

Erweiterte Realität zur Visualisierung simulierter Hochwasserereignisse

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Bauingenieur- Geo- und Umweltwissenschaften
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

M.Eng. Alexandre Hering Coelho

aus Curitiba / Brasilien

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Dezember 2004

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

Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Franz Nestmann
Prof. Dr. Carlos Loch

Karlsruhe 2004

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

Zusammenfassung

Hochwasser verursacht in städtischen Gebieten nicht nur ökonomische Schäden sondern fordert auch immer wieder hohe Opfer der Bevölkerung. Diese Gefahren können bereits im Vorfeld dadurch reduziert werden, dass a priori geeignete Techniken zur Visualisierung der Katastrophenszenarien und ihrer Analyse als ein Bestandteil eines Hochwassermanagement-Systems bereitgestellt werden. Dabei hängt die Wirksamkeit der angewandten Methode wesentlich von der Detailgenauigkeit und dem Maßstab ihrer Anwendung ab.

Hochwasser können numerisch simuliert werden. Mit dem Ergebnis der Simulationen lässt sich ein Hochwasserszenario bilden, mit dessen Hilfe Gefährdungsanalysen durchgeführt werden können. Zur Visualisierung dieses Szenarios werden verschiedene Techniken, wie kartographische Darstellungen, Geographische Informationssysteme oder auch 3D-Visualisierung eingesetzt.

Eine neue Methode zur Erstellung eines virtuellen 3D-Szenarios stellt *Virtual Reality* (VR) dar. Ein hoher Grad der Abbildung der Wirklichkeit mit der Darstellung von kleinen Details in großem Maßstab ist aber in einem solchen 3D-Szenario nur schwer zu erreichen - so bleibt auch die Gefährdungsanalyse begrenzt.

In dieser Arbeit werden durch den Einsatz von *Erweiterte Realität* virtuelle Wasserspiegel (Ergebnisse von Hochwassersimulationen) direkt in der Realität sichtbar gemacht. Damit wird versucht, Szenen von Hochwasserszenarien realistisch wie möglich zu erzeugen und damit die Wahrnehmung und Analyse von Gefahren zu erweitern.

Ein ER-System für *outdoor*-Nutzung wurde entwickelt und in zwei verschiedenen Testgebieten eingesetzt. Wasserspiegel und Topographie (Laserscannerdaten und CAD-Modelle) für diese Testgebiete wurden als Daten im System benutzt. Der Aufbau und die Anwendung des Systems werden in dieser Arbeit ausführlich beschrieben und diskutiert.

Obwohl das in dieser Arbeit entwickelte System (mit Berücksichtigung der verwendeten Daten, Sensoren, Software und Hardware) die für ER-Systemen erwartete Leistung bei der Szenekomposition in Echtzeit nicht erreichen konnte, ist es zur Generierung von Aufnahmen des realistischen Hochwasserszenarios geeignet. Es ist gelungen, mehrere Aufnahmen der visualisierten Szene und Berichte über einzelne Gebäude in Überschwemmungssituationen zu machen.

Das entwickelte System stellt ein neues Werkzeug für die Analyse von Hochwassergefahren und eine neue zusätzliche Möglichkeit zum Informationsgewinn im Kontext des Hochwassermanagements dar.

Summary

Floods in urban areas causes not only economic losses, but constantly leads to a large number of victims. This may be reduced in advance by applying suitable visualisation techniques of disaster scenarios, as well as their analysis as part of an effective component of flood management. The effectiveness of the method to be applied depends essentially on the accurate knowledge of the used standards.

Floods can be numerically simulated. As a result of a simulation, a flooded scenario can be developed and hazard analyses applied. Different techniques of visualisation are employed, from cartographic representations to 3D-Visualisation.

A new method for producing virtual 3D-scenarios is Virtual Reality. True display of the reality by representing small details in large scale is difficult to accomplish but mandatory in such a 3D scenario and represents a limiting factor in hazard analysis.

