gebieten mit ausreichender Punktdichte. Die Daten werden in Ascii-Daten mit x-, y- und z-Koordinaten ausgeliefert, wobei die Bearbeitung der Rohdaten noch andauert. Vom Landesvermessungsamt vollständig bearbeitete Gebiete werden der Landesanstalt für Umweltschutz laufend in den Auflösungen 1m und 5m zur Verfügung gestellt.

Die im Juli 2004 fertig bearbeiteten Gebiete wurden mit Hilfe des DGM-Tilers in die RIPS-Datenbank integriert. Diese sind in Abbildung 7.2 in braun gekennzeichnet.

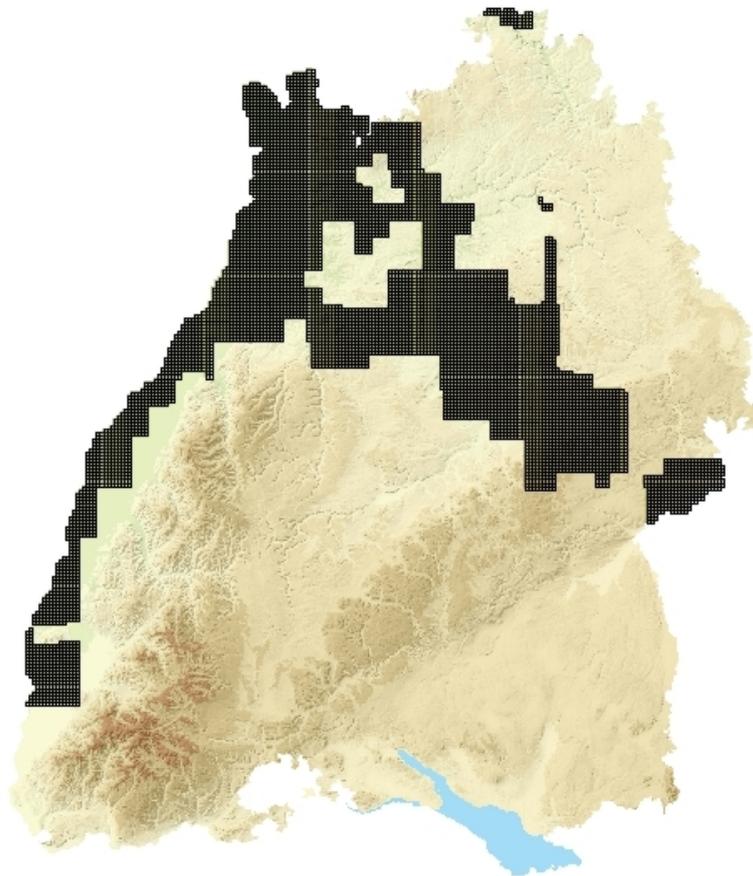


Abbildung 7.2: Fertig bearbeitete Gebiete des 5m-DGM in Baden-Württemberg im Juli 2004

Die Anwendungsbereiche der digitalen Geländemodelle im DEMViewer sind unterschiedlich. Mit Hilfe des 50m-DGM kann die Geländeform ganzer Landkreise visualisiert werden (siehe Abbildung 7.3).

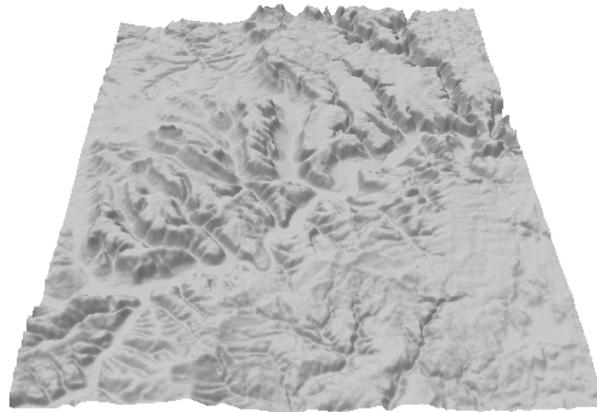


Abbildung 7.3: Die 3D-Geländeform im Bereich des Kreises Tuttlingen in 50m-Auflösung

Das 5m-DGM eignet sich für die Visualisierung der Lage von Objekten in einem Gebiet (siehe Abbildung 7.4 links: Baggersee in der Nähe einer Bahnlinie), während mit Hilfe des 1m-DGM auch das Objekt selbst (siehe Abbildung 7.4 rechts: Die Ufersituation des Baggersees) dargestellt werden kann.

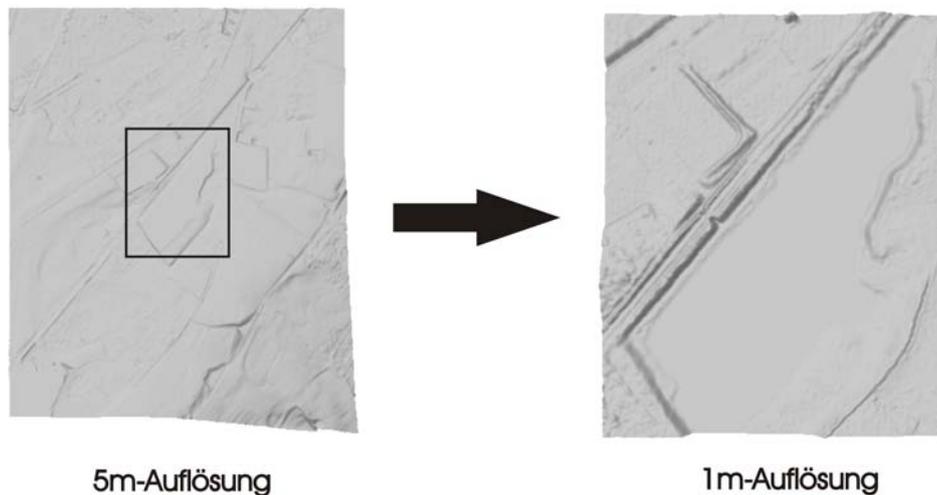


Abbildung 7.4: Nutzung der verschiedenen DGM-Auflösungen

Tabelle 7.2 liefert einen Überblick über den Speicherverbrauch der digitalen Geländemodelle. Die Daten werden in Ascii-Dateien geliefert, mit Hilfe des DGM-Tilers in höhencodierte PNG-Bilddateien gewandelt und anschließend in die RIPS-Datenbank gekachelt. Die Werte des 1m- und 5m-Geländemodells wurden ausgehend von den vorhandenen Datensätzen auf die Fläche von Baden-Württemberg hochgerechnet.

Auflösung / Dateiformat	1 m	5 m
Ascii	ca. 933 GB	ca. 38 GB
PNG	ca. 11 GB	ca. 1 GB
PNG in Datenbank	ca. 21 GB	ca. 2 GB

Tabelle 7.2: Speicherverbrauch der digitalen Geländemodelle für die Fläche von Baden-Württemberg

Die Aufstellung zeigt, dass die digitalen Geländemodelle selbst in der 1m-Auflösung heutzutage problemlos in einer Datenbank vorgehalten werden können.

**Umweltinformationen:** Basierend auf den bisher diskutierten digitalen Geländemodellen kann lediglich die Geländeform dargestellt werden. Mit Hilfe von zweidimensionalen Raster- und Vektordaten aus der RIPS-Datenbank, die als Texturbilder verwendet werden können, kann die Geländeform mit Umweltinformationen angereichert werden. Die RIPS-Datenbank enthält Umweltinformationen aus unterschiedlichen Bereichen, die in folgende Themengebiete aufgeteilt sind [LFU 2005a]:

- **Geologie und Boden:**  
Das Themengebiet Geologie und Boden enthält Geodaten der beiden Fachrichtungen. Es enthält zum Beispiel den Bodenatlas, Informationen über Geotope oder Daten über Abbaugebiete.
- **Gewässer und Hydrologie:**  
In diesem Themengebiet liegen hauptsächlich Daten über die Einzugsgebiete und die Gewässergüte von Fließgewässern vor. Außerdem sind Daten über stehende Gewässer enthalten.
- **Grundwasser und Hydrogeologie:**  
Dieses Themengebiet enthält hauptsächlich Daten zu den Bereichen Hydrogeologie, Grundwasservorkommen, Quellenschutzgebiete und Wasserschutzgebiete.
- **Land- und Forstwirtschaft:**  
Hier sind Informationen über Waldschutzgebiete und Waldbiotope enthalten.
- **Landnutzung:**  
Dieses Themengebiet enthält klassifizierte Daten über die Landnutzung in Baden-Württemberg.
- **Natur- und Landschaft:**  
Dieses Themengebiet enthält zum Beispiel Daten über Natur- und Landschaftsschutzgebiete oder Daten von Biotopkartierungen.
- **Geobasisdaten:**  
Während die ersten vier Themengebiete fachliche Umweltinformationen enthalten, sind in der Kategorie der Geobasisdaten vermessungs- und verwaltungstechnische Daten zusammengefasst. Diese Kategorie enthält zum Beispiel topographische Karten, Verwaltungsgrenzen, Daten des Digitalen Landschaftsmodells oder der automatisierten Liegenschaftskarte (ALK).

Der Nutzer kann die unterschiedlichen Themen aus dem RIPS-Pool in der Hauptkomponente von GISterm zu einer individuellen Karte kombinieren, die anschließend als Textur für den DEMViewer verwendet wird.

### 7.1.1.3 Beschreibung des DEMViewers

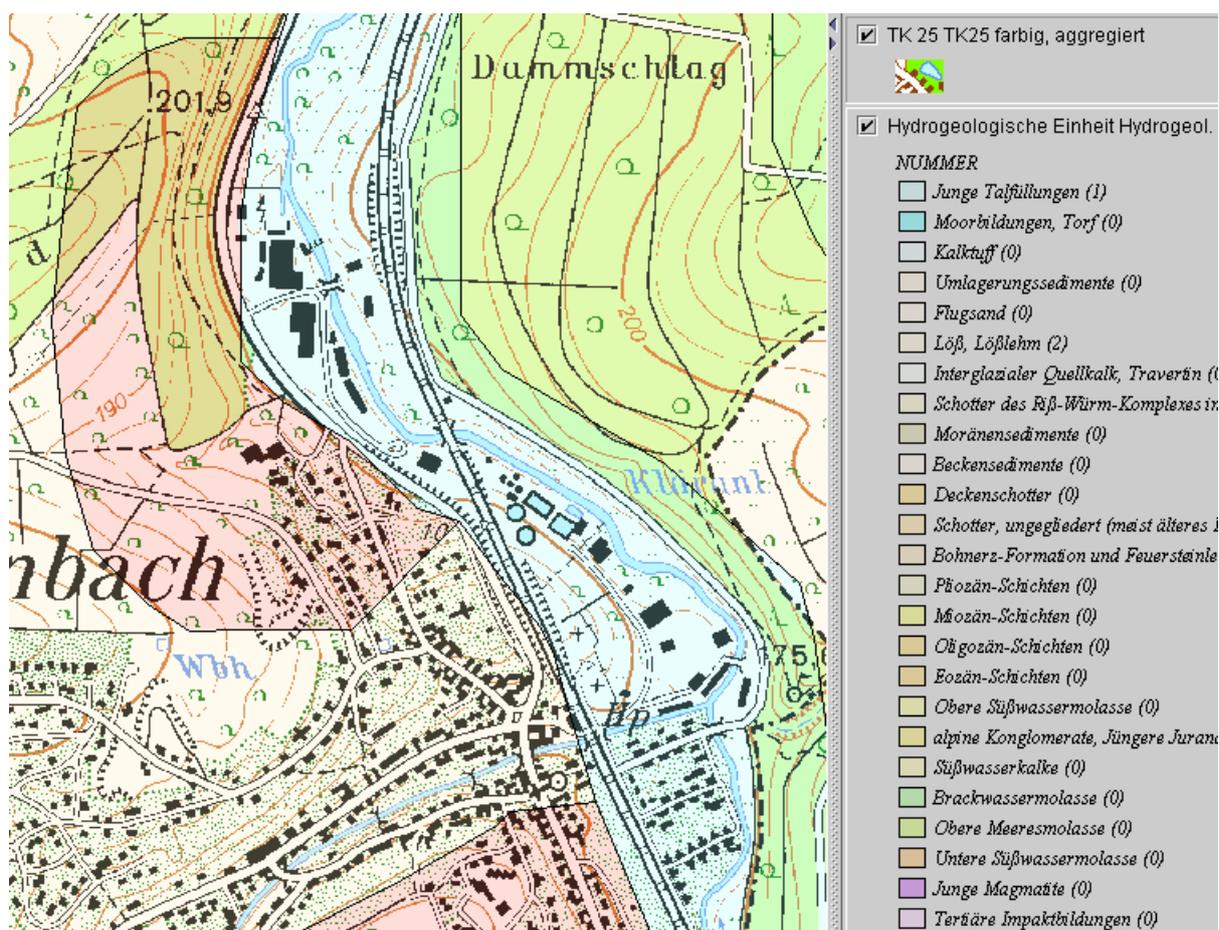


Abbildung 7.5: Individuell erzeugte 2D-Karte auf Basis der TK 25

Aus dem Datenbestand der RIPS-Datenbank kann der Umweltfachangestellte in GISterm individuelle Karten zusammenstellen, die Themen enthalten, die Hilfestellungen für die Lösung von fachspezifischen Aufgaben geben (siehe Abbildung 7.5).

Mit Hilfe des DEMViewers kann so eine individuelle Karte dreidimensional dargestellt werden. Dafür ist der DEMViewer direkt in das 3D-Menü der Hauptkomponente GISterm integriert (siehe Abbildung 7.6 (a)).

Für die Verwendung des DEMViewers lädt der Anwender den zu bearbeitenden Kartenausschnitt in die Kartenansicht von GISterm und wählt die Funktion „Digitales Geländemodell öffnen“. Dadurch öffnet sich ein Benutzerdialog.

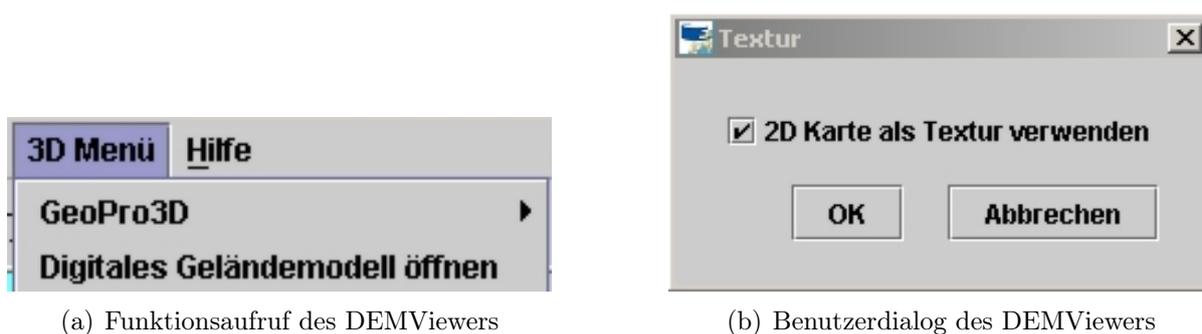


Abbildung 7.6: User-Interface des DEMViewers

Der DEMViewer bietet dem Anwender zwei verschiedene Darstellungsmöglichkeiten für Geländeoberflächen: Eine geschummerte Darstellung der Geländeoberfläche oder eine texturierte Darstellung der Geländeoberfläche, bei der die geladene Karte als Textur verwendet wird (siehe Abbildung 7.7). Die Entscheidung über die Darstellungsart trifft der Anwender im Benutzerdialog (siehe Abbildung 7.6 (b)).



Abbildung 7.7: Geländeoberfläche ohne (links) und mit Textur (rechts)

Hat sich der Anwender entschieden, wird das digitale Geländemodell, das in der Auflösung zur Größe des gewählten Gebietes passt, aus der Datenbank geladen und in einer 3D-Szene visualisiert. Abbildung 7.8 zeigt eine mit dem DEMViewer erzeugte 3D-Szene einer texturierten Kartendarstellung.

Das dargestellte Geländeobjekt kann vom Betrachter mit Hilfe der Navigationsfunktionen visuell analysiert werden. Interessiert sich der Anwender für die Visualisierung benachbarter Gebiete, können diese mit Hilfe der Funktion „Nachladen neuer Geländeteile“ geladen werden (siehe Abschnitt 6.2.4.2).

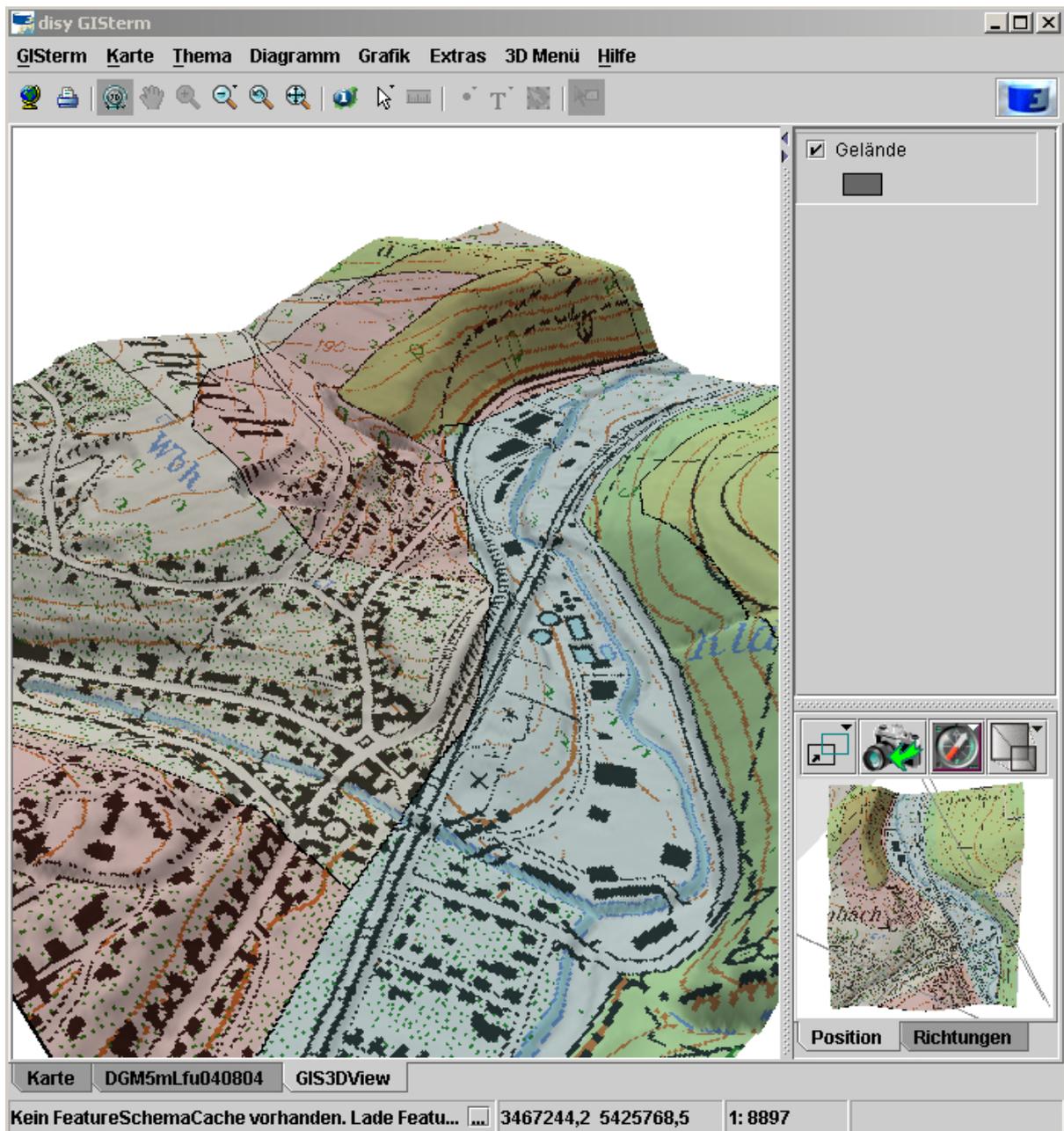


Abbildung 7.8: DEMViewer-Szene

#### 7.1.1.4 Technische Realisierung innerhalb von GIS3DView

Damit die Umweltverwaltungen den DEMViewer direkt benutzen können, wurde der Funktionsaufruf des DEMViewers in die 3D-Service-Klasse `GIS3DService` integriert, die auch die Schnittstelle zur GIS3DView Hauptkomponente realisiert.

Die Generierung individueller Kartenthemen ist Teil der Basisfunktionalität von GIS3DView. Diese Funktion kann von den Anwendern des DEMViewers direkt mitbenutzt werden und muss nicht entwickelt werden.

Deshalb wird im `GIS3DService` lediglich ein Benutzerdialog aufgerufen, der durch die Klasse `DEMViewerDialog` repräsentiert ist (siehe Abbildung 7.9). Der Dialog ermittelt die

Ausdehnung des darzustellenden Gebietes aus der 2D-Kartendarstellung, die in GIS-Term repräsentiert wird. Dann startet der Dialog den DEMGenerator, der mit Hilfe des Height-Service eine Verbindung zur RIPS-Datenbank herstellt, die Daten des passenden Geländemodells lädt und sie anschließend visualisiert (siehe Abschnitt 6.2.2.3).