This work tries to depict virtual water levels (result of flood simulation) realistically based on Augmented Reality (AR). By doing this, realistic highwater scenarios are produced and the perception and analysis of risks are enhanced.

An AR-system for outdoor use was developed and applied in two different test areas. Water levels and the topography (laser scanning data and CAD models) of these test areas were inserted into the system as input data. Structure and application of the system are explicitly described and discussed.

Although the AR-system developed here could not achieve the expected operability (considering the used data, sensors, software and hardware) at the real-time modelling of scenes, it is nevertheless suitable for the generation of realistic flooded scenarios. It was possible to produce several consecutive visualisations and reports of inundation situations of individual buildings.

After further development this system may represent a new tool for analysis of flood dangers and a new additional possibility for improved information concerning flood management.

Dank

Ich möchte mich beim Deutschen Akademischen Austauschdienst für die Gelegenheit, Finanzierung und Unterstützung herzlich bedanken. Ich bin glücklich, diese Dissertation als ein erfolgreiches Ergebnis präsentieren zu können.

Ohne die Ermutigung und Unterstützung von Prof. Dr. Carlos Loch (Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – Brasilien) würde diese Doktorarbeit nicht existieren. Bei ihm möchte ich mich hiermit bedanken.

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Hans-Peter Bähr für die ständige Begleitung und wissenschaftliche Unterstützung während aller Stadien der Arbeit.

Ich bedanke mich bei der *Augmented Reality*-Gruppe am IPF, in der ich während der Entwicklung meiner Arbeit mitgearbeitet habe. Johannes Leebmann, Guido Staub, Swen Wursthorn und Dr.-Ing. Joachin Wiesel waren immer sehr interessiert an meiner Arbeit und auch immer bereit, Ideen zu diskutieren und bei Schwierigkeiten zu helfen.

Für die Tipps, Erklärungen und Unterstützung möchte ich mich auch bei Dr.-Ing. Thomas Vögtle bedanken.

Für die Korrektur der deutschen Sprache bedanke ich mich bei den IPF-lern Erik Pfeiffer, Stephanie Brand und Claudia Kühnle.

Für die wichtige organisatorische Unterstützung bedanke ich mich bei Heike Birkel, die immer sehr hilfsbereit war.

Für das Interesse, die Begeisterung und für die Unterstützung des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) bin ich sehr dankbar. Die Hilfe von Dr.-Ing. Peter Oberle war für die Entwicklung der Arbeit von zentraler Bedeutung. Ich bedanke mich bei Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Franz Nestmann, Leiter des IWKs, für die Übernahme des Korreferats für diese Arbeit.

Ich möchte mich auch bei meinen brasilianischen und deutschen Kollegen bedanken. Obwohl einige nur für kurze Zeit in Karlsruhe waren, haben sie mindestens in einem Stadium meiner Arbeit viel geholfen. Dieser Dank geht besonders an Mauro Edson Alberti, Steffen Münzner, Manuel und Monika Weindorf sowie Daniel Tovari.

Meine Familie in Brasilien, die mir so gefehlt hat... Sie bekommt meinen ganz speziellen Dank. Sie war immer bei mir in diesen 4 Jahren, trotz der 11.000km Entfernung. Diese Arbeit ist ihr gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	xi
1 Einführung	1
1.1 Motivation	2
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Charakterisierung von Hochwasserszenarien und Hochwassermanagement	5
2.1 Hochwasserschäden	6
2.2 Schutzmaßnahmen	7
2.2.1 Hochwasserprognose und -simulationen	8
2.2.2 Baukonstruktive Maßnahmen	8
2.2.3 Vorwarnung	9
2.3 Stand der Forschung bei Visualisierungstechniken für Hochwasser	10
2.3.1 Zweidimensionale Visualisierung	10
2.3.2 Dreidimensionale Visualisierung	14
2.4 Erweiterte Realität: Eine neue Möglichkeit zur Hochwasservisualisierung	15
3 Erweiterte Realität (ER) - Definition und Entwicklung	17
3.1 Definition von ER	18
3.1.1 ER-Systeme	19
3.1.2 Erweiterte Realität vs. Virtual Reality (VR)	22
3.1.3 Anwendungsbeispiele	22
3.2 Referenzierung	24
3.2.1 Verfolgen der Kameraposition- und Orientierung	24
3.2.2 Kamerakalibrierung	26
3.3 Verdeckung	26