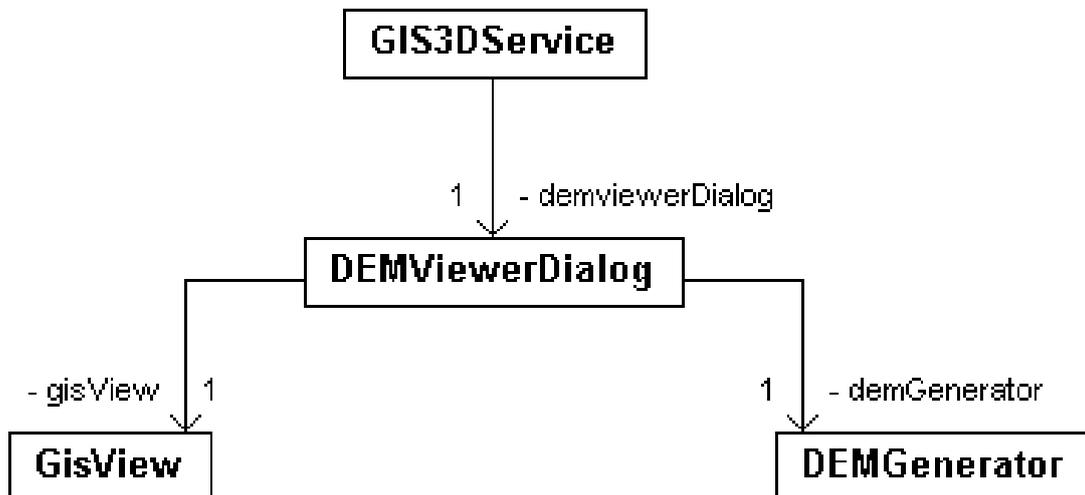


Abbildung 7.9: Klassendiagramm des DEMViewers

#### 7.1.1.5 Ansätze zur Realisierung einer Internetversion des DEMViewers

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit Aspekten, die bei der Portierung des DEMViewers auf eine Internetversion beachtet werden sollten.

**Die Hauptzielgruppe einer Internetversion des DEMViewers sind Privatanwender.** Da Privatanwender im Allgemeinen keine GIS-Erfahrung besitzen, sollte der Internet-DEMViewer nicht die volle Funktionalität von GIS-Term enthalten, sondern einfach zu bedienen sein. Ein großes Problem sind außerdem die Zugriffsrechte auf die verschiedenen Daten für unterschiedliche Anwender. Aus rechtlichen Gründen muss festgelegt werden, welche Datenbestände der RIPS-Datenbank dem Privatanwender zur Verfügung gestellt werden können.

Das bedeutet, dass für die Realisierung einer Internetversion des DEMViewers nicht nur die technische Seite untersucht werden muss, sondern auch ein Nutzungskonzept für Privatanwender erstellt werden muss. Diese Untersuchung sollte in zukünftigen Projekten realisiert werden.

**Die Untersuchung der technischen Realisierungsmöglichkeiten einer Internetversion des DEMViewers** ist unabhängig von der Erzeugung eines Nutzungskonzeptes. In dieser Richtung wurden bereits Tests durchgeführt.

Mit Hilfe von *Java Web Start* ist es möglich Applikationen für die Anwendung im Internet zu portieren [SUN MICROSYSTEMS 2005]. Anwendungen können mit Hilfe des Java Web Start Anwendungsmanagers auf den Rechner geladen und ausgeführt werden. Welche Dateien für die Ausführung des Programms geladen werden müssen, wird in einer Konfigurationsdatei festgelegt. Aus Sicherheitsgründen müssen alle Dateien ein Zertifi-

kat besitzen, das die Herkunft der Dateien eindeutig einem Entwickler zuordnet. Der Anwender eines Programms kann entscheiden, ob er die Dateien mit einem bestimmten Zertifikat akzeptiert und ihnen Zugriff auf seinen Rechner gewährt.

Diese Technik kann für die Portierung des DEMViewers ins Internet benutzt werden. Alle Dateien, die der DEMViewer benötigt, müssen in der Konfigurationsdatei angegeben werden:

- Dateien, die die Komponenten von GISterm enthalten.
- Dateien, die die Komponenten von GISterm 3D enthalten, die zur Realisierung des DEMViewers notwendig sind. Das sind der 3D-Service und der Height-Service.
- Dateien, die für die 3D-Visualisierung benötigt werden, also Java 3D.
- Anwendungsdateien, also die Dateien des Internet-DEMViewers.

Bei den bisherigen Tests wurden die benötigten Komponenten testweise zertifiziert und in der Konfigurationsdatei definiert. Dadurch konnten sie mit Hilfe von Java Web Start geladen werden.

Im Rahmen der Tests wurde ein kleines Programm entwickelt, das den Zugriff auf die RIPS-Datenbank realisiert und die Höhe eines Punktes aus den Daten des digitalen Geländemodells interpoliert. Das Testprogramm besitzt zur Zeit weder Oberflächenkomponenten noch Mittel zur Visualisierung von Daten.

Die nächsten Schritte für die technische Realisierung einer Internetversion des DEMViewers wären die folgenden:

1. Entwicklung einer einfachen Oberflächenkomponente für den DEMViewer.
2. Generierung einer virtuellen Welt, die in der Oberflächenkomponente visualisiert wird.
3. Die Visualisierung einer geschummerten Geländeoberfläche in der virtuellen Welt.
4. Die Realisierung des Zugriffs auf 2D-Kartenthemen aus der RIPS-Datenbank zur Erzeugung einer Textur.
5. Die Visualisierung einer texturierten Geländeoberfläche.

#### **7.1.1.6 Evaluierung des DEMViewers**

Die für die Fachangestellten entwickelte Lösung des DEMViewers wird bereits im Rahmen des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg in Verwaltungsdienststellen eingesetzt. Sie wurde im Rahmen der UIS-Fachanwendungen UIS-CD 4.0.0 im Dezember 2004 in der beschriebenen Fassung ausgeliefert und steht allen Nutzern von GISterm zur Verfügung.

Der DEMViewer bietet den Nutzern des UIS eine schnelle Möglichkeit zur dreidimensionalen visuellen Analyse eines vorher definierten Gebietes. Die Ausführung der Funktion

ist sehr einfach gestaltet. Der Nutzer ruft lediglich einen Menüpunkt auf und bestätigt im einfachsten Fall den Dialog. Es werden keine zusätzlichen Angaben benötigt. Die Erzeugung der 3D-Szene erfolgt automatisch und der Nutzer kann sich auf die visuelle Analyse des Geländeobjekts konzentrieren. Diese schnelle und realistische Beurteilung der Form des Geländes ist mit herkömmlichen 2D-Kartendarstellungen nicht möglich.

Die Größe der visualisierten Geländeobjekte des DEMViewers ist an die Leistung eines handelsüblichen PCs angepasst. Auf dem Testrechner, einem AMD Athlon XP 2000 mit einer guten Graphikkarte (GeForce4 Ti42000), können Geländeobjekte inklusive Textur mit bis zu 250 000 Punkten performant dargestellt werden. Damit sind sie für die meisten visuellen Aufgabestellungen groß genug. Dennoch entsteht beim Nutzer der Wunsch, ein größeres Gebiet einsehen zu können. Die Nachladefunktion schafft bedingt Abhilfe, indem der Nutzer die Möglichkeit erhält, in der erzeugten 3D-Szene neue Geländeteile in Interessenrichtung nachzuladen. Dabei wird das bis dahin visualisierte Gebiet ersetzt. Das Nachladen neuer Geländeobjektteile benötigt ca. 10 - 15s. Für die reine Exploration von Landschaften ist der DEMViewer deshalb weniger gut geeignet.

Der Fokus im Rahmen von 3D-Umweltvisualisierungen liegt aber auf der Analyse eines Gebiets, dessen Dimension vor der Visualisierung festgelegt wird. Durch die automatische Lieferung der zur Gebietsausdehnung passenden Auflösung mit Hilfe des Height-Service, garantiert der DEMViewer eine Erstansicht mit sehr guter Performanz beim Handling des Geländeobjektes und ist damit für die visuelle Analyse des Interessengebietes gut geeignet.

Wie die durchgeführten Tests zeigen, ist die Entwicklung einer Internetversion des DEMViewers grundsätzlich möglich. Die Internetversion könnte im Rahmen eines neuen Projektes realisiert werden.

### **7.1.2 Grundwasservisualisierung mit GeoPro<sup>3D</sup> - Ein Anwendungsbeispiel aus der Hydrogeologie**

GeoPro<sup>3D</sup> ist eine fachspezifische Anwendung zur Visualisierung der Grundwassersituation in Baugebieten. Eine mit GeoPro<sup>3D</sup> erzeugte 3D-Szene stellt die Geländeoberfläche und natürliche Elemente, wie Grundwasserschichten und geologische Schichten, in den Zusammenhang mit Elementen der Technosphäre. Mit Hilfe der Visualisierung sollen Konflikte zwischen den Grundwasserschichten und den Objekten der Technosphäre, also zum Beispiel Gebäuden und Trassen, aufgedeckt werden. Das heißt, eine GeoPro<sup>3D</sup>-Szene visualisiert einen komplexen umweltrelevanten Sachverhalt, der in der Wirklichkeit so nicht sichtbar ist. Da die Visualisierung der Entscheidungsfindung dient, muss die Szene trotz der komplexen Darstellung für den Anwender leicht verständlich sein.

#### **7.1.2.1 Anwendungsgebiete und Nutzertypen**

Der Kreis der Anwender von GeoPro<sup>3D</sup> ist von Beginn an festgelegt. Die Anwender sind Sachbearbeiter in der Umweltverwaltung, die mit Grundwasserfragen betraut sind. Ihnen soll GeoPro<sup>3D</sup> bei der Entscheidungsfindung helfen.

Wie beim DEMViewer sind auch für GeoPro<sup>3D</sup> Kenntnisse aus dem Umweltbereich,

aus dem GIS-Bereich und dem 3D-Visualisierungsbereich notwendig. Die Sachbearbeiter der Umweltverwaltung besitzen ausgeprägte Kenntnisse aus dem Umweltbereich und sind außerdem mit GIS vertraut, besitzen also GIS-Erfahrung. Kenntnisse von 3D-Visualisierungen aus dem privaten Erfahrungsbereich sind denkbar, können aber nicht vorausgesetzt werden (siehe Tabelle 7.3).

	Angestellte
Umweltkenntnisse	ja
GIS-Kenntnisse	ja
3D-Kenntnisse	vielleicht

Tabelle 7.3: Kenntnisse der potentiellen GeoPro<sup>3D</sup>-Nutzer

### 7.1.2.2 Datengrundlage

Für die Realisierung einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene werden verschiedene Arten von Daten benötigt und zwar einerseits Informationen für die Modellierung der natürlichen Elemente wie die Grundwasserschichten, die geologischen Schichten und die Geländeoberfläche und andererseits Informationen über die Objekte der Technosphäre.

GeoPro<sup>3D</sup> bezieht die notwendigen Daten und Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen:

**Die RIPS-Datenbank** enthält umweltrelevante Themen und Geobasisdaten. Für GeoPro<sup>3D</sup> sind besonders die Geobasisdaten interessant.

Für die Visualisierung der Geländeoberfläche in GeoPro<sup>3D</sup> werden die in der RIPS-Datenbank vorgehaltenen digitalen Geländemodelle benutzt. Die Ausdehnung einer typischen GeoPro<sup>3D</sup>-Szene führt häufig zur Verwendung des hochgenauen Geländemodells in der Auflösungsstufe 5m. Diese Auflösung bietet einerseits für das Verständnis der 3D-Szene genügend Details und kann andererseits ein größeres Gebiet darstellen, als mit der 1m-Auflösung möglich wäre.

Informationen über die Lage der Objekte der Technosphäre bieten die Daten der ALK, die ebenfalls im RIPS-Pool enthalten ist. Außerdem enthält der RIPS-Pool topographische Karten und Luftbilder, die als Texturen für das digitale Geländemodell benutzt werden können. Damit können zusätzliche Informationen in die 3D-Szene integriert werden.

**Analoge Karten und Pläne** werden zusätzlich für die Erzeugung der Objekte der Technosphäre benötigt, da GeoPro<sup>3D</sup> besonders für die Analyse von Baugebieten angewendet werden soll. Objekte, die noch nicht existieren, sind in der ALK nicht enthalten. Deshalb benötigt der Anwender analoge Pläne mit Informationen über die Lage und Größe künftig entstehender Objekte. Die Informationen über diese Objekte werden in GeoPro<sup>3D</sup> von Hand interaktiv in Benutzerdialogen angegeben.

**Die Grundwasserdatenbank (GWDB)** speichert die Daten von ca. 5400 Grundwassermessstellen (ca. 2800 Beschaffenheitsmessstellen + ca. 2600 Grundwasserstandmessstellen), die im Landesmessnetz von Baden-Württemberg, betrieben von der Landesanstalt für Umweltschutz und den Gewässerdirektionen, enthalten sind [SCHMID et al. 2000]. In der Datenbank wird eine große Anzahl von Gütemesswerten (z.B. Nitrat und pH-Werte) und Mengenmesswerten (z.B. Grundwasserstände und Quellschüttungen) vor-

gehalten und permanent fortgeschrieben. Außerdem enthält die Grundwasserdatenbank Informationen über hydrogeologische Schichten an den Bohrlöchern der Grundwassermessstellen.

Aus den Mengennesswerten können die Grundwasserstände berechnet werden, die GeoPro<sup>3D</sup> für die Visualisierung benötigt. Außerdem verwendet GeoPro<sup>3D</sup> die Informationen über die hydrogeologischen Schichten.

### 7.1.2.3 Beschreibung von GeoPro<sup>3D</sup>

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Funktionsweise von GeoPro<sup>3D</sup>.

**Die Integration der 3D-Anwendung in für den Anwender bekannte Umgebungen** ist ein Ziel bei der Realisierung von fachspezifischen Anwendungen.



Abbildung 7.10: GeoPro<sup>3D</sup>-Menü in GIS term

Die WAABIS Fachanwendung Grundwasser, entwickelt vom Institut IITB der Fraunhofer Gesellschaft, bietet Funktionen für die Verwaltung von Stammdaten und Messwerten der Grundwassermessstellen, Funktionen für statistische Auswertungen der Daten, Funktionen für die Erzeugung von Umweltberichten und Funktionen für den Daten-Import und -Export [SCHMID et al. 2000]. Die Datengrundlage dieser Funktionen sind die Daten aus der Grundwasserdatenbank für Baden-Württemberg. Sachbearbeiter in der Umweltverwaltung, die mit Gewässerfragen beauftragt sind, verwenden diese Fachanwendung. Außerdem ist GIS term als Visualisierungskomponente in die Grundwasseranwendung integriert. Deswegen wurde GeoPro<sup>3D</sup> in der Fachanwendung Grundwasser als Erweiterung von GIS term integriert, indem das GIS term 3D-Menü durch ein GeoPro<sup>3D</sup>-Menü erweitert wurde (siehe Abbildung 7.10). Damit hat GeoPro<sup>3D</sup> einerseits Zugriff auf die Funktionen von GIS term und kann andererseits gleichzeitig mit Hilfe von Funktionen der Grundwasseranwendung auf die notwendigen Daten der Grundwasserdatenbank zugreifen.

**Für die Erzeugung einer 3D-Szene benötigt GeoPro<sup>3D</sup>** verschiedenartige Informationen:

- Die Lage und Größe der zu bearbeitenden Region
- Die Textur für die Geländeoberfläche

- Die zu bearbeitenden Grundwassermessstellen
- Die Lage und Ausdehnung der Objekte der Technosphäre

Diese Informationen müssen GeoPro<sup>3D</sup> im Verlauf der Bedienung zur Verfügung gestellt werden.

Zu Beginn lädt der Nutzer die zu bearbeitende Region in eine 2D-Kartenansicht von GIStern und definiert damit die Ausdehnung der Geländeoberfläche der zu generierenden 3D-Szene. Durch Hinzufügen von Themen aus der RIPS-Datenbank in die 2D-Karte erzeugt der Anwender eine individuelle Textur für diese Geländeoberfläche.

Außerdem spezifiziert der Nutzer die Grundwassermessstellen der ausgewählten Region mit Hilfe der Grundwasseranwendung und lädt sie in die Kartenansicht von GIStern (siehe Abbildung 7.11).

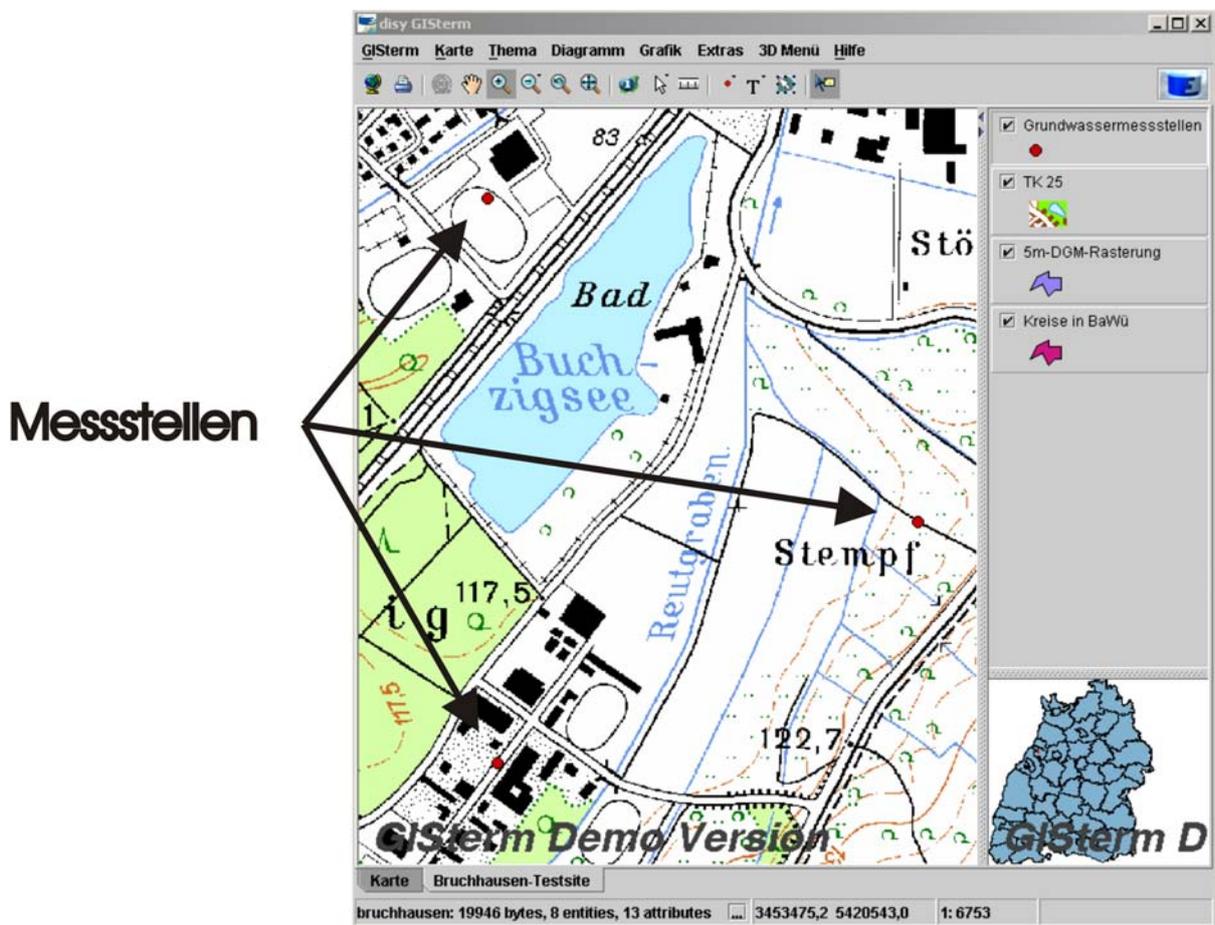


Abbildung 7.11: GIStern-Kartenansicht (TK 25) mit Grundwassermessstellen, Karten aus [LFU 2005a]

Jetzt wählt der Anwender die Funktion „Neues Projekt erstellen“ im GeoPro<sup>3D</sup>-Menü und öffnet dadurch einen Benutzerdialog (siehe Abbildung 7.12).

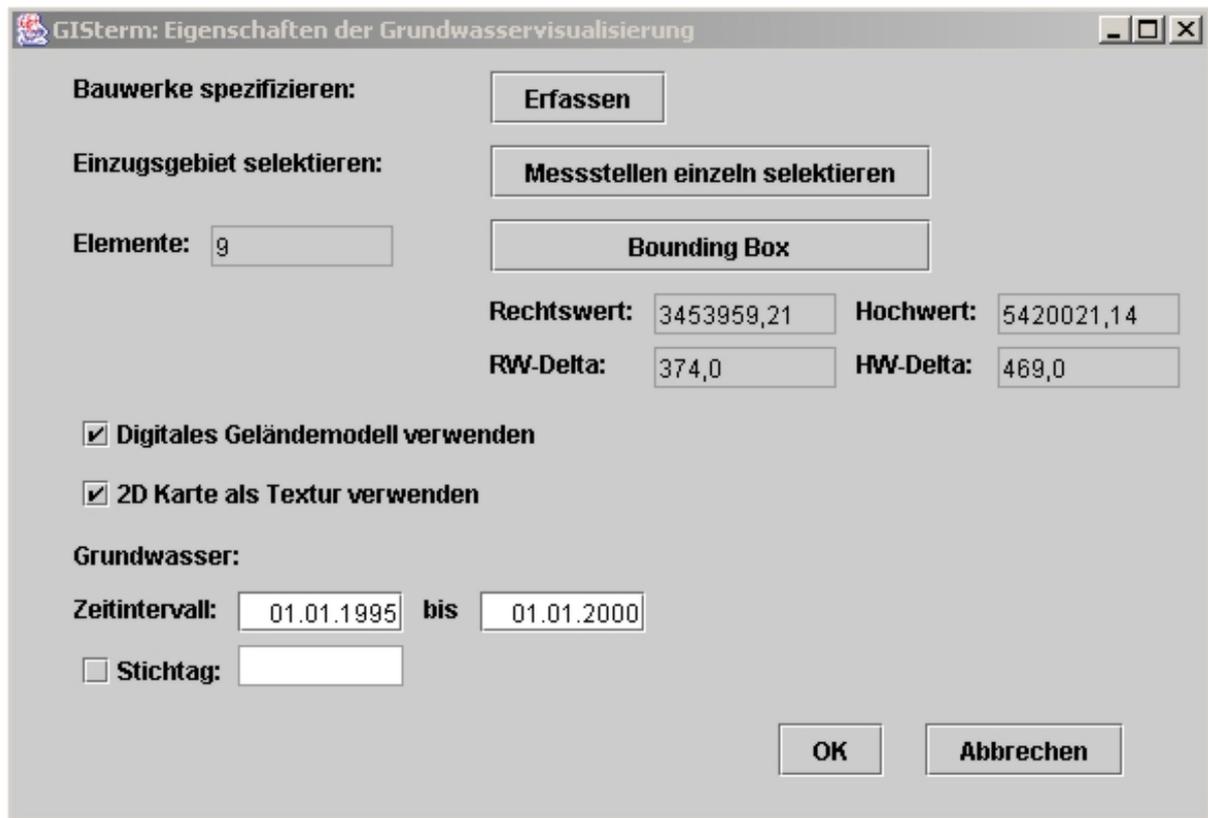


Abbildung 7.12: Benutzerdialog für die Erzeugung einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene

In diesem Dialog werden die restlichen Informationen für GeoPro<sup>3D</sup> spezifiziert: Zunächst einmal muss das Einzugsgebiet für die GeoPro<sup>3D</sup>-Szene festgelegt werden, das heißt, der Anwender selektiert die Grundwassermessstellen, die für die Erzeugung der Szene verwendet werden sollen. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten:

- Entweder wählt der Anwender die relevanten Messstellen einzeln mit Hilfe der Pickfunktion aus den geladenen Messstellen aus („Messstellen einzeln selektieren“). Dabei können einzelne Messstellen in einer Region bewusst ausgespart werden,
- oder er definiert eine Bounding-Box mit Hilfe eines graphischen Rechtecks. Alle Messstellen aus der GWDB, die sich in den Grenzen des Rechtecks befinden, werden für die Visualisierung in der 3D-Szene ausgewählt. Die Ausdehnung des Rechtecks und die Anzahl der gewählten Messstellen wird im Benutzerdialog angezeigt.

Wichtig ist auch die Visualisierung der Geländeoberfläche. Der Anwender kann entweder das digitale Geländemodell aus dem RIPS-Pool verwenden („Digitales Geländemodell verwenden“), oder alternativ die Geländeoberfläche aus Oberflächenhöhen der Grundwassermessstellen triangulieren lassen. Das digitale Geländemodell aus dem RIPS-Pool kann außerdem mit der aktuell angezeigten 2D-Karte als Textur versehen werden („2D Karte als Textur verwenden“).

Die Wasserstände der Grundwassermessstellen werden regelmäßig abgefragt und in die Grundwasserdatenbank eingetragen. Das heißt, die GWDB enthält zu den einzelnen Messstellen viele Daten, die nicht gleichzeitig visualisiert werden können. Deshalb muss der

Nutzer ein Zeitintervall festlegen für das die Grundwasserstandsflächen mit Hilfe der statistischen Funktionen der Grundwasseranwendung interpoliert werden. Von der Grundwasseranwendung werden für die Visualisierung in GeoPro<sup>3D</sup> drei Grundwasserstände für das angegebene Zeitintervall ermittelt, da durch die Veränderungen der klimatischen Bedingungen der Grundwasserspiegel schwankt. Der minimale Grundwasserstand, der mittlere Grundwasserstand und der maximale Grundwasserstand des Zeitraumes werden interpoliert. Außerdem kann eine zusätzliche Grundwasserschicht für einen bestimmten Stichtag abgefragt werden. Dies ist zum Beispiel für Tage interessant, an denen Hoch- oder Niedrigwasserereignisse stattfanden, um deren Einfluss auf das Grundwasser zu visualisieren.

Außerdem müssen Informationen über die Technosphären-Objekte ermittelt werden. Für die Erfassung der Bauwerke wird ein zweiter Benutzerdialog (siehe Abbildung 7.13) benutzt.

**GeoPro3D: Bauwerkserfassung**

Name des Bauwerkslayer:

**Gebäude erfassen**

Gebäude 12 Gebäude 13 Gebäude 14 Gebäude 15 Gebäude 16  
 Gebäude 6 Gebäude 7 Gebäude 8 Gebäude 9 Gebäude 10 Gebäude 11  
 Gebäude 1 Gebäude 2 Gebäude 3 Gebäude 4 Gebäude 5

Höhe:  Tiefe:  Geländehöhe:   Gebäudehöhe interpolieren

Pktnr.	x	y
1	3453879.7807331714	5420256.145480352
2	3453927.72194456	5420265.364944082
3	3453925.878051814	5420274.58440781

**Trasse erfassen**

Trasse 1 Trasse 2 Trasse 3

Höhe:  Tiefe:  Breite:   Trassenhöhe interpolieren

Pktnr.	x	y	z
1	3454005.16543988	5420363.091259604	0.0
2	3453971.975370457	5420261.67715859	0.0
3	3453940.62919378	5420151.043593847	0.0
4	3453922.190266323	5420106.79016795	0.0
5	3453903.7513388656	5420069.912313036	0.0

OK Abbrechen

Abbildung 7.13: Benutzerdialog zur Digitalisierung der Baustellen

In diesem Dialog kann der Nutzer einen Namen für den späteren Layer der Technosphärenelemente spezifizieren. Außerdem werden mit Hilfe der Funktionen des Dialoges Gebäude und Trassen definiert.

Für die Generierung von 3D-Gebäude-Objekten sind verschiedene Informationen notwendig. Die grundlegende Form des Gebäudes wird durch den Grundriss festgelegt, der als Umriss in der 2D-Karte digitalisiert werden kann („Gebäude erfassen“). Durch die Digitalisierung werden die Koordinaten der Eckpunkte des Gebäudes festgelegt, das heißt, die Lage des Gebäudes ist in der x,y-Ebene definiert und georeferenziert. Die z-Koordinate, also die Geländehöhe des Gebäudes, kann entweder angegeben oder für den Mittelpunkt der umgebenden Bounding Box des Gebäudes aus den Daten des digitalen Geländemodells interpoliert werden. Entscheidend für die dreidimensionale Modellierung des Gebäudes ist letztendlich die Höhenausdehnung des Gebäudes. Dabei wird die Höhe von der Tiefe unterschieden, damit das Gebäude relativ zur Geländehöhe richtig positioniert werden kann.

Für die Generierung von 3D-Trassen-Objekten ist der Trassenverlauf das entscheidende Geometrieelement. Der Verlauf der Trasse wird in der 2D-Karte mit Hilfe von Stützpunkten digitalisiert („Trasse erfassen“). Die Lage der Trasse ist damit ebenfalls in der x,y-Ebene festgelegt. Damit sich der Trassenverlauf der Geländeform anpasst kann die Geländehöhe der Stützpunkte entweder aus den Daten des digitalen Geländemodells interpoliert oder manuell für jeden Stützpunkt der Trasse angegeben werden. Damit die Trasse als dreidimensionales Objekt dargestellt werden kann, muss der Anwender zusätzlich Angaben über die Breite, Höhe und Tiefe der Trasse machen.

Alle digitalisierten Objekte der Technosphäre werden in der Kartenansicht von GISterm in einem Layer dargestellt (siehe Abbildung 7.14).

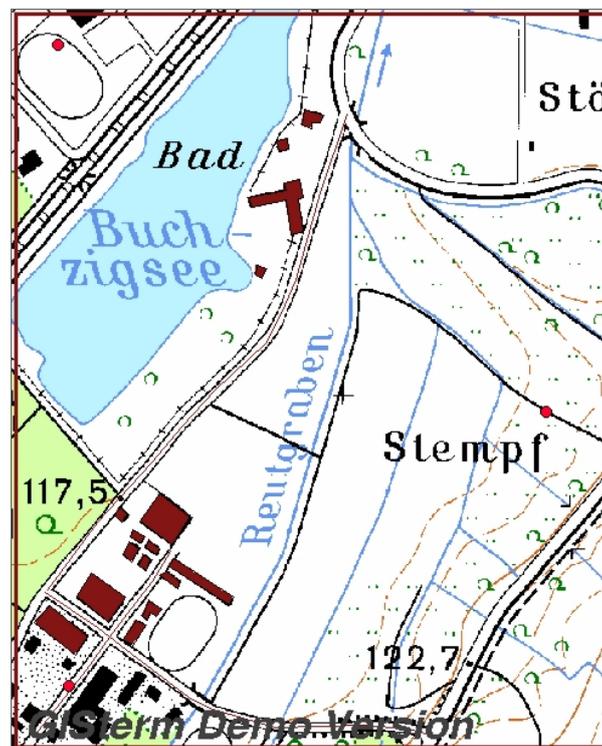


Abbildung 7.14: Digitalisierte Objekte (weinrot) in der GISterm-Kartenansicht (TK 25)

Die in den Benutzerdialogen zusammengetragenen Informationen werden für die Generierung der 3D-Objekte der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene verwendet.

Die fertig generierte GeoPro<sup>3D</sup>-Szene ist in Abbildung 7.15 abgebildet und enthält mehrere 3D-Layer mit den folgenden Elementen:

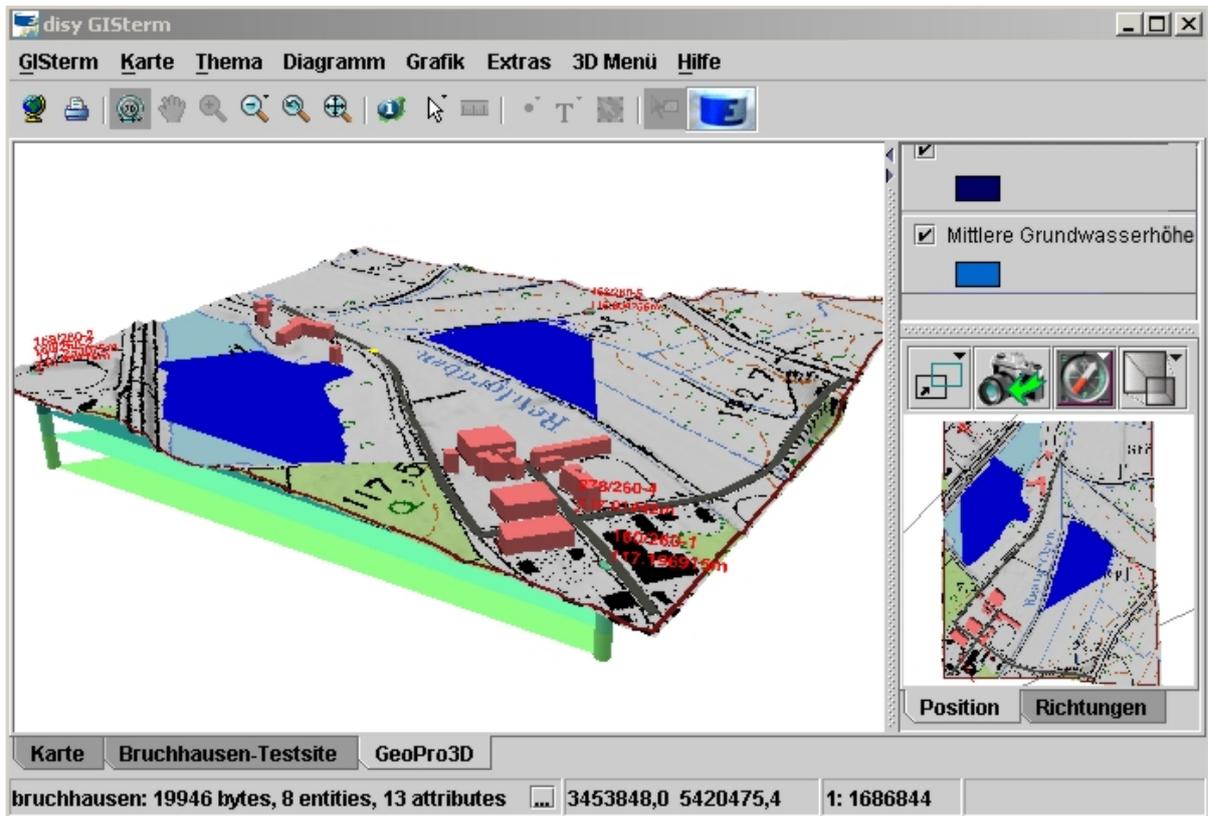


Abbildung 7.15: GeoPro<sup>3D</sup>-Szene (Beschreibung siehe unten)

- Ein 3D-Layer enthält das Geländeoberflächenobjekt, das durch die Verwendung einer Textur entweder die wirklichkeitsnahe Darstellung der 3D-Szene erhöhen kann (Verwendung eines Luftbilds als Textur) oder zusätzliche Informationen enthalten kann (Verwendung einer topographischen Karte als Textur).
- Die Grundwassermessstellen werden durch Bohrlöcher visualisiert und mit Textelementen gekennzeichnet, die die ID der Messstelle aus der GWDB und die Geländehöhe enthalten. Rote Punkte kennzeichnen die genaue Position der Messstelle. Die einzelnen Bohrlöcher sind in verschiedene hydrogeologische Schichten unterteilt.
- Der Grundwasserstand wird mit Hilfe von drei Grundwasserschichten in drei 3D-Layern visualisiert, nämlich der maximalen, mittleren und minimalen Grundwasserstandsschicht. Die Tiefe des Grundwasserstandes an der Position der Messstellen (Stützpunkte) wird mit Hilfe der Funktionen der Grundwasseranwendung im angegebenen Zeitraum ermittelt. Durch Triangulation der Stützpunkte anhand ihrer Lageinformationen und Zuweisung der Tiefe des Grundwasserstandes im Höhen-system ( $\equiv$  Geländehöhe - Grundwassertiefe) als z-Koordinate wird ein 3D-Objekt

erzeugt. Wurde ein Stichtag angegeben, wird für diese Schicht ein weiterer Layer erzeugt.

- Als zusätzliche Information enthält die GeoPro<sup>3D</sup>-Szene verschiedene Layer mit hydrogeologischen Schichten, die bei den Bohrungen der ausgewählten Grundwassermessstellen festgestellt und in die GWDB eingetragen wurden. In der Visualisierung wird die untere Begrenzung einer Schicht als 3D-Flächenobjekt visualisiert. Das 3D-Objekt wird ebenfalls mit Hilfe der Lageinformationen der Stützpunkte trianguliert. Die Tiefe der Stützpunkte berechnet sich folgendermaßen: Geländehöhe - Tiefe der unteren Begrenzung der Schicht.
- In einem weiteren Layer werden die digitalisierten Gebäude und Trassen dargestellt. Der überirdische Teil der Gebäude ist rot. Die Farbe repräsentiert die rote Farbe von bebauten Gebieten in topographischen Karten. Der unterirdische Teil der Gebäude besteht aus mehreren Schichten von einem Meter Dicke, die in verschiedenen Grautönen abgestuft sind, wobei die Grautöne die Wertstufen eines Kontinuums bilden [HAKE und GRÜNREICH 1994b]. Dadurch kann visuell abgeschätzt werden, in welcher Tiefe die Gebäude von anderen Objekten geschnitten werden. Der oberirdische Teil der Trassen ist anthrazit und ähnelt einem Straßenbelag in der Wirklichkeit. Der unterirdische Teil besteht, wie bei den Gebäuden, aus mehreren Schichten von einem Meter Dicke in verschiedenen Grautönen.

**Für die Analyse der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene** stehen dem Anwender verschiedene Interaktionstechniken zur Verfügung.

Die meisten Interaktionstechniken wurden bereits im Abschnitt 6.2.4 des 3D-Service diskutiert. Alle dort vorgestellten Interaktionstechniken können für die Analyse der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene verwendet werden. Außerdem wird in der dortigen Unterteilung der Interaktionen eine Gruppe von UIS-spezifischen Interaktionen erwähnt, die für die Verwendung in speziellen fachlichen Anwendungen ausgerichtet sind, nämlich die anwendungsspezifischen Interaktionsarten. Die Interaktionsarten dieser Kategorie müssen für jede fachspezifische Anwendung individuell entwickelt werden.

Für die Analyse der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene wurden mehrere Interaktionsfunktionen dieser Kategorie entwickelt, die soweit möglich allgemeinere Interaktionsfunktionen mitbenutzen:

- *Baustellen-Clipping:*

Ein wesentlicher Aspekt von GeoPro<sup>3D</sup> ist das Aufdecken von Konflikten zwischen Grundwasserschichten und Objekten der Technosphäre, also im Fall von GeoPro<sup>3D</sup> Gebäuden und Trassen. In welcher Tiefe ein Gebäude oder eine Trasse durch eine Grundwasserschicht geschnitten wird, kann anhand der Farbschichten des unterirdischen Teils der Objekte erkannt werden. Trotzdem ist die Analyse der Baustellenobjekte nicht einfach, da die vielen anderen Objekte der 3D-Szene die Sicht beeinflussen und die Konzentration des Betrachters auf die relevanten Objekte erschweren. Deswegen wurde für GeoPro<sup>3D</sup> die Funktion des Baustellen-Clippings entwickelt. Bei dieser Interaktionsform wird die allgemeine Interaktionsfunktion des Picking mit der allgemeinen Clipping-Funktion kombiniert (siehe Abschnitt 6.2.4.1).

Der Nutzer selektiert zuerst die relevanten Baustellenobjekte mit der allgemeinen Selektionsfunktion. Durch Aktivierung der Funktion „Baustelle ausschneiden“ im

GeoPro<sup>3D</sup>-Menü werden die Baustellenobjekte aus der 3D-Szene ausgeschnitten und im 3D-Ansichtsfenster in Großansicht dargestellt. Jetzt kann der Betrachter leicht die Schnitthöhen der verschiedenen Schichten an den Baustellenobjekten abschätzen (siehe Abbildung 7.16).

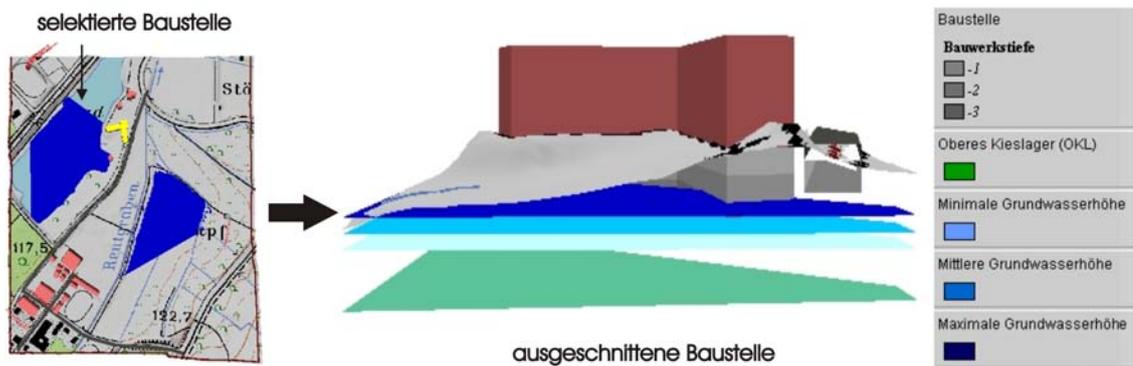


Abbildung 7.16: Baustellen-Clipping

- *Messstellen-Clipping:*

Neben der genauen Analyse der Baustellenobjekte ist auch die genaue Analyse der Bohrlöcher der Grundwassermessstellen interessant. Deswegen wurde die Funktion des Messstellen-Clippings entwickelt, bei der ebenfalls die allgemeine Interaktionsform des Picking mit der allgemeinen Clipping-Funktion kombiniert wird.

Der Anwender selektiert die für ihn relevanten Bohrlöcher im Messstellenlayer. Durch Aktivierung der Funktion „Selektionsbereich ausschneiden“ im Kontextmenü des Messstellenlayer werden die ausgewählten Messstellen aus der 3D-Szene ausgeschnitten und im 3D-Ansichtsfenster in Großansicht dargestellt (siehe Abbildung 7.17). Dabei ist es sinnvoll einzelne oder nah beieinander liegende Messstellen auszuwählen, damit der ausgeschnittene Bereich nicht zu groß wird.

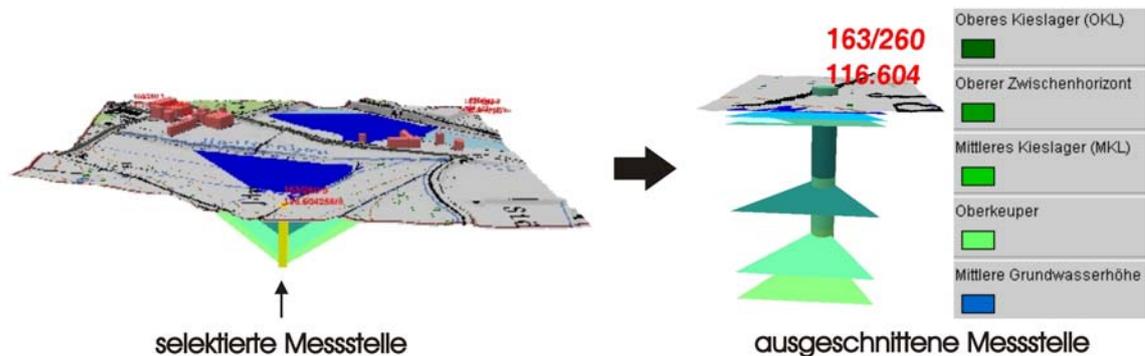


Abbildung 7.17: Messstellen-Clipping

- Erzeugung von *Trassenquerprofilen:*

Mit Hilfe der UIS-spezifischen Interaktionsfunktion zur Erzeugung von 2D-Profilen können in allen mit dem 3D-Service erzeugten 3D-Umweltvisualisierungen, wie auch in GeoPro<sup>3D</sup>, 2D-Profilansichten erzeugt werden. Für GeoPro<sup>3D</sup> ist noch eine weitere

Form der Profilerzeugung interessant, nämlich die Generierung von Trassenquerprofilen. Dafür wurde die allgemeine Interaktionsform des Picking mit der Erzeugung von 2D-Profilen kombiniert und anschließend anwendungsspezifisch erweitert (siehe Abschnitt 6.2.4.3).