4	Aufbau eines ER-Systems zur Visualisierung von Hochwasserereignissen	29
4.1	Ziel	29
4.2	Überblick	30
4.3	Verwendete Hardware	30
4.4	Entwickelte Software	32
4.5	Datenerfassung und -organisation	35
4.5.1	Laserscannerdaten	36
4.5.2	Gebäudemodelle	42
4.5.3	Wasserspiegel	44
4.6	Koordinatensysteme und Transformationen	48
4.7	Lösungsansätze für die Referenzierung	51
4.8	Lösungsansätze für die Verdeckung	51
4.9	Vorbereitung des Dokumentationsmoduls	53
5	Anwendungen des entwickelten Systems	59
5.1	Referenzierung	59
5.2	Aufnahmebeispiele	61
5.3	Generierung von Berichten	67
6	Bewertung des neuen Systems: Diskussion	69
6.1	Portabilität	69
6.2	Realitätsgrad in der visualisierten Szene	70
6.2.1	Qualität der Referenzierung	71
6.2.2	Analyse der Verdeckung	72
6.3	Bezeichnung von Hochwasserschäden und Aufbereitung der Dokumentation . . .	72
7	Schlussbetrachtung und Ausblick	73
7.1	Beitrag der Arbeit	73
7.2	Ausblick	74
7.3	Anwendung des Systems in anderen Bereichen	76
7.4	Anwendung des Systems in Brasilien	77
A	Bericht Beispiel: Testgebiet Campus Universität Karlsruhe	79
	Literaturverzeichnis	83

Abkürzungsverzeichnis

über N.N.	über Normal-Null
API	Application Programming Interface
CAD	Computer Aided Design
DGM	Digitales Geländemodell
DOM	Digitales Oberflächemodell
ER	Erweiterte Realität
ERS	Erweiterte-Realität-System
GIS	Geo-Informationssystem
GK	Gauß-Krüger
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
HMD	Head Mounted Display
IMU	Inertial Measurement Unit
IPF	Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung - Universität Karlsruhe
IWK	Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik - Universität Karlsruhe
JDBC	Java Database Connection
JNI	Java Native Interface
PC	Personal Computer
PZ	Projektionszentrum
RTK	Real Time Kinematic
SQL	Structured Query Language
SVGA	Super Video Graphics Array
USB	Universal Serial Bus
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VF	Visualisierungsfenster
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modelling Language
VRML97	VRML - International Standard ISO/IEC 14772-1:1997
X3D	Extensible 3D

Kapitel 1

Einführung

In dieser Arbeit wird die dreidimensionale Visualisierung simulierter Hochwasserereignisse in städtischen Gebieten mit Hilfe eines Erweiterte-Realität-Systems (ERS), sowie die damit verbundene Identifizierung und Dokumentation von Problemen bei Hochwasserereignissen behandelt.

Seit dem Jahr 2000 wird am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF) der Universität Karlsruhe (TH) ein Projekt über Erweiterte Realität (ER) in Zusammenhang mit der Visualisierung von Katastrophenszenarien durchgeführt. Dieses Projekt ist ebenso für das Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) dieser Universität von Bedeutung, da eine derartige Visualisierung simulierter Hochwasserereignisse als ein neues Instrument für die Analyse von Hochwasserschäden in städtischen Gebieten eingesetzt werden kann.