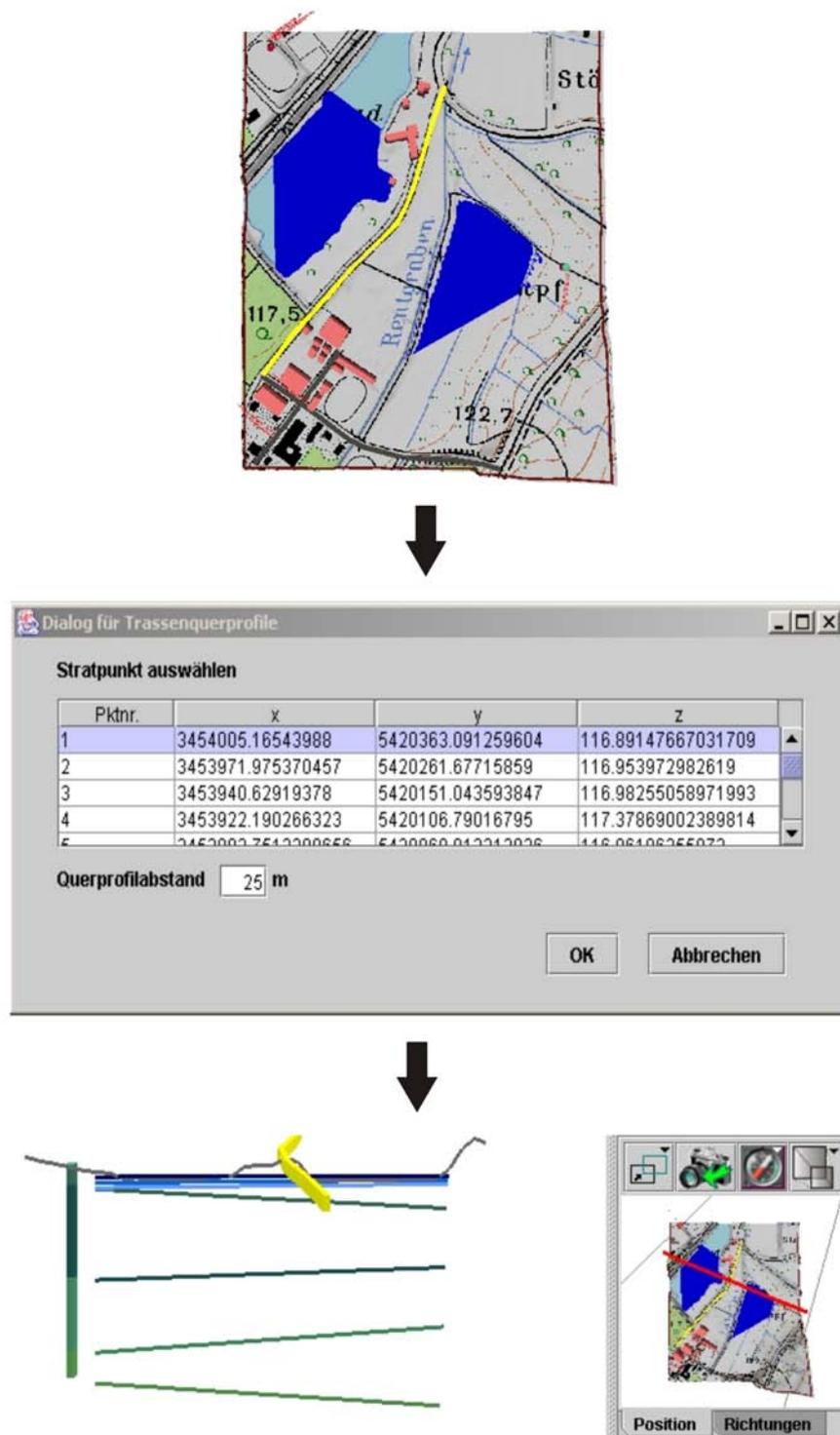


Abbildung 7.18: Erzeugung von Trassenquerprofilen

Möchte der Nutzer Querprofile für eine Trasse erzeugen, muss er zuerst das entsprechende Trassenobjekt aus der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene mit der gewohnten Selektionsfunktion auswählen (siehe Abbildung 7.18 oben). Durch Aktivieren der Funktion „Querprofile für Trassen erstellen/entfernen“ im Untermenü Profilerstellung des GeoPro<sup>3D</sup>-Menüs öffnet sich ein Benutzerdialog (siehe Abbildung 7.18 Mitte). Die im Dialog angezeigten Punkte repräsentieren die Stützpunkte des Trassenverlaufes. Der Anwender wählt den Stützpunkt, von dem aus die Querprofilbildung gestartet werden soll. Außerdem muss der Benutzer den Abstand zwischen den einzelnen zu berechnenden Profilen angeben. Anschließend startet er die Berechnung des ersten Querprofils. Das Profil wird im rechten Winkel zum linienförmigen Verlauf der Trasse erzeugt. Ist die Berechnung abgeschlossen, werden die Oberflächenelemente ausgeblendet und die Querprofile eingeblendet (siehe Abbildung 7.18 unten). Die Position der Trasse ist im Querprofil gelb gekennzeichnet. Das Übersichtsfenster zeigt die komplette 3D-Szene mit Trasse und aktueller Querprofilposition in rot. Weitere Profile entlang des Trassenverlaufes können mit Hilfe der Funktionen „Nächstes Querprofil anzeigen“ oder „Vorhergehendes Querprofil anzeigen“ erzeugt werden. Es wird das in Visualisierungsrichtung nächste bzw. vorhergehende Profil im angegebenen Profilabstand berechnet. Ist der Abstand zum nächsten Trassenstützpunkt kleiner als der Profilabstand, wird zuerst das Profil im Stützpunkt berechnet und visualisiert. Wird bei der fortschreitenden Profilberechnung ein Trassenende erreicht, wird das Profil im Endpunkt als letztes visualisiert.

- *Regenerierung der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene:*

Bei der Analyse einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene stellt der Betrachter eventuell fest, dass entweder Elemente in der 3D-Szene fehlen oder Objekte in der Szene enthalten sind, die für die aktuelle Fragestellung nicht benötigt werden. Deswegen besitzt GeoPro<sup>3D</sup> anwendungsspezifische Interaktionsfunktionen zur Manipulation von GeoPro<sup>3D</sup>-Szenen:

- Hinzufügen von Messstellen beim Laden von neuen Geländeteilen:



Abbildung 7.19: DGM-Nachlade-Menü im Übersichtsfenster

Das Nachladen neuer Geländeteile funktioniert für das in GeoPro<sup>3D</sup> geladene Geländeobjekt wie gewohnt. Das DGM-Nachlade-Menü im Übersichtsfenster wird von GeoPro<sup>3D</sup> zusätzlich mit der Option „Messstellen nachladen“ ergänzt (siehe Abbildung 7.19).

Aktiviert der Anwender diese Funktion, so lädt GeoPro<sup>3D</sup> beim Nachladen neuer Geländeteile automatisch die dort vorkommenden Grundwassermessstellen. Die Bohrlöcher und die dazugehörigen hydrogeologischen Schichten werden erweitert.

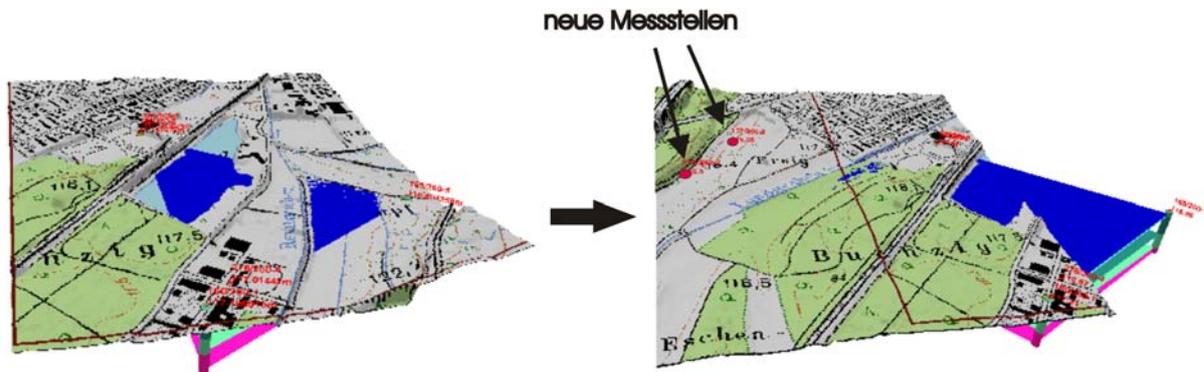


Abbildung 7.20: Nachladen von Messstellen und Gelände mit Hilfe des Übersichtsfensters

Das linke Bild in Abbildung 7.20 zeigt die Ursprungsszene. Das rechte Bild in Abbildung 7.20 zeigt die geänderte Szene, in der das Gelände und eine neue Messstelle nach links nachgeladen wurden.

- Hinzufügen von Messstellen in der 2D-Karte:  
Häufig möchte der Nutzer bestimmte ihm bekannte Messstellen nachladen. Dafür steht dem Anwender im Baustellen-Layer der 2D-Kartenansicht ein Benutzerdialog zur Verfügung. Das Erscheinungsbild des Benutzerdialoges ist an des Erscheinungsbild des Dialogs angelehnt, der zum Erzeugen der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene benutzt wird. Mit Hilfe des Dialogs können neue Messstellen in der Kartenansicht von GISterm ausgewählt werden.

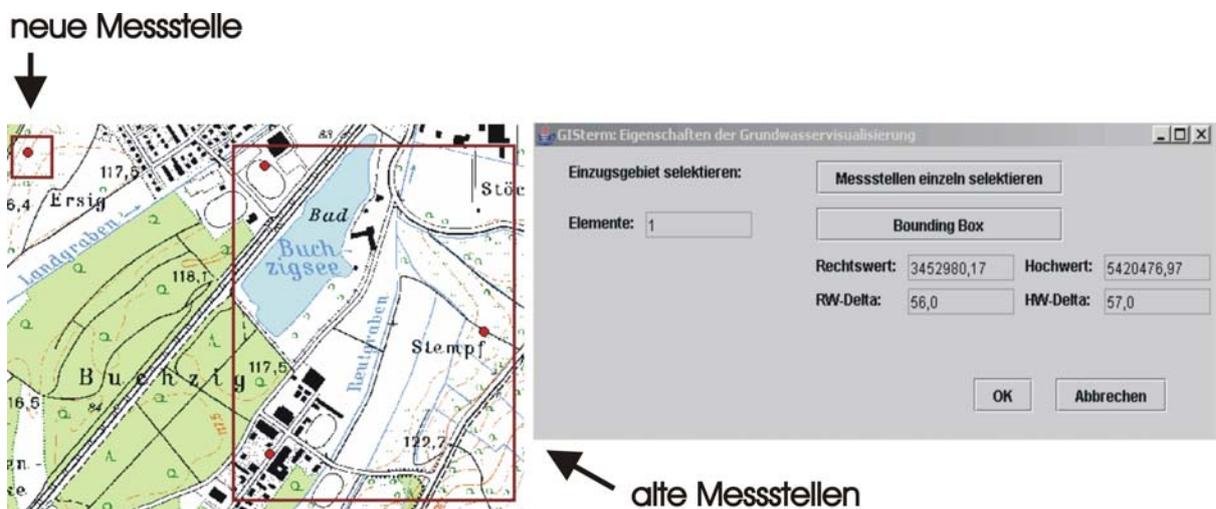


Abbildung 7.21: Auswahl neuer Messstellen in der 2D-Karte

Die Kartenansicht von Abbildung 7.21 zeigt eine kleine und eine große Bounding-Box. Die große Box zeigt die Ausdehnung der schon generierten GeoPro<sup>3D</sup>-Szene, während die kleine Box eine neu nachzuladende Messstelle enthält. Sie wurde mit Hilfe des Benutzerdialogs ausgewählt. Durch Bestätigung mit dem OK-Button wird die neue Messstelle erzeugt und in die ursprüngliche GeoPro<sup>3D</sup>-Szene geladen. Das Geländeoberflächenobjekt bleibt in diesem Fall unverändert (siehe Abbildung 7.22).



Abbildung 7.22: Ergänzung der Szene durch in der 2D-Karte gewählte neue Messstellen

– Löschen von Messstellen:

Neben dem Hinzufügen von neuen Messstellen ist auch das Löschen von Messstellen für den Anwender von Interesse.

Die Messstellen, die gelöscht werden sollen, werden zuerst mit der gewohnten Picking-Funktion selektiert und anschließend durch einen Funktionsaufruf gelöscht. Mit den gelöschten Messstellen wird auch das entsprechende Oberflächenteilstück des dazugehörigen hydrogeologischen Layers entfernt (siehe Abbildung 7.23).

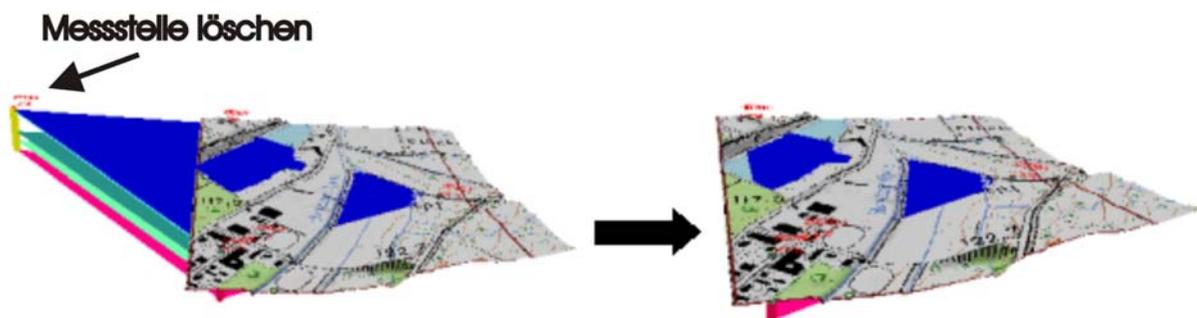


Abbildung 7.23: Löschen von Messstellen

### 7.1.2.4 Technische Realisierung

Dieser Abschnitt beschreibt die technische Realisierung von GeoPro<sup>3D</sup>.

**Die Integration von GeoPro<sup>3D</sup> in die Grundwasseranwendung und GISterm** wird mit Hilfe von zwei Schnittstellen realisiert.

Die Grundwasseranwendung ist wie GISterm und GISterm 3D in Java entwickelt. Sie enthält das Paket `de.bwl.uis.gwdb.geschaeftsobjekte` in dem Klassen und Methoden beschrieben werden, welche die Grundwassermessstellen repräsentieren. Mit Hilfe dieser Schnittstelle kann auf die Grundwasserstandsdaten und hydrogeologische Daten in der GWDB zugegriffen werden.

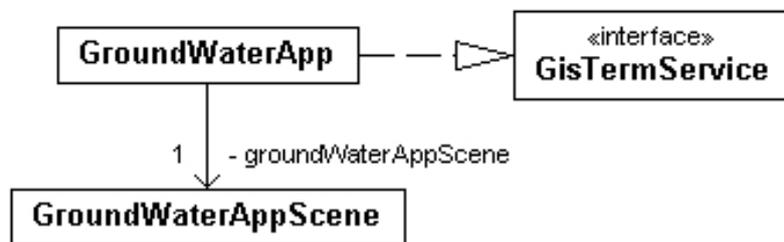


Abbildung 7.24: Integration von GeoPro<sup>3D</sup> in GISterm

Die Integration von GeoPro<sup>3D</sup> in GISterm wird mit Hilfe der GISterm-Service-Schnittstelle realisiert. Die Klasse `GroundWaterApp` implementiert diese Schnittstelle (`GisTermService`), erweitert das 3D-Menü von GISterm um ein GeoPro<sup>3D</sup>-Menü, das die Funktionen von GeoPro<sup>3D</sup> enthält, und erzeugt mit Hilfe der Klasse `GroundWaterAppScene` eine GeoPro<sup>3D</sup>-Szene (siehe Abbildung 7.24).

**Bei der Erzeugung der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene** ist `GroundWaterAppScene` die zentrale Klasse (siehe Abbildung 7.25). Sie erzeugt den Benutzerdialog zur Erstellung der Szene: `ConstructionSiteDialog`. Dieser wiederum realisiert die Erfassung der Objekte der Technosphäre mit Hilfe eines weiteren Benutzerdialogs: `ComplexConstructionSiteDialog`.

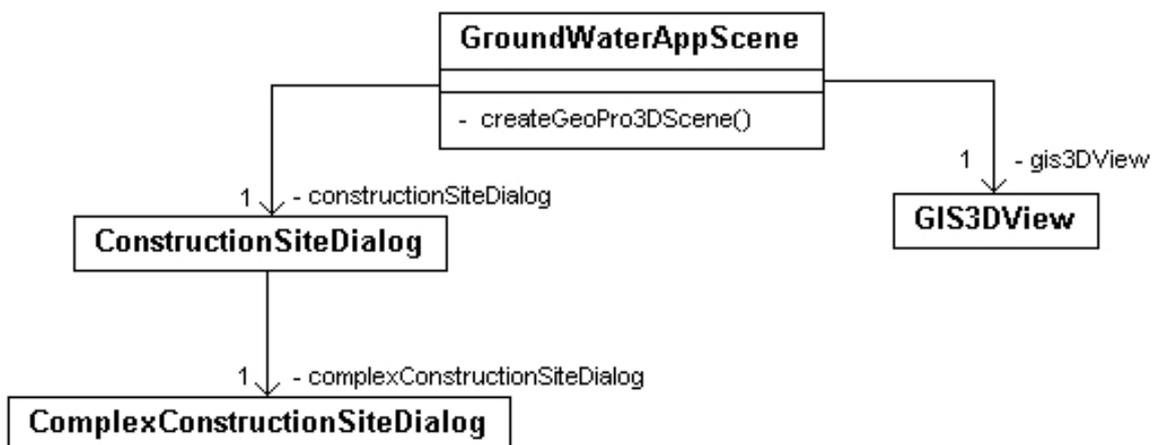


Abbildung 7.25: Erzeugung einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene

Mit Hilfe der Informationen aus den Benutzerdialogen beschafft sich `GroundWaterAppScene` die notwendigen Daten, um die Elemente der `GeoPro3D`-Szene zu erzeugen. Die Daten aus der GWDB werden mit Hilfe der Schnittstelle der Grundwasseranwendung abgefragt.

`GroundWaterAppScene` erzeugt mit Hilfe der Klassen und Methoden des 3D-Service eine virtuelle Welt (`GIS3DView`). Der Inhalt der virtuellen Welt wird in der Methode `createGeoPro3DSzene` erzeugt. Die einzelnen Elemente werden im nächsten Absatz beschrieben.

**Die Elemente der `GeoPro3D`-Szene** werden mit Hilfe folgender Methoden erzeugt (siehe Abbildung 7.26):

- **`createDEMLayer`:**  
In der Methode `createDEMLayer` wird mit Hilfe des Height-Service auf die digitalen Geländemodelle der RIPS-Datenbank zugegriffen und aus den erhaltenen Daten ein `TerrainLayer3D` erzeugt, der das fachbezogene Geländeoberflächenobjekt `TerrainFeatureProxy3D` enthält.
- **`createTerrainLayer3D`:**  
Die Methode `createTerrainLayer3D` wird benutzt, wenn die digitalen Geländemodelle nicht für die Erzeugung einer Geländeoberfläche verwendet werden sollen. Dann wird die Geländeoberfläche aus den Höheninformationen der Grundwassermessstellen erzeugt.  
Das 3D-Objekt wird im `MeasPointLayer3D` erzeugt, der von der Klasse `IrregularSurfaceLayer3D` abgeleitet wird. Der `MeasPointLayer3D` enthält ein `IrregularSurfaceFeatureProxy3D`-Objekt, das aus der Lageinformation der Messstellen die Geometrie des Objektes trianguliert und die z-Koordinaten der Objektstützpunkte mit den z-Koordinaten der Messstellen belegt.
- **`createBoreholes`:**  
In der Methode `createBoreholes` wird ein `BoreholeLayer` erzeugt. Dieser Layer enthält die einzelnen Grundwassermessstellen, die durch die fachbezogenen Objekte der Klasse `BoreholeFeatureProxy3D` dargestellt werden.
- **`createPointLayer`:**  
Die Methode `createPointLayer` erzeugt die Klasse `MeasPointLayer3DCreator`, in der die Punkte, die die genaue Lage der Grundwasserstelle markieren, mit Hilfe der Klasse `PointLayer3D` und den darin enthaltenen Geometrieobjekten der Klasse `PointObject`, erzeugt werden.
- **`createTextHeightLayer`:**  
Die Methode `createTextHeightLayer` versieht die Bohrlöcher der Grundwassermessstellen mit der Höheninformation. Es wird ein Objekt der Klasse `MeasPointTerrainHeightLayer3DCreator` erzeugt, das die Darstellungsobjekte `TextFeatureProxy3D` erzeugt. Diese werden in einem `TextLayer3D` visualisiert.
- **`createTextIDLayer`:**  
Die Methode `createTextIDLayer` ergänzt die Bohrlöcher der Grundwassermessstellen mit der Identifikationsnummer. In der Methode wird ein Objekt der Klasse

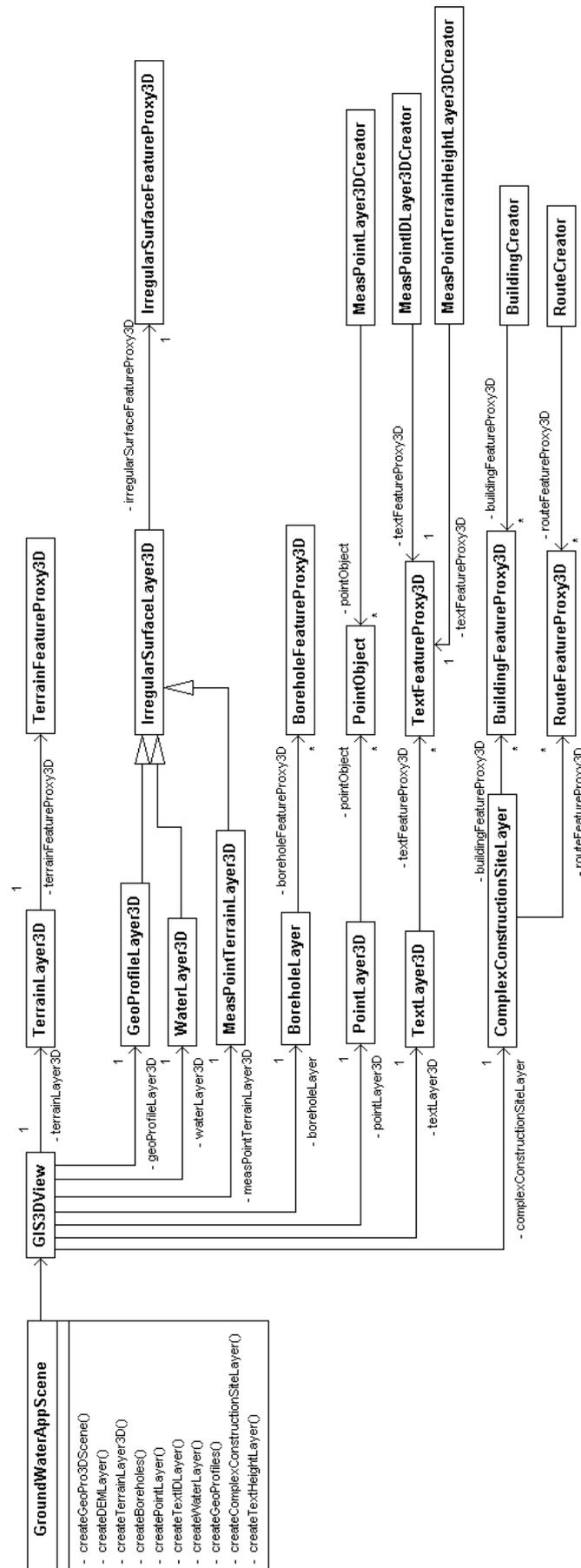


Abbildung 7.26: Elemente der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene

`MeasPointIDLayer3DCreator` erzeugt, das die Textdarstellungsobjekte der Klasse `TextFeatureProxy3D` erzeugt, die im `TextLayer3D` visualisiert werden.

- **`createWaterLayers`:**

Die Methode `createWaterLayers` erfragt den minimalen, mittleren und maximalen Grundwasserstand mit den Methoden der Grundwasseranwendung aus der GWDB. Die Grundwasseranwendung interpoliert die Werte aus dem angegebenen Zeitintervall. Die Werte für einen angegebenen Stichtag werden ebenfalls abgefragt. Anschließend wird für jeden der ermittelten Grundwasserstände ein `WaterLayer3D` erzeugt, der von `IrregularSurfaceLayer3D` abgeleitet ist, und mittels Triangulation werden für jeden Layer fachbezogene Objekte der Klasse `IrregularSurfaceFeatureProxy3D` geschaffen.

- **`createGeoProfiles`:**

Die Methode `createGeoProfiles` erfragt die in der GWDB gespeicherten hydrogeologischen Schichten der Grundwassermessstellen mit Hilfe der Methoden der Grundwasseranwendung. Für jede Schicht wird ein `GeoProfileLayer3D` (abgeleitet von `IrregularSurfaceLayer3D`) erzeugt, der mittels Triangulationen fachbezogene Objekte der Klasse `IrregularSurfaceFeatureProxy3D` generiert.

- **`createComplexConstructionSiteLayer`:**

Die Methode `createComplexConstructionSiteLayer` interpoliert bei Bedarf die Geländehöhe der zu erzeugenden Bauwerke aus den Daten des digitalen Geländemodells.

Anschließend wird ein `ComplexConstructionSiteLayer` erzeugt, der alle digitalisierten Bauwerke, also Gebäude und Trassen mit Hilfe der Klassen `BuildingCreator` und `RouteCreator` erzeugt. Die damit generierten Objekte sind Instanzen der Klassen `BuildingFeatureProxy3D` und `RouteFeatureProxy3D`.

Die erzeugten Layer werden in der Methode `createGeoPro3DScene` in den `GIS3DView` eingefügt. Damit ist die `GeoPro3D`-Szene fertig und kann analysiert werden.

**Bei der Implementierung der Interaktionsfunktionen** spielt die Klasse `GroundWaterAppScene` eine entscheidende Rolle. Diese Klasse regelt einige Zugriffe der verschiedenen Interaktionsfunktionen für die Analyse der `GeoPro3D`-Szene:

- **Baustellen-Clipping:**

Beim Aufruf der Funktion „Baustelle ausschneiden“ wird anhand der Lage ein Rechteck erzeugt, das alle selektierten Bauwerksobjekte umgibt. Dies geschieht, indem die Bounding-Boxen (`WorldVolume`) der einzelnen Bauwerke miteinander kombiniert werden. Mit Hilfe von vier Objekten der Klasse `VerticalClippingPlane`, werden vier vertikale Ebenen auf den Grenzen des `WorldVolumes` definiert. Diese Ebenen werden der allgemeinen Clipping-Funktion des 3D-Service, die in der Klasse `Clipping` realisiert ist, übergeben (siehe Abbildung 7.27). Damit wird die Baustelle ausgeschnitten und in Großansicht dargestellt.

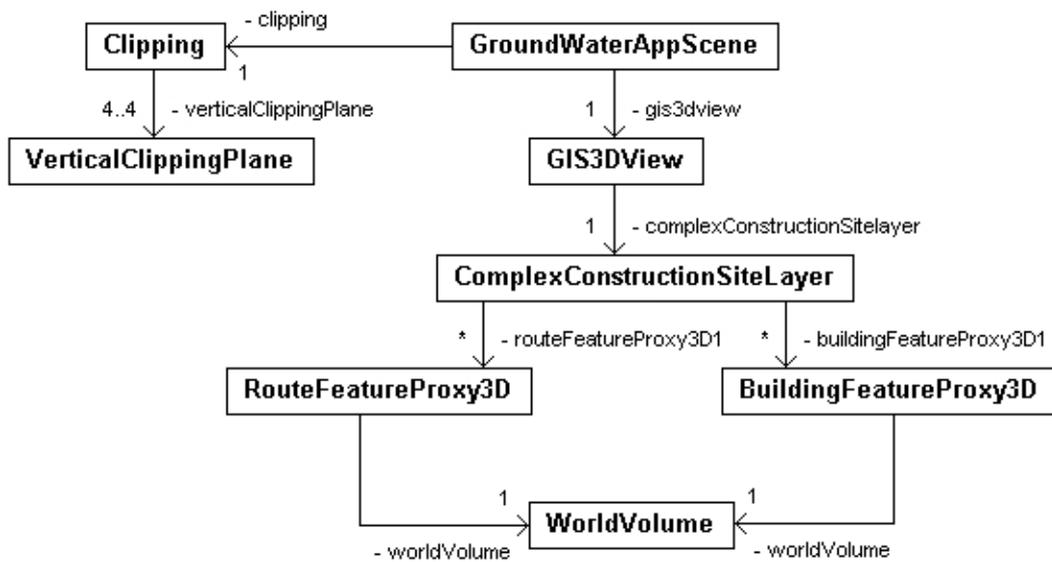


Abbildung 7.27: Baustellen-Clipping

- Messstellen-Clipping:

Der Aufruf der Funktion „Selektionsbereich ausschneiden“ des Grundwassermessstellenlayers wird in der Klasse **BoreholeLayer** behandelt. Es wird die umschließende Bounding-Box (**WorldVolume**) aller selektierten **BoreholeFeatureProxy3D**-Objekte ermittelt und die vier Ebenen (**VerticalClippingPlane**) entlang des **WorldVolumes** definiert (siehe Abbildung 7.28). Diese Ebenen werden mit Hilfe der allgemeinen Clipping-Funktion realisiert und die Messstellen werden aus der Szene ausgeschnitten und in Großansicht dargestellt.

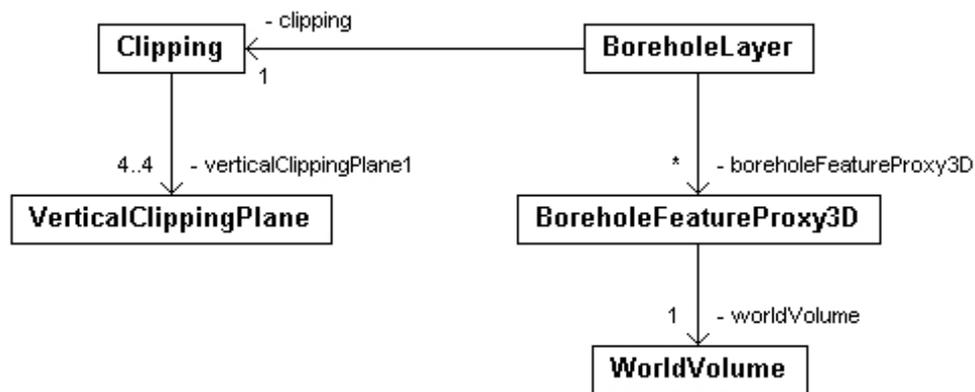


Abbildung 7.28: Messstellen-Clipping

- Erzeugung von Trassenquerprofilen:

Bei der Erzeugung der Trassenquerprofile werden die Methoden zur Erzeugung von 2D-Profilen (siehe Abschnitt 6.2.2.3) mitbenutzt.

Die Klasse **GroundWaterAppScene** generiert bei Aktivierung der Trassenquerprofilfunktion die Klasse **CrossProfileHandler**. Diese erzeugt den Benutzerdialog **CrossDirectionProfileDialog**, der Informationen über die Stützpunkte der Trasse und den gewünschten Abstand zwischen den Profilen liefert. Diese Informatio-



Abhängig von der Interaktionsfunktion wird für die Regenerierung der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene entweder in der Klasse `GWSceneViewToolBar` (Nachladen von Messstellen beim Nachladen von neuen Geländeteilen), im Benutzerdialog `ReloadMeasPointDialog` (Hinzufügen von Messstellen in der 2D-Karte), der bei Aktivierung der Funktion „Messstellen nachladen“ erzeugt wird, oder in der Klasse `BoreholeLayer` (Löschen von Messstellen) ein `ReloadMeasPointEvent` erzeugt.

`GroundWaterAppScene` reagiert auf dieses Event, lädt die neuen Messstellen mit Hilfe der Klassen der Grundwasseranwendung aus der GWDB und benachrichtigt mit Hilfe eines `GeoPro3DReloadSceneEvent` die Layer der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene, deren Inhalt geändert werden muss (siehe Abbildung 7.30). Diese Layer ändern ihren Objekthalt und damit die visualisierte GeoPro<sup>3D</sup>-Szene.

### 7.1.2.5 Evaluierung von GeoPro<sup>3D</sup>

GeoPro<sup>3D</sup> wird im Rahmen des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg in den Verwaltungsdienststellen verwendet, die WAABIS und die Grundwasseranwendung einsetzen. Die Auslieferung der beschriebenen Version fand im Rahmen der WAABIS-Auslieferung im Dezember 2004 statt.

Die Erfahrung beim Einsatz von GeoPro<sup>3D</sup> zeigt, dass bei einer komplexen Umweltanwendung zunächst vor allem das Verständnis der Objekte der 3D-Szene im Vordergrund steht.

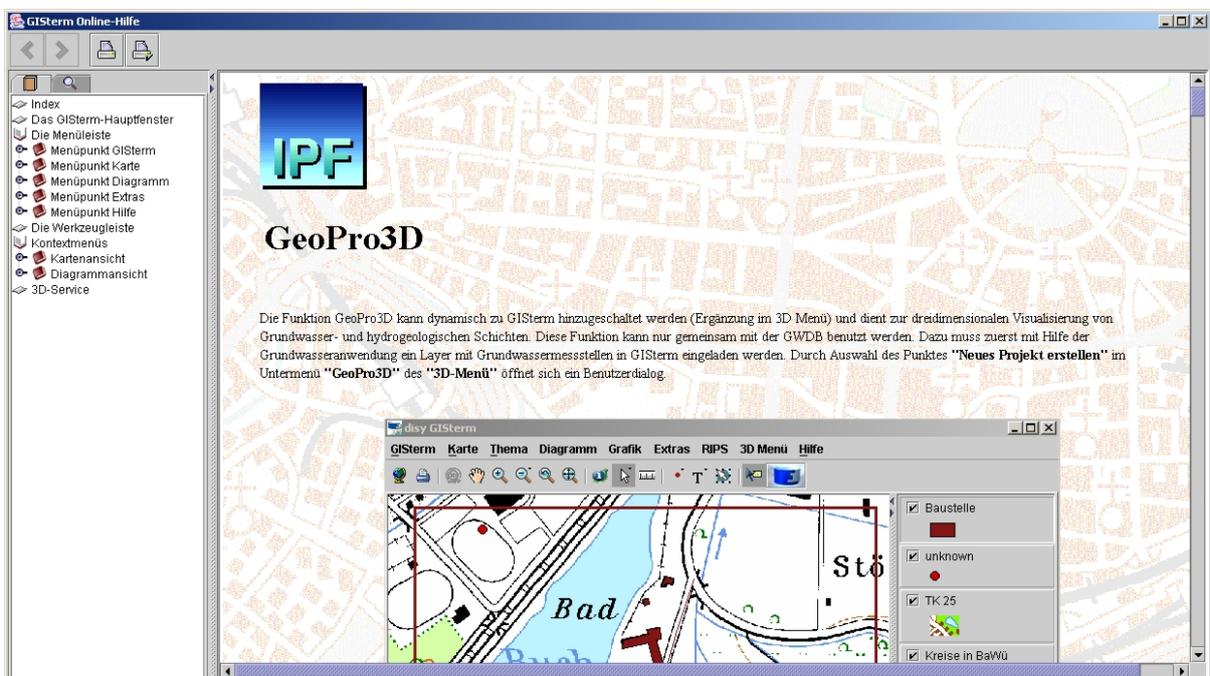


Abbildung 7.31: Online-Hilfe von GeoPro<sup>3D</sup>

Zu Beginn der Entwicklungen stand für die Realisierung der Geländeoberfläche kein digitales Geländemodell zur Verfügung. Die Oberfläche wurde behelfsweise aus den Lagein-

formationen der Grundwassermessstellen generiert. Die dadurch entstandene Geländedarstellung war allerdings viel zu ungenau und konnte nicht zum Verständnis der 3D-Szene beitragen. Die Integration der digitalen Geländemodelle, vor allem des Modells in 5m-Auflösung als Geländeoberflächenobjekt, hat das Verständnis der 3D-Szene beträchtlich erhöht. Außerdem kann mit Hilfe von Texturen entweder eine wirklichkeitsgetreue Abbildung simuliert, oder zusätzliche Informationen können in die 3D-Szene integriert werden. Die Erweiterung der Analyse der GeoPro<sup>3D</sup>-Szene durch fachbezogene Interaktionsfunktionen gibt dem Anwender außerdem die Möglichkeit, sich auf bestimmte visuelle Analyseaufgaben in der 3D-Szene zu konzentrieren. Dabei hat sich gezeigt, dass einfache Interaktionsfunktionen, wie das Ausschneiden der Bauwerke aus der 3D-Szene, einfacher zu verstehen sind als komplexe Aufgabenstellungen, wie zum Beispiel die Erzeugung eines Profils.

Unterstützung für unerfahrene Anwender bei der Erzeugung und Analyse einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene bietet die Hilfe, welche die grundlegenden Funktionen beschreibt (siehe Abbildung 7.31).

Die Performanz des Systems wurde bei der Entwicklung wie folgt getestet: Tests bei der Generierung der 3D-Szene ergaben, dass die Anmeldung an die RIPS-Datenbank und die Abfrage der Grundwasserdaten einen erheblichen Anteil an der Zeit haben, die zwischen dem Startbefehl für die Generierung der Szene und der fertig visualisierten GeoPro<sup>3D</sup>-Szene verstreicht. Nutzer der Grundwasseranwendung sind längere Wartezeiten für komplexe Abfragen von Daten aus der GWDB gewöhnt und akzeptieren die für den Aufbau einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene benötigte Zeit. Die Zeit, die für den Erstaufbau einer typischen GeoPro<sup>3D</sup>-Szene benötigt wird, beträgt im Mittel ca. 45 s. Die Erzeugung weiterer Szenen erfolgt wesentlich schneller (ca. 15 s), da die Anmeldung an die RIPS-Datenbank bereits erfolgt ist.

## 7.2 Evaluierung der Anwendungen

In den letzten Abschnitten wurden bereits Erfahrungen diskutiert, die bei der Entwicklung und Benutzung der jeweiligen Beispielanwendungen gemacht wurden.

Während des Entwicklungsprozesses wurden die Anwendungen auf Nutzbarkeit und Performance getestet. Anregungen und Kritikpunkte bei Präsentationen des Systems wurden entgegengenommen und konnten in die Entwicklung des Systems einfließen. Die Weiterentwicklung des Systems und der Funktionen wurden regelmäßig mit dem Auftraggeber abgestimmt. Die beiden Beispielanwendungen DEMViewer und GeoPro<sup>3D</sup> sind im Rahmen der WAABIS-Auslieferung in den Qualitätsmanagementprozess integriert und wurden von einem Anwender des Systems ausführlich getestet.

Der nächste Abschnitt behandelt die wichtigsten Erfahrungen, die während der Projektlaufzeit gesammelt wurden. Anschließend werden anhand von Beispielen aus den realisierten Umweltsanwendungen Vor- und Nachteile der 3D-Visualisierung erörtert.

### 7.2.1 Erfahrungen bei der Benutzung der Umweltanwendungen

Die Erkenntnisse bei der Benutzung der beiden Umweltanwendungen entstanden in unterschiedlichen Bereichen und haben verschiedene Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz der Anwendungen.

Die Anlehnung der Optik und der Funktionen des 3D-Service, an die dem Nutzer bereits bekannte Basiskomponente GIS-System, hat sich als positiv bezüglich der Akzeptanz der entwickelten Software erwiesen. Der Anwender befindet sich in einer gewohnten Umgebung. So wurde zum Beispiel die Organisation der 3D-Szene mit Hilfe der Layerverwaltung von den Nutzern sofort als einsichtig beurteilt und das Übersichtsfenster als solches erkannt. Der erste Eindruck einer 3D-Szene hat sich als wichtig für das Verständnis der Szene erwiesen. Deswegen wurde die Anfangsansicht von der Seite bei flachem Gelände nicht als ideal angesehen. Der Bereich der 3D-Ansicht, der vom Objektkinhalt ausgefüllt wird, wurde häufig als zu klein beurteilt. Deswegen sollte zukünftig die Vogelperspektive als Anfangsansicht benutzt werden.

Ebenfalls als wichtig wurde eine gute Geländedarstellung angesehen, da das Geländeobjekt einen großen Bereich der 3D-Szene ausfüllt. Die Integration der hochauflösenden Geländemodelle hat viel zum Verständnis der visualisierten Szenen beigetragen. Außerdem können mit Hilfe der Textur zusätzliche Informationen integriert werden.

Die Funktionen der Navigation wurden für die Analyse schnell verstanden. Allerdings ist die Funktion der Rotation für manche Anwender verwirrend, da sich zu Beginn der Bewegung die Kameraposition verändert. Dies sollte künftig verbessert werden.

Problematisch für die Akzeptanz des 3D-Service sind vor allem Totalabstürze von GIS-System, die von einigen Graphikkartentreibern verursacht werden. PCs, die nicht für Visualisierungszwecke vorgesehen sind, können seltene Graphikkarten oder veraltete Treiber für diese Karten enthalten. Dann kann es bei der Verwendung des 3D-Service, ausgelöst durch den falschen Treiber, zum Komplettabsturz kommen. Das Problem kann allerdings durch die Installation eines neuen Graphikkartentreibers behoben werden. Für den Einsatz der Anwendungen im UIS Baden-Württemberg existiert eine Graphikkartenempfehlung die auf Erfahrungen mit den Graphikkartenchipsätzen der Firma Nvidia basiert.

### 7.2.2 Vorteile der 3D-Visualisierungen für Umweltanwendungen

Die Verwendung von 3D-Darstellungen in Umweltanwendungen bietet viele Vorteile, wie die folgenden Beispiele aus den entwickelten Anwendungen zeigen:

- Die geometrischen Strukturen räumlicher 3D-Objekte sind darstellbar und können somit sofort analysiert werden. Abbildung 7.32 (links) zeigt einen Geländeausschnitt ohne ein Gebäudeobjekt. Das Bild zeigt lediglich den Grundriss des Gebäudes und enthält keine Information über die Höhe des Gebäudes. Abbildung 7.32 (rechts) zeigt den gleichen Ausschnitt mit einem dreidimensionalen Gebäudeobjekt, das zum Beispiel in GeoPro<sup>3D</sup> verwendet wird. Die geometrische Form des Gebäudes ist deutlich erkennbar. Mit Hilfe der Navigation der 3D-Szene kann der Nutzer das Gebäude von allen Seiten betrachten.

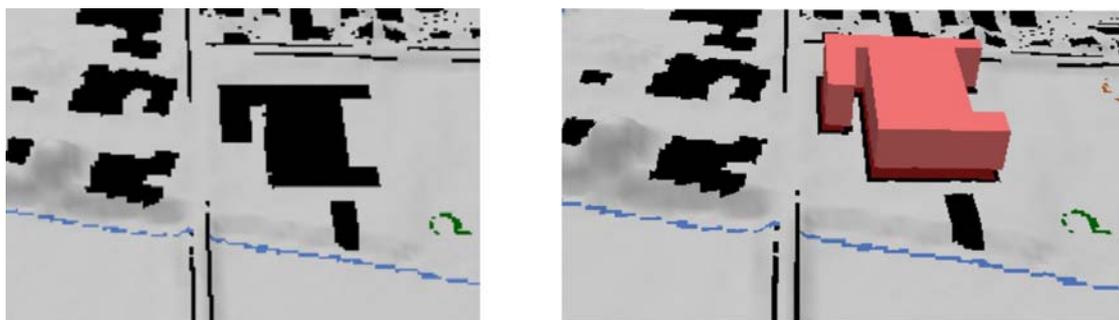


Abbildung 7.32: Geländevisualisierung ohne (links) und mit Gebäude (rechts)

- Dass räumliche 3D-Beziehungen besser erkennbar sind als in traditionellen 2D-Visualisierungen, kann gut anhand der Geländedarstellung erläutert werden. Das Gelände wird in 2D-Visualisierungen mit Hilfe von Höhenlinien dargestellt. Der Betrachter muss wissen, wie Höhenlinien zu interpretieren sind, damit er sich ein Bild der Geländeform machen kann. Mit Hilfe einer 3D-Visualisierung des Geländes erkennt der Betrachter auch ohne Vorwissen sofort die Struktur des Geländes (siehe Abbildung 7.33). Diese Art der Geländedarstellung wird sowohl im DEMViewer als auch in GeoPro<sup>3D</sup> eingesetzt.