Durch zwei- und dreidimensionale Visualisierungstechniken auf verschiedenen Maßstabsebenen wird eine verbesserte Ausgangslage für die Ausarbeitung von Aktionsplänen bei Flutsituationen erreicht. Neben analogem Kartenmaterial und digitalen Geographischen Informationssystemen (GIS) stellt Erweiterte Realität (ER) ein ergänzendes Werkzeug der Sichtbarmachung solcher Szenarien dar, um beispielsweise einen virtuellen Wasserspiegel direkt in der realen Welt darzustellen. Mit dieser Art der Visualisierung kann eine neue Ebene der Ermittlung von Risiken und Gefahren erreicht werden, die die durch konventionelle Methoden gewonnenen Informationen ergänzen soll. Durch den Einsatz von ER kann also eine realistische Szene einer spezifischen Flutsituation ausgewählter Gebiete erzeugt werden. Eine realitätsnahe Inszenierung kann dazu beitragen, das Bewusstsein der betroffenen Bevölkerung für die Risiken und Gefahren zu erhöhen und damit zur besseren Beurteilung von präventiven Maßnahmen beitragen.

Die Entwicklung eines solchen Systems für den Katastrophenschutz stellt durch die Verknüpfung vieler unterschiedlicher Systemkomponenten eine besondere Herausforderung dar. Zum einen müssen bereits aus Hochwassersimulationen Wasserspiegelmodelle vorhanden sein. Zum anderen müssen die geometrischen Informationen über die Form und die Position der „realen“ Gegenstände in der visualisierten Szene bekannt sein, was durch den Einsatz von unterschiedlichen Techniken erreicht werden kann. Mit diesen geometrischen Informationen wird eine vereinfachte dreidimensionale virtuelle Welt konstruiert, die das Einspielen des virtuellen Wasserspiegels in die Projektion der „realen Welt“¹ ermöglicht. Eine wichtige Rolle spielt dabei die korrekte Positionierung der virtuellen Gegenstände in der „realen Welt“. Dafür wurden verschiedene Techniken entwickelt, die den Gebrauch von modernen Sensoren und von Computer Vision

¹Siehe Erklärung der Begriff „reale Welt“ in Kapitel 3, Seite 17.

einbeziehen. Eine zusätzliche Anforderung ist die Mobilität des Systems, um dem Nutzer die Visualisierung im Freien und in Bewegung zu ermöglichen.

1.1 Motivation

Hochwasser verursacht sowohl Personen- als auch Sachschäden, die sich nicht nur auf die sogenannten Entwicklungsländer beschränken, sondern auch Industrieländer westlicher Prägung betreffen. Durch Hochwasser gebildete Katastrophenszenarien werden weltweit immer häufiger und nehmen an Intensität zu. Fluten haben neben anderen Naturkatastrophen den größten Anteil an den Schäden (siehe Kapitel 2.1, Seite 6).

Die durch Fluten hervorgerufenen Katastrophen werden in internationalen Organisationen debattiert. Die Konferenz Rio-92 (Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung - UNCED) ist ein Beispiel für den Versuch der internationalen Zusammenarbeit, nach Lösungswegen zu Auswirkungen von Naturkatastrophen wie beispielsweise Hochwasser zu suchen.

Die *Agenda 21* ist das wichtigste Abschlussdokument der Konferenz Rio-92. Es enthält Richtlinien für konkrete Tätigkeiten mit Zielen, Betriebsmitteln und definierten Verantwortlichkeiten, die als Handlungsanleitung für Regierungen und sonstige Gemeinschaftsinstitutionen dienen sollen, um eine Entwicklung im Einklang mit natürlichen Umweltbedingungen zu schaffen. Das Dokument (Kapitel 18.13) sieht im einzelnen auch die Gefahrenanalyse von Hochwasserereignissen und Auswertung der Umweltschäden vor [SENADO FEDERAL BRASILEIRO 1997]:

Alle Staaten, entsprechend Ihrer Kapazität und Verfügbarkeit an Mitteln, mittels bilateraler oder multilateraler Zusammenarbeit, einschließlich der Vereinten Nationen und anderer involvierter Organisationen, können, sofern es zweckmäßig erscheint, folgende Maßnahmen zur Verbesserung der integrierten Behandlung von Wasserressourcen einführen:

...