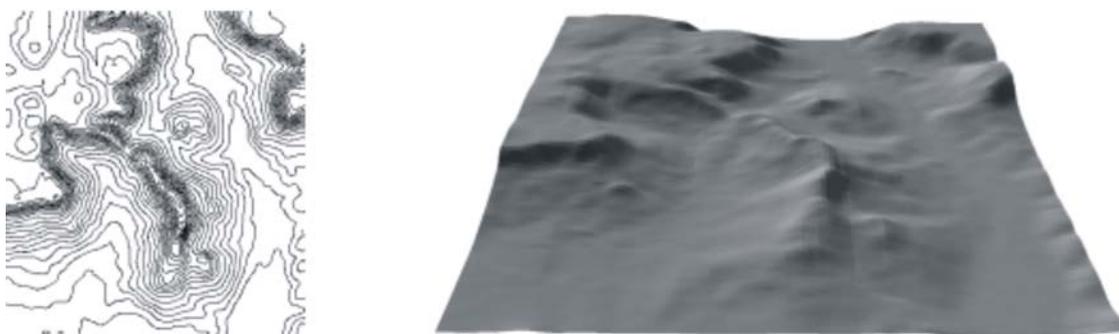
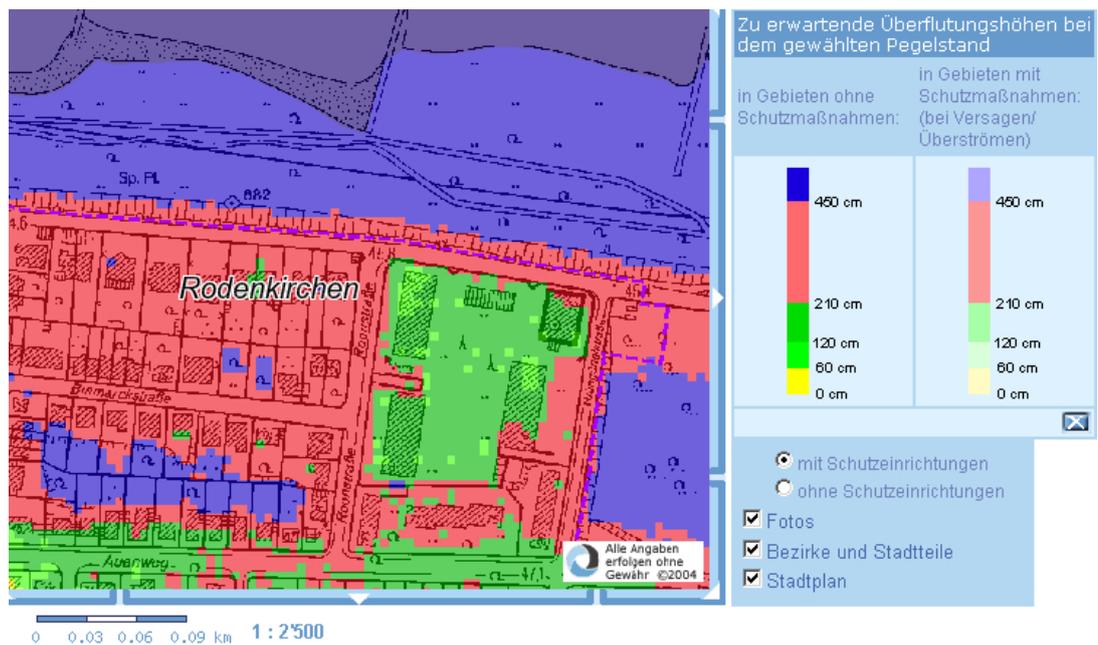


Abbildung 7.33: Die Umgebung von Teck visualisiert mit Hilfe von Höhenlinien (links ca. 1:105000) und schattierter 3D-Visualisierung (rechts)

- Die Auswirkungen bestimmter Umweltparameter können realistischer dargestellt werden als in 2D-Visualisierungen.  
So ist zum Beispiel der 'Schockeffekt' für den unerfahrenen Betrachter bei der Visualisierung des Hochwasserstandes in einer virtuellen Welt größer, als bei der bloßen Darstellung von Wasserstandslinien in einer zweidimensionalen Karte.  
Abbildung 7.34 (a) zeigt einen Ausschnitt der topographischen Karte von Köln, in der Überschwemmungsgebiete eingetragen sind. Damit kann das Gefährdungspotential einzelner Gebäude abgeschätzt werden. Abbildung 7.34 (b) zeigt eine virtuelle Szene, begrenzt auf ca. 100 \* 100 m, die mit Elementen von GeoPro<sup>3D</sup> simuliert wurde. Die visualisierten Häuser versinken im Hochwasser und geben dadurch einen plastischeren Eindruck eines Hochwasserproblems.



(a) Zweidimensionale Visualisierung von Überschwemmungsgebieten in Köln [STADT KÖLN 2005]



(b) 3D-Hochwassersimulation (ca. 100 \* 100 m)

Abbildung 7.34: Visualisierung von Überschwemmungsgebieten

- Bei der Visualisierung kann die reale Welt mit wissenschaftlichen Daten kombiniert werden. So können zum Beispiel Szenarien erschaffen werden, die in der realen Welt visuell nicht auftreten.

Die Visualisierung unterirdischer geologischer Schichten mit GeoPro<sup>3D</sup> ist ein passendes Beispiel. Die Abbildung 7.35 zeigt den Verlauf von hydrogeologischen Schichten unter der Erde.

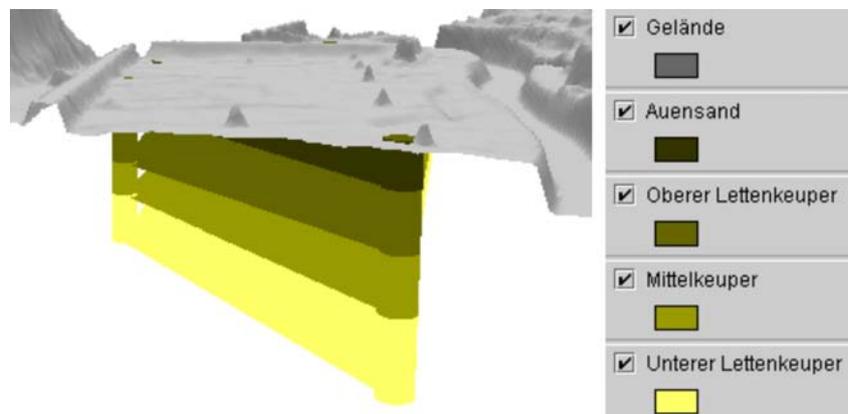


Abbildung 7.35: Hydrogeologische Schichten unter der Erde

- In der 3D-Visualisierung werden Geoobjekte auf natürlichem und oft egozentrischem Weg dargestellt. Die Darstellung ähnelt der Erfahrung des Menschen im täglichen Leben. Der Betrachter benötigt keine Legende, um die dargestellten Objekte und ihre räumlichen und nicht-räumlichen Beziehungen zu interpretieren [MENG 2003].

Diese These kann anhand von Abbildung 7.36 (links) erläutert werden. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einem Baugebiet, das mit Hilfe von GeoPro<sup>3D</sup> realisiert wurde. Die Position des Betrachters der 3D-Szene im Bild ist die gleiche wie die Position eines Menschen auf einer Straße, deshalb hat der Betrachter keine Mühe die visualisierte Situation zu verstehen, auch wenn die dargestellten Objekte den realen Objekten auf der Straße visuell nicht vollständig entsprechen. Der Betrachter erlebt einen „Eintaucheffekt“. Er fühlt sich als Teil der 3D-Szene, während er sich bei der Betrachtung von zweidimensionalen Karten (siehe Abbildung 7.36 rechts) in der Vogelperspektive befindet, die den realen Erfahrungen des Menschen üblicherweise nicht entspricht.

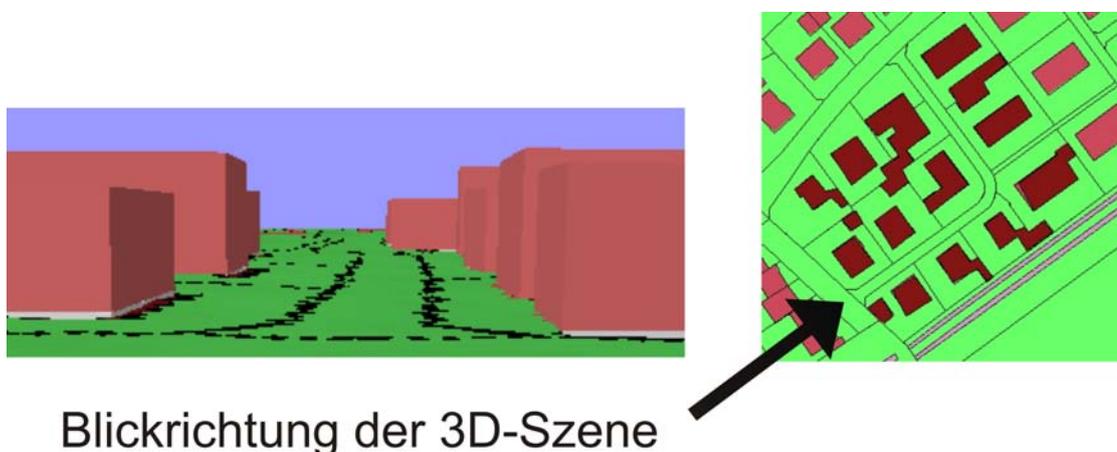


Abbildung 7.36: Dasselbe Baugebiet in 3D-Visualisierung (links) und in 2D-Karte (rechts)

- Heutzutage sind handelsübliche PCs für 3D-Visualisierungen geeignet. Alle Anwendungen, die mit den Komponenten von GISterm 3D realisiert werden können, laufen performant auf einem aktuellen PC ohne spezielle Hardwarekomponenten. Benötigt wird lediglich eine gute Graphikkarte, die auch für Computerspiele verwendet werden könnte. Aufgrund des Erfolgs der Computerspieleindustrie sind entsprechende Graphikkarten günstig und in vielen handelsüblichen PCs bereits Standard. Deshalb entstehen für die Hardware keine zusätzlichen Kosten.
- Für die Realisierung der 3D-Visualisierungen wird spezielle Software benötigt. Auf dem Markt existieren sowohl kommerzielle, als auch nicht kommerzielle Programme und Visualisierungssysteme. GISterm 3D verwendet für die Realisierung der 3D-Visualisierungen die Open-Source-Komponenten Java 3D und VisAD. Das bedeutet, dass für die Software keine weiteren Kosten entstehen.

### 7.2.3 Nachteile der 3D-Visualisierungen für Umweltanwendungen

Neben den bereits diskutierten Vorteilen von 3D-Visualisierungen in Umweltanwendungen existieren auch Nachteile, die im Folgenden diskutiert werden:

- Wir leben in der Wirklichkeit in einer realen 3D-Welt, trotzdem ist das Erkennen einer 3D-Welt auf einem 2D-Display nicht völlig einfach. Der Nutzer benötigt Tiefenhinweise, damit er die dreidimensionale Form der Objekte ableiten kann. Typische Tiefenhinweise sind [MENG 2003]:
  - Schatten oder verschiedene Farbschattierungen:  
Mit Hilfe der Schummerung oder Schattierung wird die Form von 3D-Objekten auf dem 2D-Display simuliert. Die mit dem DEMViewer generierte Abbildung 7.37 zeigt eine gebirgige Geländeoberfläche, bei der die Form der Berge durch die Schummerung erkennbar wird.

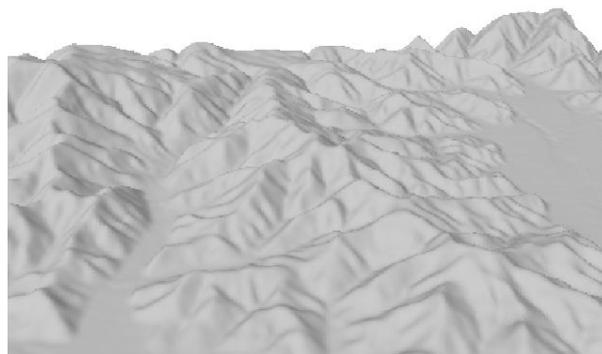


Abbildung 7.37: Visualisierung von Gebirgsgelände mit Hilfe von Schummerung

- Stereoskopische Verfahren vermitteln dem Betrachter einen realitätsnahen 3D-Eindruck. Allerdings kommen diese Verfahren in GISterm 3D nicht zum Einsatz, da zusätzliche Hardware benötigt wird.

- Verdeckungen, entstanden durch eine zentralperspektivische Darstellung: Abbildung 7.38, die mit Hilfe von GeoPro<sup>3D</sup> generiert wurde, zeigt zwei Gebäude. Das zweite Gebäude wird teilweise vom ersten verdeckt, das bedeutet, dass sich das zweite Gebäude hinter dem ersten befindet.

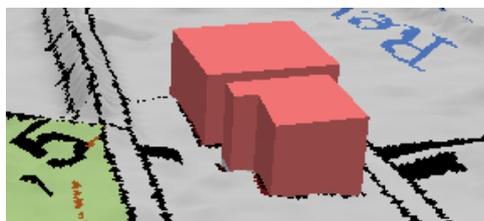


Abbildung 7.38: Das quadratische (hintere) Gebäude wird teilweise vom 5-eckigen (vorderen) Gebäude verdeckt.

- Die für die Erzeugung der Tiefenhinweise notwendige Projektion erzeugt Verdeckungen. Dadurch können dem Nutzer Informationen verloren gehen. Abbildung 7.39 (links) zeigt ein Gebäude. Der Betrachter kann in der dargestellten Perspektive das zweite Gebäude nicht erkennen. Dieses Gebäude ist lediglich in Abbildung 7.39 (rechts) sichtbar, welche dieselbe Gebäudesituation aus einer anderen Perspektive zeigt. Da bei der 2D-Visualisierung keine Sichtbarkeitsberechnungen notwendig werden, können keine Verdeckungen entstehen [SCHUMANN und MÜLLER 2000a].



Abbildung 7.39: Das zweite Gebäude wird in der linken Perspektive vollständig vom ersten Gebäude verdeckt

- Datenwerte lassen sich in 2D-Visualisierungen im Allgemeinen konkret ablesen, bei 3D-Visualisierungen dagegen nicht. Abbildung 7.40 links zeigt eine Kartendarstellung von GISterm. Die Lagekoordinaten des Mauszeigers können jederzeit in der Anzeigeleiste abgelesen werden. Die 3D-Darstellung in Abbildung 7.40 rechts zeigt den gleichen Ausschnitt. Allerdings können in einer 3D-Szene auf einem normalen Desktop-PC ohne besondere Hardwareausstattung aufgrund der Projektion auf die Bildschirmenebene die Koordinaten nicht aus der Lage des Mauszeigers abgeleitet und somit auch nicht angezeigt werden. Das ist anders als bei photogrammetrischen Auswertungen mit stereoskopischen Darstellungen, bei denen die Messmarke auf das Gelände aufgesetzt wird und Koordinaten gemessen werden können.

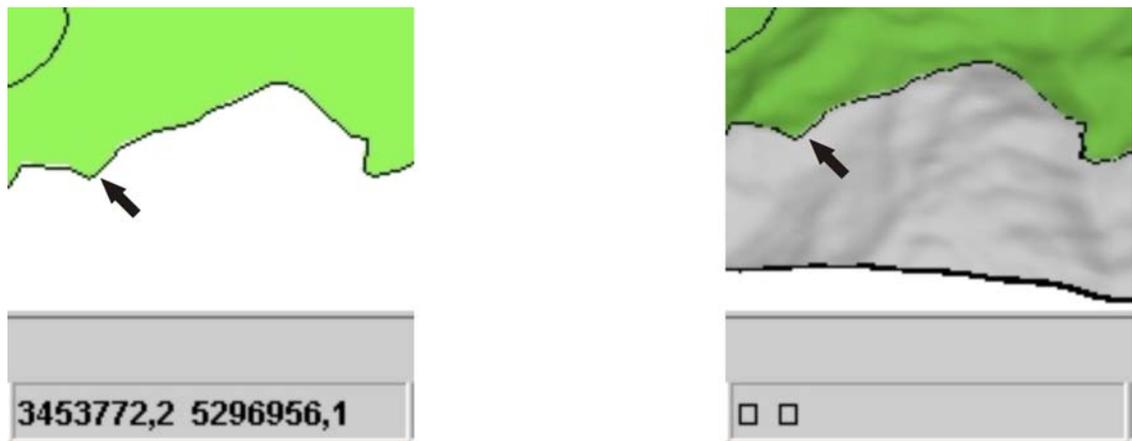


Abbildung 7.40: 2D-Kartenausschnitt mit Koordinaten (links) und 3D-Szenenausschnitt ohne Koordinaten (rechts)

- Einige Anwender sind für die Nutzung von zweidimensionalen Darstellungen in ihren Fachbereichen geschult und haben sich über Jahre hinweg an die traditionellen Techniken gewöhnt und sind deshalb an der Nutzung neuer Techniken, wie zum Beispiel der 3D-Visualisierung, nicht interessiert.

- Die Beschaffung von 3D-Daten ist im Allgemeinen teuer. Dieser Aspekt wirkt sich nachteilig auf die Beschaffung von geometrischen Daten für den Einzelfall aus. Trotzdem stehen heute bereits in vielen Fällen 3D-Daten zur Verfügung, deren Nutzung sinnvoll ist.

Ein Beispiel ist das in den Anwendungen DEMViewer und GeoPro<sup>3D</sup> verwendete hochauflösende digitale Geländemodell aus der Laserscanner-Befliegung des Landes Baden-Württemberg. Das hochauflösende Geländemodell ist beim Landesvermessungsamt Baden-Württemberg erhältlich. Die Kosten für eine Arbeitsplatzlizenz für die Nutzung des DGM in 1m-Auflösung für ganz Baden-Württemberg betragen 1 029 000 Euro [LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2004]. Das ist für einen Privatanwender natürlich zu teuer. Die Landesanstalt für Umweltschutz benötigt diese Daten aber für viele Aufgaben und hat mit dem Landesvermessungsamt einen Nutzungsvertrag abgeschlossen. Deshalb können die Daten für die 3D-Visualisierungen in den Anwendungen DEMViewer und GeoPro<sup>3D</sup> mitbenutzt werden.

Wie teuer die Beschaffung der Daten im Einzelfall ist, hängt also mit den Umständen des konkreten Projekts zusammen und kann schwer allgemein beurteilt werden.

- [GEOINFORMATION.NET 2004] erwähnt als Nachteil, dass eine „Softwarekrise“ für spezialisierte Anwendungen existiert. Demnach besteht für Fachanwendungen mit speziellen Erfordernissen ein Softwareengpass.

GISterm 3D bietet Komponenten, mit deren Hilfe spezialisierte Fachanwendungen realisiert werden können, die 3D-Visualisierungen benutzen. Auf diese Weise kann dazu beigetragen werden, den Engpass zu überwinden.

### 7.2.3.1 Fazit der Evaluierung

Bei der Betrachtung der Nachteile fällt auf, dass einige der Nachteile durch eine zusätzliche 2D-Darstellung aufgefangen werden können. Ein Beispiel dafür ist die Erzeugung von Schnitten, die mit Datenwerten ergänzt werden können. Das bedeutet, herkömmliche 2D-Visualisierungen sollten nicht durch 3D-Visualisierungen ersetzt, sondern lediglich mit 3D-Visualisierungen ergänzt werden. Dann ist die 3D-Visualisierung für den Einsatz in der Umweltinformatik sehr gut geeignet.

Dieses Prinzip wurde beim entwickelten System beachtet. Die mit dem 3D-Service ermöglichten Entwicklungen werden direkt als zusätzliche Komponenten in das zweidimensionale GIS-System integriert. Das heißt, die Vorteile der 3D-Visualisierungen können mit den Vorteilen der 2D-Visualisierungen kombiniert werden.

Die Realisierung von zwei Beispielanwendungen und deren Einsatz im Umweltinformationssystem zeigt, dass die Komponenten von GIS-System 3D geeignet sind, um sowohl einfache als auch komplexe 3D-Visualisierungen in Umweltanwendungen zu realisieren. Die Nützlichkeit dieser Darstellungen gegenüber einer herkömmlichen 2D-Visualisierung konnte anhand der beiden Beispiele ebenfalls nachgewiesen werden.

# Kapitel 8

## Ausblick

Für die mögliche Weiterentwicklung von GIStern 3D wäre es zunächst sinnvoll, die Erfahrungen der Anwender besser zu integrieren, das heißt, die grundlegenden Funktionen des 3D-Service und die Darstellung der Objekte in der 3D-Szene sollten weiter verbessert werden. Hierunter fallen zum Beispiel die Verbesserung der Navigation oder der Anfangsansicht.

Der nächste wichtige Punkt ist die vollständige Implementierung des Datenmodells. Im Kapitel 5 wird das Datenmodell konzeptionell vollständig beschrieben. In der bisherigen Implementierung wurden lediglich die Teile des Datenmodells implementiert, die für die Realisierung der zwei Beispielanwendungen benötigt wurden. Die Implementierung der restlichen Objekte ist für die generische Nutzung von GIStern 3D als 3D-Umweltvisualisierungssystem von entscheidender Bedeutung.

Damit dieses generische Datenmodell und GIStern 3D einfach für die Erzeugung von neuen 3D-Umweltanwendungen genutzt werden können, sollte eine Schnittstelle geschaffen werden, durch deren Benutzung die Erzeugung neuer Anwendungen einfach zu realisieren ist. Das Ziel sollte sein, dass die Erzeugung neuer Arten von 3D-Anwendungen auch von Nutzern, die keine 3D-Visualisierungskenntnisse besitzen, durchgeführt werden kann. Umweltfachleute sollten den Inhalt der 3D-Visualisierungen aus dem Umweltbereich in Ascii-Dateien zusammenstellen und bearbeiten können. Diese Dateien sollten von GIStern 3D interpretiert und in 3D-Szenen umgesetzt werden können.