(f) Kampf gegen Hochwasser und Dürre, unter Zuhilfenahme von Risikoanalysen sowie Abschätzung der sozialen Folgen und die Auswirkungen auf die Umwelt;

...

Die Gefahr von Hochwasser als realer Bestandteil der natürlichen Bedingungen am Gewässer muss der Politik, den Institutionen und den Bürgerinnen und Bürgern bewusst gemacht werden, um die Begrenzung der Nutzungsansprüche am gewässernahen Raum zu erreichen[IKSR 1995]. Für die Rückversicherungen ist es ebenfalls von großem Vorteil, wenn die möglichen Schadensentwicklungen vor Ort bekannt sind.

In diesem Kontext wird mit der vorliegenden Arbeit versucht, die bisherigen Aktivitäten im Zusammenhang mit Flutmanagement um den Bereich der Visualisierung der Flutszenarien zu erweitern. Traditionelle Techniken wie z.B. thematische Karten, GIS und *Virtual Reality* werden somit erweitert.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung und wissenschaftliche Erprobung eines Erweiterte Realität Systems (ERS) zur Visualisierung virtueller Wasserspiegel in „realen“ städtischen Gebieten, um in einem veranschaulichten Szenario Überflutungssituationen darzustellen. Das System soll

darüber hinaus in der Lage sein, Berichte zu generieren. Diese Berichte sollen Fragen von Verantwortlichen und Betroffenen beantworten, die sich aus dem Hochwasserereignis ergeben.

Die durch dieses Verfahren der Visualisierung gewonnenen Vorteile gegenüber herkömmlichen Techniken müssen analysiert werden, sowohl hinsichtlich den Schwierigkeiten während des Aufbaus und dem Gebrauch des neuen Systems als auch hinsichtlich der neu geschaffenen Möglichkeiten.

1.3 Aufbau der Arbeit

In dieser Arbeit sollen Möglichkeiten zur Anwendung von ER-Systemen im Kontext des Katastrophenmanagements bei Flutereignissen aufgezeigt werden. Wesentliche Faktoren des Aufbaus und der Anwendung werden ebenso erörtert wie daraus resultierende Einsatzmöglichkeiten und die Analyse neuer Potentiale bei der Bekämpfung von Flutkatastrophen.

Kapitel 2 beschäftigt sich mit Untersuchungen zu Ursachen von Flutkatastrophen sowie den daraus resultierenden menschlichen und materiellen Schäden. Dabei wird insbesondere auf den Stand der Technik zur Vorbeugung und Bekämpfung derartiger Phänomene eingegangen und vorbeugende Maßnahmen beschrieben. Im Mittelpunkt steht die Analyse bereits angewandter Visualisierungstechniken im Flutmanagement unter den Gesichtspunkten ihrer Potentiale, Grenzen und Wechselwirkungen. Auf die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen sowie der Bedeutung von ER-Systemen in diesem Kontext wird am Ende dieses Kapitels eingegangen.

Auf die Technik von ER-Systemen wird ausführlich in Kapitel 3 eingegangen. Dabei geht es sowohl um die Darstellung von Grundlagen und Definitionen als auch die Betrachtung spezifischer Probleme und Eigenschaften. Anhand ausgewählter Beispiele soll dabei die fortschreitende Entwicklung und zunehmende Verbreitung dieser Visualisierungstechnik nachgezeichnet werden, ebenso wie daraus resultierende Tendenzen und Lösungsansätze.

In Kapitel 4 kommt der Aufbau und die Struktur des in dieser Arbeit entwickelten ER-Systems ausführlich zur Sprache. Im Mittelpunkt stehen dabei die eingesetzten Lösungsmöglichkeiten im Bereich von Hard- und Software wie auch der Zusammenhang von Datenerfassung, Datenorganisation und eine Untersuchung über die Möglichkeiten und Grenzen der eingesetzten Sensoren. Die Möglichkeiten zur Behebung spezifischer Probleme beim Aufbau eines ER-Systems werden ebenso diskutiert wie beispielsweise der Aufbau und die Funktion der eingesetzten Steuerungsmodule, die für die Kontrolle der Eigenschaften der visualisierten Szenen verantwortlich sind. Auch die Module für die Informationserfassung und für die Generierung von Berichten werden dabei vorgestellt.

Kapitel 5 beschreibt die Verfahren, die bei der Nutzung des Systems in zwei Testgebieten zum Einsatz kamen. Beispiele für dabei produzierte Aufnahmen werden aufgezeigt und Ergebnisse werden näher untersucht.

In Kapitel 6 werden die aus den Testläufen gewonnenen Resultate einer genaueren Analyse unterzogen. In diesem Zusammenhang werden sowohl allgemeine Erfahrungen als auch spezielle Probleme und Schwierigkeiten im konkreten Einsatz erörtert. Die Qualität der visualisierten Szenen wird in Bezug auf den erzielten realistischen Abbildungsgrad des Hochwasserszenarios analysiert, wobei die Wahrnehmung der Wasserspiegelposition, die Tauglichkeit der Module zur Aufnahme von Informationen, sowie die Methoden zur Generierung von Berichten entscheidende Faktoren der Beurteilung darstellen.

Kapitel 7 schließt die Arbeit mit einer allgemeinen Diskussion zum Beitrag des hier entwickelten ER-Systems im Kontext der Entwicklung neuer Strategien und Werkzeuge im Bereich des Flutmanagements. Auch darüber hinausgehende und denkbare Anwendungen werden dabei betrachtet und schließlich ein Blick auf den möglichen Einsatz dieses Systems in Brasilien geworfen.

Kapitel 2

Charakterisierung von Hochwasserszenarien und Hochwassermanagement

Im Kontext des Flutmanagements werden die Begriffe „Risiko“, „Katastrophe“ und „Schaden“ häufig verwendet [IKSR 1995, FRANK 1995, PORTMANN und GERHARD 1996]. Diese Wörter reflektieren die negativen Folgen, die für viele Einwohner städtischer Gebiete automatisch mit der Vorstellung von Fluten verbunden sind. Diesen Begriffen werden nach [DUDEN 2001] die folgenden Bedeutungen zugeordnet:

Risiko: *Möglicher negativer Ausgang bei einer Unternehmung, mit dem Nachteile, Verlust, Schäden verbunden sind.*

Katastrophe: *schweres Unglück, Naturereignis mit verheerenden Folgen.*

Schaden: *1) etwas, was die Gegebenheiten, die bestehende Situation in einer negativen, nicht wünschenswerten Weise verändert; 2) teilweise Zerstörung, Beschädigung, Defekt; 3) durch Verlust oder Zerstörung eines Guts entstandene Einbuße.*

Dies zusammengenommen kann eine typische Flutscene im städtischen Bereich kennzeichnen. Das Phänomen der Fluten kann für die Menschen verhängnisvolle Folgen mit sich bringen, wenn die Risiken bei menschlichen Besiedlungen oder der Installierung von materiellen Gütern in Überschwemmungsbereichen nicht bekannt sind oder nicht beachtet werden.