Eine technische Möglichkeit für die Umsetzung wäre zum Beispiel die Nutzung der Extensible Markup Language (XML) [W3C 2005]. Mit Hilfe von XML werden Dokumente in Form einer Baumstruktur aufgebaut die sowohl vom Rechner interpretiert, als auch von Menschen gelesen werden kann. Der Benutzer von GIStern 3D würde mit Hilfe von XML eine fertige 3D-Szene beschreiben, die von GIStern 3D interpretiert und in eine 3D-Szene umgesetzt wird. Die Analyse der Szene kann dann mit den bereits implementierten Funktionen erfolgen. Der Nutzer ist völlig frei bei der Wahl des Zwecks und der Objekte in der neu zu schaffenden 3D-Szene, da alle Objekte des Datenmodells beliebig miteinander kombiniert werden können.

Auf diese Weise können 3D-Szenen entstehen, die zum Beispiel Hochwasseranalysen, Windparks oder Inliner-Entdeckungstouren dreidimensional darstellen. Werden für die Visualisierung Objekte benötigt, die bisher nicht im Datenmodell enthalten sind, kön-

nen diese im Datenmodell ergänzt werden. Allerdings wäre die Effizienz einer auf XML basierenden Lösung zunächst nachzuweisen.

Auf der Anwendungsseite sollte zunächst der DEMViewer weiter entwickelt werden. Sinnvoll ist hier vor allem die Realisierung der Internet-Version des DEMViewers. Der erste Schritt wäre die Erzeugung eines Nutzungskonzeptes, gefolgt von der technischen Realisierung, die sich an den Erkenntnissen, die in Abschnitt 7.1.1.5 enthalten sind, orientieren kann.

Eine weitere mögliche Entwicklung ist die Integration von zeitlichen Komponenten in die 3D-Visualisierung mit Hilfe von Animationen. Auf diese Weise könnte zum Beispiel eine Simulation entwickelt werden, die die Grundwasserstandsentwicklung einer GeoPro<sup>3D</sup>-Szene über einen längeren Zeitraum hinweg animiert.

Die vorgeschlagenen Erweiterungen geben nur einen ersten Ausblick. Ausgehend von Anforderungen aus der Praxis kann sich das 3D-Visualisierungssystem für Umweltanwendungen dynamisch weiterentwickeln.

# Literaturverzeichnis

- [100FPS.COM 2005] 100FPS.COM (2005). *How many frames can humans see?*. [http://www.100fps.com/how\\_many\\_frames\\_can\\_humans\\_see.htm](http://www.100fps.com/how_many_frames_can_humans_see.htm). besucht am 05. Mai 2005.
- [3D GEO GMBH 2004] 3D GEO GMBH (2004). *Welcome to the 3D Geo systems pioneer; Landexplorer*. <http://www.landex.de/>. besucht im Mai 2004.
- [3D GEO GMBH 2005] 3D GEO GMBH (2005). *3D Geo GmbH Shop*. <http://www.equaserver.de/3dgeo/shop.asp?lang=&area=none&args=none&menuindex=56&parentmenu=1&openmi=-1&textmi=-1&rndii=1&ssi=0&smr=10>. besucht am 15. März 2005.
- [3DCONNEXION 2005] 3DCONNEXION (2005). *SpaceMouse*. <http://www.3dconnexion.com/spacemouseplus.htm>. besucht am 15. März 2005.
- [3SAT 2005] 3SAT (2005). *3D Bilder auf dem Monitor*. <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/neues/sendungen/show/669%50/>. besucht am 15. März 2005.
- [5DT FIFTH DIMENSION TECHNOLOGIES 2004] 5DT FIFTH DIMENSION TECHNOLOGIES (2004). *5DT Head Mounted Display (HMD)*. <http://www.5DT.com>. besucht am 18. August 2005.
- [ACCUSOFT 2004] ACCUSOFT (2004). *Visiquest*. <http://www.accusoft.com/imaging/visiquest/>. besucht im Juni 2004.
- [ALBERTZ 2001] ALBERTZ, JÖRG (2001). *Einführung in die Fernerkundung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 124-126, Darmstadt.
- [ALIAS SYSTEMS 2004] ALIAS SYSTEMS (2004). *Alias Produkte und Services*. <http://www.alias-systems.de/produkte/index.php>. besucht im Juni 2004.
- [AUTODESK 2005] AUTODESK (2005). *AutoCAD*. <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/index?siteID=403786&id=4004829>. besucht am 10. März 2005.
- [AUTODESK 2005] AUTODESK (2005). *AutoCAD 2005*. [http://estore.autodesk.com/dr/sat4/ec\\_MAIN.Entry10?V1=504369&PN=1&SP=10%023&xid=25471&CID=0&DSP=&CUR=978&PGRP=0&CACHE\\_ID=0](http://estore.autodesk.com/dr/sat4/ec_MAIN.Entry10?V1=504369&PN=1&SP=10%023&xid=25471&CID=0&DSP=&CUR=978&PGRP=0&CACHE_ID=0). besucht am 15. März 2005.
- [AVS 2004] AVS (2004). *AVS Advanced Visual Systems*. <http://www.avs.com>. besucht im Juni 2004.

- [BALOVNEV et al. 2004] BALOVNEV, OLEG T., T. BODE, M. BREUNIG, A. B. CREMERS, W. MÜLLER, G. POGODAEV, S. SHUMILOV, J. SIEBECK, A. SIEHL, and A. THOMSEN (2004). *The Story of GeoToolkit - An Object-Oriented Geodatabase Kernel System*. *GeoInformatica* 8, pp. 5–47.
- [BAUER and MOHL 2005] BAUER, W. and H.-U. MOHL (2005). *Das 3D-Stadtmodell der Landeshauptstadt Stuttgart*. In COORS and ZIPF, eds.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, pp. 265–278. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.
- [BENTLEY 2005] BENTLEY (2005). *MicroStation*. <http://www.bentley.de/produkte/microstation/default.htm>. besucht am 10. März 2005.
- [BERNARD 2005] BERNARD, L. (2005). *3D-GIS und Atmosphärenmodelle für die urbane und regionale Umweltplanung*. In COORS and ZIPF, eds.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, pp. 336–353. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.
- [BESTENREINER 1988] BESTENREINER, FRIEDRICH (1988). *Vom Punkt zum Bild, Entwicklung, Stand und Zukunftsaspekte der Bildtechnik*. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- [BIEGGER et al. 2002] BIEGGER, STEFAN, M. HOELZLE, U. FREI, and D. NUESCH (2002). *Bringing Glacier Simulations to the Public Using Interactive 3D Visualisation*. In PILLMANN, W. and K. TOCHERMANN, eds.: *Environmental Communication in the Information Society, 16th Int. Conference: Informatics for Environmental Protection, Part 2*, pp. 611–618. ISEP.
- [BILL 1999a] BILL, RALF (1999a). *Grundlagen der Geoinformationssysteme Band 1*. Herbert Wichmann Verlag, Kapitel: Einführung in GIS, Heidelberg.
- [BILL 1999b] BILL, RALF (1999b). *Grundlagen der Geoinformationssysteme Band 1*. Herbert Wichmann Verlag, Kapitel: Erfassung raumbezogener Daten, Heidelberg.
- [BRAND 2004] BRAND, STEPHANIE (2004). *Anwendungs-Szenarien im Projekt Geotechnologien*. <http://ipfv.bau-verm.uni-karlsruhe.de/twiki/bin/view/Geotech/Anwendungs%2FSzenario>. besucht im September 2004.
- [BREUNIG 1996] BREUNIG, MARTIN (1996). *Integration of Spatial Information for Geoinformation Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [BREUNIG 2004] BREUNIG, MARTIN (2004). *SFB 350 Teilprojekt D4*. [http://www.sfb350.uni-bonn.de/Wob/de/view\\_content/class46\\_id35.html](http://www.sfb350.uni-bonn.de/Wob/de/view_content/class46_id35.html). besucht im November 2004.
- [BREUNIG et al. 2005] BREUNIG, MARTIN, W. BÄR, and A. THOMSEN (2005). *Advancement of Geoservices - Services for Geoscientific Applications based on a 3D-Geodatabase Kernel, Geotechnologien Science Report, No. 4, Information Systems in Earth Management, 35-39, Potsdam, 2004*. [http://www.geoservices.uni-osnabrueck.de/publications/Geotech\\_StatusSem%2Finar\\_Aachen.pdf](http://www.geoservices.uni-osnabrueck.de/publications/Geotech_StatusSem%2Finar_Aachen.pdf). besucht am 14. April 2005.

- [BREUNIG and ZLATANOVA 2005] BREUNIG, MARTIN and S. ZLATANOVA (2005). *3D GeoDBMS*. In ZLATANOVA, S. and D. PROSPERI, eds.: *Large scale 3D data integration: challenges and opportunities*. CRC Press. in print.
- [BROWN and PETERSEN 1999] BROWN, K. and D. PETERSEN (1999). *Ready to Run Java 3D*. John Wiley and Sons Inc., Chapter: A 3D Graphics Primer, New York.
- [BUHMANN und WIESEL 2002] BUHMANN, ERICH und J. WIESEL (2002). *GIS-Reprort*. Harzer-Verlag.
- [BÄHR und LENK 2002] BÄHR, HANS-PETER und H. LENK (2002). *Steps to Cognition in Image Analysis and in Philosophy*. In: *PCV02 Photogrammetric Computer Visison - ISPRS, Commission III, Graz*. ISPRS.
- [BÄHR und VÖGTLE 1991] BÄHR, HANS-PETER und T. VÖGTLE (1991). *Digitale Bildverarbeitung - Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung, 2. Auflage*. Wichmann Verlag, S.69-74.
- [BÄHR und VÖGTLE 1999] BÄHR, HANS-PETER und T. VÖGTLE, Hrsg. (1999). *GIS for environmental monitoring*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Chapter: GIS Introduction, Stuttgart.
- [BÖHLER 2005] BÖHLER, W. (2005). *Dreidimensionale Erfassung von Denkmälern*. In: COORS und ZIPF, Hrsg.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, S. 450–466. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.
- [CHEN 2003] CHEN, CHAOMEI (2003). *Mapping Scientific Frontiers*. Springer-Verlag London 2003.
- [CHEVREL et al. 2002] CHEVREL, STEPHANE, R. BELOCKY, and K. GRÖSEL (2002). *Monitoring and Assessing the Environmental Impact of Mining in Europe Using Advanced Earth Observation Techniques - MINEO; First Results of the Alpine Test Site*. In PILLMANN, W. and K. TOCHERMANN, eds.: *Environmental Communication in the Information Society, 16th Int. Conference: Informatics for Environmental Protection, Part 1*, pp. 519–526. ISEP.
- [COELHO 2004] COELHO, ALEXANDRE HERING (2004). *Erweiterte Realität zur Visualisierung simulierter Hochwasserereignisse. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften..* <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=/2004/bau-geo/%31&search=/2004/bau-geo/31>. besucht am 08. April 2005.
- [COORS und ZIPF 2005] COORS, V. und A. ZIPF (2005). *3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- [DFC INTELLIGENCE 2005] DFC INTELLIGENCE (2005). *The Business of Computer and Video Games 2004*. [http://www.dfciint.com/game\\\_article/feb04article.html](http://www.dfciint.com/game\_article/feb04article.html). besucht im Januar 2005.

- [DIAMANDAKIS und PRASTACOS 2002] DIAMANDAKIS, MANOLIS und P. PRASTACOS (2002). *Flood-View: A Library of GIS Procedures for Visualizing Flood Model Results*. In: PILLMANN, W. und K. TOCHERMANN, Hrsg.: *Environmental Communication in the Information Society, 16th Int. Conference: Informatics for Environmental Protection, Part 1*, S. 611–618. ISEP.
- [DIGITAL EARTH 2005] DIGITAL EARTH (2005). *TerraVision*. <http://www.tvgeo.com/>. besucht am 10. März 2005.
- [DISCREET 2004] DISCREET (2004). *Autodesk 3ds max*. <http://www4.discreet.com/3dsmax/>. besucht am 28. April 2005.
- [DISCREET 2005] DISCREET (2005). *3ds max 7*. [http://store.discreet.com/servlet/ControllerServlet?Action=DisplayPage&%Locale=de\\_DE&id=ProductDetailsPage&SiteID=disc\\_eur&productID=33157900&Env=BASE%&vatCC=DE](http://store.discreet.com/servlet/ControllerServlet?Action=DisplayPage&%Locale=de_DE&id=ProductDetailsPage&SiteID=disc_eur&productID=33157900&Env=BASE%&vatCC=DE). besucht am 15. März 2005.
- [DISY GEOINFORMATIONSSYSTEME GMBH 2005] DISY GEOINFORMATIONSSYSTEME GMBH (2005). *UDK*. <http://www.umweltdatenkatalog.de>. besucht am 07. April 2005.
- [DISY INFORMATIONSSYSTEME GMBH 2004] DISY INFORMATIONSSYSTEME GMBH (2004). *disy GIS term*. <http://www.disy.net>. besucht im November 2004.
- [DOMIK 2004] DOMIK, GITTA (2004). *Curriculum for Visualization, AG Computergraphik, Visualisierung und Bildverarbeitung, Universität Paderborn*. <http://www.uni-paderborn.de/fachbereich/AG/agdomik/visualisierung/vis-r%eport/index.htm>. AG Computergraphik, Visualisierung und Bildverarbeitung; Universität Paderborn; besucht im Mai 2004.
- [DUDENREDAKTION 1990] DUDENREDAKTION (1990). *Duden, Das Fremdwörterbuch*. Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich.
- [EARTHDECISIONSCIENCES 2005] EARTHDECISIONSCIENCES (2005). *Earth Decision Suite 2.1*. <http://www.earthdecision.com/>. besucht am 10. März 2005.
- [ENCOM TECHNOLOGY 2005] ENCOM TECHNOLOGY (2005). *Software Noddy*. <http://www.encom.com.au/pages/swno.htm>. besucht am 10. März 2005.
- [ENGEMANN 2005] ENGEMANN, WILFRIED (2005). *Deutsche Gesellschaft für Semiotik*. <http://www.uni-muenster.de/Semiotik/welcome.html>. besucht am 04. Mai 2005.
- [ESRI 2004] ESRI (2004). *ArcGIS 3D Analyst*. <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/3danalyst/>. besucht im Juni 2004.
- [ESRI 2005] ESRI (2005). *ArcGIS 9.0 Data Interoperability Single Use License*. [http://store.esri.com/esri/showdet1.cfm?SID=2&Product\\_ID=632&Category\\_ID=11](http://store.esri.com/esri/showdet1.cfm?SID=2&Product_ID=632&Category_ID=11). besucht am 15. März 2005.
- [EST 2005] EST (2005). *Preis- und Produktübersicht*. [http://www.est-kl.com/aufbau\\_dt/index\\_dt.html](http://www.est-kl.com/aufbau_dt/index_dt.html). besucht am 15. März 2005.

- [FHG IITB 2004] FHG IITB (2004). *WAABIS: Informationssystem Wasser, Abfall, Atllasten, Boden*. <http://genesis.iitb.fhg.de/servlet/is/117/>. besucht im November 2004.
- [FOLEY et al. 1990] FOLEY, VAN DAM, FEINER, and HUGHES (1990). *Computer Graphics - Principles and Practice*. Addison-Wesley Publishing Company.
- [FRAUNHOFER FÜR GRAPHISCHE DATENVERARBEITUNG, DARMSTADT 2005] FRAUNHOFER FÜR GRAPHISCHE DATENVERARBEITUNG, DARMSTADT (2005). *Dom von Siena*. <http://www.igd.fhg.de/igd-a4/projects23.html.de>. besucht am 18. August 2005.
- [FZK 2004] FZK (2004). *Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Angewandte Informatik, Melinda - Bilder*. <http://www.iai.fzk.de/projekte/geoinf/Melinda/bilder.htm>. besucht am 08. April 2005.
- [GEOINFORMATIK-SERVICE 2004a] GEOINFORMATIK-SERVICE (2004a). *Farbtiefe*. <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=682>. besucht im September 2004.
- [GEOINFORMATIK-SERVICE 2004b] GEOINFORMATIK-SERVICE (2004b). *Geometrisches Modell*. <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=802>. besucht im September 2004.
- [GEOINFORMATIK-SERVICE 2004c] GEOINFORMATIK-SERVICE (2004c). *Volumenmodell*. <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=-1138402155>. besucht im September 2004.
- [GEOINFORMATIK-SERVICE 2005] GEOINFORMATIK-SERVICE (2005). *Umwelt-Informationssystem (UIS)*. <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=1705>. besucht am 05. April 2005.
- [GEOINFORMATION.NET 2004] GEOINFORMATION.NET (2004). *Lernmodul 3D-Geovisualisierung (Visualisierung räumlicher Strukturen und Prozesse in Virtuellen Welten)*. <http://www.geoinformation.net>. besucht im Mai 2004.
- [GEO NOVA AG 2005] GEO NOVA AG (2005). *DILAS*. [http://www.geonova.ch/deutsch/pages/4\\_Produnkte/produkte\\_dilas\\_de.html](http://www.geonova.ch/deutsch/pages/4_Produnkte/produkte_dilas_de.html). besucht im Februar 2005.
- [GESCHÄFTSSTELLE DES IMAGI 2000] GESCHÄFTSSTELLE DES IMAGI (2000). *Bericht über die Erhebung: Fachaufgaben, Geodatenbestände und Geodatenflüsse in der Bundesverwaltung*. In IMAGI, ed.: *Konzeption eines effizienten Geodatenmanagements des Bundes*.
- [GNU 2005] GNU (2005). *GNU General Public License*. <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>. besucht am 15. März 2005.
- [GOOL et al. 2004] GOOL, L. VAN, M. WAELKENS, P. MUELLER, T. VEREENOGHE, and M. VERGAUWEN (2004). *Total Recall: A Plea for Realism in Models of the Past*. In XXTH ISPRS CONGRESS, 12-23 JULY 2004 ISTANBUL, TURKEY, ed.: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Proceedings-CD.

- [GROTE et al. 2003] GROTE, RÜDIGER, K. PATZNER, and T. SEIFERT (2003). *Modelling Water Availability in Individual Trees - a Contribution of Process-Based Simulation to the Prediction of Developments in Heterogeneous Stands*. In GNAUCK, ALBRECHT and R. HEINRICH, eds.: *The Information Society and Enlargement of the European Union, 17th International Conference Informatics for Environmental Protection, Cottbus 2003, Part 2: Applications, Workshops, Posters*, pp. 804–812. Metropolis.
- [GRUEN and RODITAKIS 2003] GRUEN, ARMIN and A. RODITAKIS (2003). *Visualization and Animation of Mount Everest*. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, COMM V, WG 6, Workshop: Visualization and Animation*. Proceedings-CD.
- [GÜNTHER 1998] GÜNTHER, OLIVER (1998). *Environmental Information Systems*. Springer, Chapter: Introduction and Data Capture, Berlin, Heidelberg.
- [HAKE und GRÜNREICH 1994a] HAKE, GÜNTHER und D. GRÜNREICH (1994a). *Kartographie, 7. Auflage*. de Gruyter, Kapitel: Kartographische Techniken - Graphische Datenverarbeitung in der Kartographie, Berlin.
- [HAKE und GRÜNREICH 1994b] HAKE, GÜNTHER und D. GRÜNREICH (1994b). *Kartographie, 7. Auflage*. de Gruyter, Kapitel: Kartographische Modellbildung - Grundzüge kartographischer Darstellung, Berlin.
- [HEIPKE 1995] HEIPKE, CHRISTIAN (1995). *Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 450, Digitale photogrammetrische Arbeitsstationen*. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission bei der C.H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München.
- [HIBBARD 2004] HIBBARD, BILL (2004). *VisAD*. <http://www.ssec.wisc.edu/~billh/visad.html>. besucht im Mai 2004.
- [HILBRING et al. 2004] HILBRING, DESIREE, J. WIESEL und B. SCHNEIDER (2004). *GI-Stern 3D - Integration und Visualisierung von hochauflösenden Geländemodellen und Weiterentwicklung von GeoPro3D*. In: MAYER-FÖLL, R., A. KEITEL und W. GEIGER, Hrsg.: *Projekt AJA, Anwendungen Java-basierter und anderer leistungsfähiger Lösungen in den Bereichen Umwelt, Verkehr und Verwaltung, Phase V 2004, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7077*, S. 93–104. Forschungszentrum Karlsruhe.
- [HOFMANN et al. 1999] HOFMANN, C., Z. VESZELKA und J. WIESEL (1999). *GIStern-Framework - Das flexible, komponentenbasierte Geodatenzugriffssystem*. In: MAYER-FÖLL, R. und A. JAESCHKE, Hrsg.: *Projekt GLOBUS, Von Komponenten zu vernetzten Systemen für die Nutzung globaler Umweltsachdaten im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg und anderen fachübergreifenden Anwendungen, Phase IV 1999, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6410*, S. 77–78. Forschungszentrum Karlsruhe.
- [INTERCAM DEUTSCHLAND GMBH 2005] INTERCAM DEUTSCHLAND GMBH (2005). *ProDrill V1.1*. <http://www.mastercam.de/prodrill.htm>. besucht am 23. März 2005.
- [INTERGRAPH 2005] INTERGRAPH (2005). *GeoMedia Terrain*. <http://imgs.intergraph.com/gterrain/>. besucht am 10. März 2005.

- [IPF 2004] IPF (2004). *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe, Weiterentwicklung von Geodiensten*. <http://www.ipf.uni-karlsruhe.de>. besucht im Mai 2004.
- [IST 2004] IST (2004). *Information Society Technologies, Archeoguide - Augmented Reality-based Cultural Heritage On-site Guide*. <http://arheoguide.intranet.gr/project.htm>. besucht im September 2004.
- [JOHN 2005] JOHN (2005). *3D-Visualisierung Interaktiv*. <http://www.john-software.de>. besucht im Januar 2005.
- [JON 2001a] JON, BARRILEAUX (2001a). *3D User Interfaces with Java 3D*. Manning Publication Co., Greenwich, S. 229.
- [JON 2001b] JON, BARRILEAUX (2001b). *3D User Interfaces with Java 3D*. S. 126 ff, Manning Publication Co., Greenwich.
- [KEYHOLE INC. 2005] KEYHOLE INC. (2005). *Keyhole*. <http://www.keyhole.com/>. besucht am 10. März 2005.
- [KITWARE INC 2004] KITWARE INC (2004). *The Visualization Toolkit*. <http://public.kitware.com/VTK/>. besucht im Juni 2004.
- [KLEIN and MERTEN 2004] KLEIN, ELMAR and S. MERTEN (2004). *3D-Visualisierung und Interaktion mit der SpatialViSC Workbench*. [http://gio.uni-muenster.de/beitraege/ausg00\\_2/giowbench/WorkbenchvortragV3.html](http://gio.uni-muenster.de/beitraege/ausg00_2/giowbench/WorkbenchvortragV3.html). besucht im November 2004.
- [KNÖPFLE 2004] KNÖPFLE, CHRISTIAN (2004). *Dom von Siena*. <http://www.igd.fhg.de/igd-a4/projects/domSiena/index.html>. besucht im Juni 2004.
- [KRASS et al. 2004] KRASS, C., J. ACHENBACH, D. WAGNER, W. SCHEUERMANN, and F. SCHMIDT (2004). *KFÜ-ABR - Verwendung von DWD-Prognosedaten im Rahmen von Ausbreitungsrechnungen und 3D-Visualisierung von Ausbreitungsergebnissen*. In MAYER-FÖLL, R., A. KEITEL, and W. GEIGER, eds.: *Projekt AJA, Anwendung Java-basierter Lösungen in den Bereichen Umwelt, Verkehr und Verwaltung, Phase V 2004, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7077*, pp. 131–155. Forschungszentrum Karlsruhe.
- [LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2004] LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2004). *Produkte (lv-shop)*. <http://www.lv-bw.de/lvshop2/>. besucht im November 2004.
- [LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2005] LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2005). *LV-Shop, DGM Geländemodell Information*. [http://www.lv-bw.de/lvshop2/start\\_ns.asp?openkey=PRODUKTE&os=Win32](http://www.lv-bw.de/lvshop2/start_ns.asp?openkey=PRODUKTE&os=Win32). besucht im Januar 2005.
- [LEEBMANN et al. 2005] LEEBMANN, J., A. H. COELHO, H.-P. BÄHR, G. STAUB, and J. WIESEL (2005). *Augmented Reality im Katastrophenmanagement*. In COORS and ZIPF, eds.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, pp. 305–319. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.

- [LEICA GEOSYSTEMS 2004] LEICA GEOSYSTEMS (2004). *IMAGINE VirtualGIS*. [http://gis.leica-geosystems.com/Products/Imagine/add\\\_ons/virtualGIS.as?p](http://gis.leica-geosystems.com/Products/Imagine/add\_ons/virtualGIS.as?p). besucht im Juni 2004.
- [LEINEMANN et al. 2001] LEINEMANN, KLAUS, J. BENNER, A. LUDWIG, and A. WEBER (2001). *3D-Visualisierung von Altlasten und Deponien auf Basis von XML-Daten*. In TOCHERMANN, KLAUS and W.-F. RIEKERT, eds.: *Neue Methoden für das Wissensmanagement im Umweltschutz, 4. Workshop des GI-Arbeitskreises Hypermedia im Umweltschutz und Workshop 3 der GI-Initiative Environmental Markup Language*, pp. 111–114. Metropolis.
- [LFU 2004] LFU (2004). *Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg*. <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>. besucht im November 2004.
- [LFU 2005] LFU (2005). *Landesanstalt für Umweltschutz, Abteilung 2*. <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/215/>. besucht im Januar 2005.
- [LFU 2005a] LFU (2005a). *Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS)*. <http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/udkservlets/UDKServlet?Type=Templ%ate&PageName=DataDetailFrameset.jsp&ACTION=showData&PK=1C5491DC-F243-11D2-9A86%-080000507261&sID=BW>. besucht im Februar 2005.
- [LFU 2005b] LFU (2005b). *Landesanstalt für Umweltschutz, Über die LfU*. <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1034/>. besucht im Januar 2005.
- [LIENHARD 1999] LIENHARD, ANDREAS (1999). *Bewertungsmodell zur Beurteilung des Vernetzungsgrades ausgewählter Biotoptypen in einem Landschaftsraum*. In BLASCHKE, THOMAS, ed.: *Umweltmonitoring und Umweltmodellierung*, pp. 245–252. Wichmann Verlag Heidelberg.
- [MACH 2000] MACH, RÜDIGER (2000). *3D Visualisierung - Optimale Ergebnispräsentation mit AutoCAD und 3D Studio Max*. Galileo Press GmbH, Bonn.
- [MALINVERNI und GIOIA 2003] MALINVERNI, E.S. und F. D. GIOIA (2003). *3D Image Models in a Dynamic Environmental GIS*. In: 6, ISPRS COMMISSION V WORKING GROUP, Hrsg.: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Services, Vol. XXXIV-5/W10, International Workshop on Visualisation and Animation of Reality-based 3D Models*, Engadin, Schweiz. Proceedings-CD.
- [MAPINFO 2005] MAPINFO (2005). *MapInfo Vertical Mapper*. <http://extranet.mapinfo.de/products/Overview.cfm?productid=1746>. besucht im Januar 2005.
- [MAXON 2005] MAXON (2005). *Cinema 4D R9*. [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html). besucht im März 2005.
- [MAYA 2005] MAYA (2005). *Visage*. <http://www.maya.com/visage>. besucht im Februar 2005.

- [McCORMICK et al. 1987] MCCORMICK, B. H., T. DEFANTI, and M. B. (ED) (1987). *Visualization in Scientific Computing*. Computer Graphics Vol. 21, No. 6, November 1987.
- [MENG 2003] MENG, LIQU (2003). *How Can 3D Geovisualisation Please Users Eyes Better*. GEOInformatics.
- [MICROSYSTEMS 2004] MICROSYSTEMS, SUN (2004). *Java 3D API*. <http://java.sun.com/products/java-media/3D/>. besucht im Mai 2004.
- [MICROSOFT 2004] MICROSOFT (2004). *Microsoft DirectX*. <http://www.microsoft.com/windows/directx/default.aspx>. besucht im September 2004.
- [MILLS 2002] MILLS, ANNE (2002). *3D Simulation of the Tourist Core Area of Niagara Falls, Canada: A Tool For Site Line Analysis and Assessment*. In *Symposium on Geospaial Theory, Processing and Applications*, Ottawa. Proceedings-CD.
- [MOKHTARI et al. 2005] MOKHTARI, M., F. LEMIEUX, F. BERNIER, D. OUELLET, R. DROUIN, D. LAURENDEAU, and A. BRANZAN-ALBU (2005). *Virtual Environment and Sensori-Motor Activities: Visualization*. [http://wscg.zcu.cz/wscg2004/Papers\\_2004\\_Full/D23.pdf](http://wscg.zcu.cz/wscg2004/Papers_2004_Full/D23.pdf). besucht am 15. März 2005.
- [MSC SOFTWARE 2005] MSC SOFTWARE (2005). *EnSight*. <http://www.mscsoftware.com.au/products/software/cei/ensight/>. besucht im Februar 2005.
- [NAG 2005] NAG (2005). *Numerical Algorithms Group, IRIS Explorer*. [http://www.nag.co.uk/Welcome\\_IEC.html](http://www.nag.co.uk/Welcome_IEC.html). besucht im Februar 2005.
- [NATIONAL SCIENCE FOUNDATION 2005] NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (2005). *National Science Foundation - Where Discoveries Begin*. <http://www.nsf.gov/>. besucht am 19. April 2005.
- [NEBIKER 2005] NEBIKER, S. (2005). *Wenn geodaten fliegen lernen - 3d-geoinformationssysteme in der aviatik*. In COORS and ZIPF, eds.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, pp. 320–333. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.
- [NEBIKER 2002] NEBIKER, STEPHAN (2002). *Support for Visualisation and Animation in a Scalable 3D GIS Environment - Motivation, Concepts and Implementation*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10 [http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp\\_workshop/papers/nebiker.pdf](http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp_workshop/papers/nebiker.pdf). besucht am 27. April 2005.
- [NETHERER et al. 2002] NETHERER, SIGRID, J. PENNERSTORFER, R. KALASEK, and L. RIEDL (2002). *Spatial Analysis in Forest Protection Using the Visual Modelling Tool MapModels*. In PILLMANN, W. and K. TOCHERMANN, eds.: *Environmental Communication in the Information Society, 16th Int. Conference: Informatics for Environmental Protection, Part 1*, pp. 574–581. ISEP.
- [NOSER 2005] NOSER, HANSRUDI (2005). *Virtuelle Realität: Definitionen*. <http://www.ifi.unizh.ch/~noser/COURSES/vISvvrVr0102.pdf>. besucht im Februar 2005.

- [VAN NOUHUYS et al. 1998] NOUHUYS, JO VAN, J. GLÜCKLICH, and A. BETHKE (1998). *Bestandsaufnahme und Analyse von Umwelthanwendungen Geographischer Informationssysteme in Bund und Ländern*. Umweltbundesamt Texte 7/98.
- [OOSE.DE 2005] OOSE.DE (2005). *Dienstleistungen für innovative Informatik GmbH, UML 2.0 Notation*. <http://www.oose.de/downloads/uml-2-Notationsuebersicht-oose.de.pdf>. besucht am 28. April 2005.
- [VAN OOSTEROM et al. 2004] OOSTEROM, PETER VAN, W. VERTEGAAL, and M. VAN HEKKEN (2004). *Integrated 3D Modelling within a GIS*. <http://www.gdmc.nl/oosterom/geo3d.ps>. besucht im September 2004.
- [OPEN SOURCE INITIATIVE 2005] OPEN SOURCE INITIATIVE (2005). *The Open Source Definition*. <http://www.opensource.org/docs/definition.php>. besucht am 15. März 2005.
- [OWEN 2005] OWEN, G. SCOTT (2005). *HyperVis - Teaching Scientific Visualization Using Hypermedia*. <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/hypervis.htm>. besucht am 22. März 2005.
- [PAGE und HILTY 1995] PAGE, B. und L. M. HILTY (1995). *Umweltinformatik - Informatikmethoden für Umweltschutz und Umweltforschung*. R. Oldenbourg Verlag München Wien 1995, S.17.
- [PICKOVER and TEWKSBURY 1994] PICKOVER, CLIFFORD and S. TEWKSBURY (1994). *Frontiers of Scientific Visualization*. John Wiley and Sons Inc. New-York 1994.
- [QUADT and KOLBE 2005] QUADT, UDO and T. KOLBE (2005). *Web 3D Service*. [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=8869](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=8869). besucht am 11. März 2005.
- [RSI 2005] RSI (2005). *Research Systems Incorporation, IDL The Interactive Data Language*. <http://www.rsinc.com/idl>. besucht im Februar 2005.
- [SCHILLING et al. 2005] SCHILLING, A., H. BELCHSCHMIED, and U. JASNOCH (2005). *Datenbank-basierte visualisierung von hamburg*. In ZIPF, COORS UND, ed.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, pp. 250–264. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.
- [SCHMID et al. 2000] SCHMID, H., M. SCHMIEDER, U. SCHREIBER, and T. USLÄNDER (2000). *Weiterentwicklung der Entwicklungsumgebung WAABIS am Beispiel der Fachanwendung Grundwasser*. In MAYER-FÖLL, R., A. KEITEL, and A. JAESCHKE, eds.: *Projekt AJA, Anwendung Java-basierter Lösungen in den Bereichen Umwelt, Verkehr und Verwaltung, Phase I 2000, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6565*, pp. 85–105. Forschungszentrum Karlsruhe.
- [SCHUMANN und MÜLLER 2000a] SCHUMANN, HEIDRUN und W. MÜLLER (2000a). *Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000.

- [SCHUMANN und MÜLLER 2000b] SCHUMANN, HEIDRUN und W. MÜLLER (2000b). *Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000, S.229.
- [SEERREAL 2004] SEERREAL (2004). *SeeReal 3D Displays: C-nt*. <http://www.seereal.com/default.en.htm>. besucht im September 2004.
- [SEUFERT und RING 2005] SEUFERT, WOLFGANG und P. RING (2005). *Entwicklung der Medien- und IT-Wirtschaft*. DIW Berlin Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin November 2001. besucht im Januar 2005.
- [SGI 2004a] SGI (2004a). *Open Inventor*. <http://oss.sgi.com/projects/inventor/>. besucht im Juni 2004.
- [SGI 2004b] SGI (2004b). *OpenGL - The Industry's Foundation for High Performance Graphics*. <http://www.opengl.org/>. besucht im September 2004.
- [SGI 2005a] SGI (2005a). *OpenGL Optimizer*. <http://www.sgi.com/products/software/optimizer/overview.html>. besucht am 09. März 2005.
- [SGI 2005b] SGI (2005b). *OpenGL Performer*. <http://www.sgi.com/products/software/performer/>. besucht am 09. März 2005.
- [SINGH 2005] SINGH, RAJ (2005). *OGC Web Terrain Server (WTS)*. <http://www.opengeospatial.org/docs/01-061.pdf>. besucht am 11. März 2005.
- [SKYLINE 2005] SKYLINE (2005). *Terra Suite Overview*. [http://www.skylinesoft.com/corporate/technology/technology\\_home.asp](http://www.skylinesoft.com/corporate/technology/technology_home.asp). besucht im Februar 2005.
- [SOFTIMAGE 2005] SOFTIMAGE (2005). *Softimage XSI*. <http://www.softimage.com/products/>. besucht im März 2005.
- [STA UIS 2005] STA UIS (2005). *Ausschuss Umweltinformationssysteme der BLAG NE*. <http://www.blak-uis.de/servlet/is/11/>. besucht am 07. April 2005.
- [STADT KÖLN 2005] STADT KÖLN (2005). *Hochwassergefahrenkarten*. <http://www.hw-karten.de/koeln/>. besucht am 20. Mai 2005.
- [STAHL UND WEISS 2005] STAHL UND WEISS (2005). *Strömungssimulation*. <http://www.stahl-sonnenenergie.de/luft.html>. besucht im März 2005.
- [STAUB et al. 2004] STAUB, G., S. BRAND und S. WURSTHORN (2004). *Mobile Augmented Reality Umgebung für geowissenschaftliche Anwendungen*. In: KARTOGRAPHIE, ARBEITSGRUPPE AUTOMATION IN DER, Hrsg.: *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie Band 31*, S. 167–176, Frankfurt. Bundesamt für Kartographie.
- [STOTER 2004] STOTER, JANTIEN E. (2004). *3D Cadastre*. Netherlands Geodetic Commission, Delft.
- [SUN MICROSYSTEMS (A) 2005] SUN MICROSYSTEMS (A) (2005). *Getting Started with the Java 3D API, Chapter 2, Creating Geometry*. [http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/j3d\\_tutorial\\_ch2.pdf](http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/j3d_tutorial_ch2.pdf). besucht am 15. März 2005.

- [SUN MICROSYSTEMS (C) 2005] SUN MICROSYSTEMS (C) (2005). *Getting Started with the Java 3D API, Chapter 7, Textures*. [http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/j3d\\_tutorial\\_ch7.pd%f](http://java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/j3d_tutorial_ch7.pd%f). besucht am 15. März 2005.
- [SUN MIRCOSYSTEMS 2005] SUN MIRCOSYSTEMS (2005). *Java Web Start Technology*. <http://java.sun.com/products/javawebstart/>. besucht im Februar 2005.
- [SUPRESOFT INC. 2005] SUPRESOFT INC. (2005). *IMAGiS*. <http://www.supresoft.com.cn/english/products/imagis/imagis.htm>. besucht am 10. März 2005.
- [SUTER 1997] SUTER, MARTIN (1997). *Aspekte der interaktiven real-time 3D-Landschaftsvisualisierung*. Remote Sensing Laboratories, Geographisches Institut, Universität Zürich, S.25-26, Winterthurerstrasse 190, CH- 8057 Zürich.
- [TADDEI 1999] TADDEI, UGO (1999). *The VisAD Tutorial*. <http://www.ssec.wisc.edu/~billh/tutorial/>. besucht am 24. August 2005.
- [THOMAS 2005] THOMAS, A. (2005). *JOGL*. <https://jogl.dev.java.net/>. besucht im Januar 2005.
- [THOMSEN et al. 2005] THOMSEN, A., M. BREUNIG, W. BÄR, A. B. CREMERS, and A. SIEHL (2005). *Datenbankunterstützung für geologische Anwendungen*. In COORS and ZIPF, eds.: *3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen*, pp. 354–375. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.
- [TRAYNER and ORR 2004] TRAYNER, DAVID and E. ORR (2004). *Direct view Holographic Autostereoscopic Displays*. <http://www.brunel.ac.uk/faculty/tech/systems/groups/vvr/vrsig97/proceed%/008/hasdpape.htm>. besucht im September 2004.
- [UDK/GEIN 2005] UDK/GEIN (2005). *Gein - das portal für umweltfragen*. <http://www.gein.de/servlets/TextSearch?lang=de>. besucht am 07. April 2005.
- [UVM 2004] UVM (2004). *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg*. <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/>. besucht im November 2004.
- [UVM 2004] UVM (2004). *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Umweltinformationssystem UIS*. <http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/uis/info>. besucht im November 2004.
- [UVM 2005] UVM (2005). *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Das UIS im Zusammenhang*. <http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/uis/info/>. besucht am 05. April 2005.
- [UVM UND LFU 2003] UVM UND LFU (2003). *Ministerium für Umwelt und Verkehr und Landesanstalt für Umweltschutz, Umweltdaten 2003 - Baden-Württemberg*. Verlagsauslieferung der LfU bei der JVA Mannheim, Mannheim.
- [VIRTUAL TERRAIN PROJECT 2004] VIRTUAL TERRAIN PROJECT (2004). *Hardware Support for Large Texture Maps*. <http://www.vterrain.org/LargeTextures/index.html>. besucht im September 2004.

- [VISUAL MODFLOW PRO 2005] VISUAL MODFLOW PRO (2005). *Visual Modflow*. [http://www.visual-modflow.com/vmf/product\\_info.php?products\\_id=75](http://www.visual-modflow.com/vmf/product_info.php?products_id=75). besucht am 09. März 2005.
- [W3C 2005] W3C (2005). *Extensible Markup Language (XML)*. <http://www.w3.org/XML/>. besucht am 28. April 2005.
- [WANG und GRÜN 2004] WANG, XINHUA und A. GRÜN (2004). *A Hybrid GIS For 3-D City Models*. [http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/AG\\_pub/Hybrid\\_GIS\\_Ams%terdam-2000.pdf](http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/AG_pub/Hybrid_GIS_Ams%terdam-2000.pdf). besucht im September 2004.
- [WATERLOO HYDROGEOLOGIC 2004] WATERLOO HYDROGEOLOGIC (2004). *FEFLOW*. <http://www.feflow.com>. besucht im Mai 2004.
- [WATERLOO HYDROGEOLOGIC 2005] WATERLOO HYDROGEOLOGIC (2005). *Visual MODFLOW - Single User Stand-Alone License*. [http://www.waterloohydrogeologic.com/software/visual\\_modflow\\_pro/visual%\\_modflow\\_pro\\_pricing.htm](http://www.waterloohydrogeologic.com/software/visual_modflow_pro/visual%_modflow_pro_pricing.htm). besucht am 15. März 2005.
- [WEB3D CONSORTIUM 2004] WEB3D CONSORTIUM (2004). *X3D Dokumentation*. <http://www.web3d.org/x3d/>. besucht im Juni 2004.
- [WESSEL and SMITH 2005] WESSEL, PAUL and W. H. F. SMITH (2005). *The Generic Mapping Tool*. <http://gmt.soest.hawaii.edu/>. besucht am 09. März 2005.
- [WIESEL 2003] WIESEL, JOCHEN (2003). *Trends und Entwicklungsprognosen von GIS*. In MAYER-FÖLL, R., H. STREUFF, M. BOCK, M. MÜLLER, R. ZÖLITZ-MÖLLER, K. GREVE, and A. SCHULTZE, eds.: *Gegenwart und Zukunft des GIS-Einsatzes im Umweltbereich, Dokumentation des Workshops des Bund/Länder-Arbeitskreises Umwelteinformationssysteme am 22.03.2003 in Stuttgart*, pp. 61–75. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg.
- [WIKIPEDIA 2004a] WIKIPEDIA (2004a). *Wikipedia Die freie Enzyklopädie - Cave Automatic Virtual Environment*. <http://de.wikipedia.org/wiki/CAVE>. besucht im September 2004.
- [WIKIPEDIA 2004b] WIKIPEDIA (2004b). *Wikipedia Die freie Enzyklopädie - Visualisierung*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Visualisierung>. besucht im Juli 2004.
- [WIKIPEDIA 2004c] WIKIPEDIA (2004c). *Wikipedia the free encyclopedia - augmented reality*. [http://de.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](http://de.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality). besucht im September 2004.
- [WIKIPEDIA 2005a] WIKIPEDIA (2005a). *Realität*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Wirklichkeit>. besucht am 16. März 2005.
- [WIKIPEDIA 2005b] WIKIPEDIA (2005b). *Virtual Reality*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_reality](http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality). besucht am 05. Mai 2005.
- [WISSEN.DE GMBH 2004] WISSEN.DE GMBH (2004). *Wissen.de*. <http://www.wissen.de>. besucht im September 2004.

- [YAZEL 2005] YAZEL, DAVID (2005). *XITH3D*. <https://xith3d.dev.java.net/>. besucht im Januar 2005.
- [ZEINER et al. 2003] ZEINER, HERWIG, A. ALMER, H. STELZL, I. FRECH, and W. HAAS (2003). *Virtual Environmental Scenarios Applied in a Geo-Multimedia System*. In GNAUCK, ALBRECHT and R. HEINRICH, eds.: *The Information Society and Enlargement of the European Union, 17th International Conference Informatics for Environmental Protection, Cottbus 2003, Part 1: Concepts and Methods*, pp. 201–207. Metropolis.
- [ZLATANOVA et al. 2002] ZLATANOVA, SIYKA, A. RAHMAN, and M. PILOUK (2002). *3D GIS: Current Status and Perspectives*. In 1, ISPRS COMMISSION IV WORKING GROUP, ed.: *Symposium on Geospaial Theory, Processing and Applications*, Ottawa. Proceedings-CD.