Hochwasserereignisse sind natürliche Phänomene. Das Risiko entsteht aber durch menschliche Aktionen. Folgende Aktivitäten des Menschen tragen zu Hochwasserereignissen und Hochwasserschäden bei, wie auch in [PORTMANN und GERHARD 1996, FRANK 1995] diskutiert wird:

- Auengebiete werden immer mehr besiedelt und die natürlichen Überschwemmungsgebiete werden so immer kleiner;
- Die Begradigung von Flüssen führt dazu, dass die Fliessgeschwindigkeit des Wassers grösser wird;
- Deichbrüche können eine starke Welle von Wasser in städtischen Gebieten verursachen;

- Der anthropogene Anteil an der globalen Klimaerwärmung durch Austoß von CO_2 kann ebenfalls eine Rolle spielen.

Diese aufgeführten häufigen Ursachen sind letztendlich auch der Grund für reale Katastrophen, bei denen oftmals eine hohe Zahl von Toten, Verletzten und Obdachlosen zu beklagen ist, ganz abgesehen von materiellen Verlusten. Die Schäden entstehen vor allem dadurch, dass die Menschen immer mehr die Überschwemmungsbereiche besiedeln.

Nach [PLATE 2004] können Schutzmaßnahmen gegen Risiken bei natürlichen Ereignissen die völlige Sicherheit nicht garantieren, sondern nur bis zu einem bestimmten Grad, was von der technischen und wirtschaftlichen Befähigung eines jeden Landes abhängt. Dieser Autor analysiert in seiner Arbeit gründlich die Risikofaktoren. Die Entscheidung für oder gegen die Besiedelung eines Gebietes soll durch Analyse der Vor- und Nachteile, die mit dem Risiko in Zusammenhang stehen, erleichtert werden.

Obwohl viele Länder bereits größere Erfahrung im Management von Hochwasserereignissen haben, wurde bisher noch kein leistungsfähiger und allgemein übertragbarer Lösungsansatz gefunden: Hochwasser sind in jedem Gebiet stark von den lokalen geographischen Eigenschaften abhängig, weshalb sich eine allgemeine Lösung nicht angeben lässt [FRANK 1995].

Bei allen Maßnahmen des Hochwassermanagements geht es vor allem um die rechtzeitige Schadensabwehr und um die kontrollierte Begrenzung von Schäden. Es ist daher notwendig, dass Fachleute und Bürger die drohenden Gefährdungen wahrnehmen, um entsprechende Aktionen zur Verringerung der Schäden einleiten zu können. Visualisierungstechniken spielen in diesem Informationsprozess eine wichtige Rolle.

Im Folgenden werden die Hochwasserschäden und die Schutzmaßnahmen näher analysiert. Im Anschluss daran wird die Anwendung von Visualisierungstechniken im Hochwassermanagement behandelt.

2.1 Hochwasserschäden

Hochwasser machen einen hohen Anteil am Prozentsatz der allgemeinen Naturkatastrophen aus. 2002 verursachten sie 30% der Schadensereignisse, 42% der Todesopfer, 50% der wirtschaftlichen Schäden und 37% der versicherten Schäden weltweit [RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT 2003].

In [IKSR 1995] werden die Hochwasserschäden als Ergebnisse des Zusammenwirkens zweier unabhängiger Faktoren erklärt: Einerseits werden die Hochwasserstände - zum Teil auch durch menschliche Eingriffe verstärkt - durch natürliche Ursachen hervorgerufen, andererseits werden durch verdichtete Ansiedlungen an Gewässern zusätzliche Schadenspotentiale geschaffen. Das Zusammenwirken beider Faktoren führt zu Hochwasserschäden.

Die unberührte Naturlandschaft kennt also keine Hochwasserschäden, sondern nur Erneuerung und Umgestaltung. Schäden entstehen nur im Konflikt mit menschlicher Nutzung, vor allem durch:

- die Zunahme der Weltbevölkerung, insbesondere in den letzten zwei Jahrhunderten. Dadurch wurden immer intensiver die Flächen neben den Flüssen aktiv genutzt und immer größere Bereiche mussten gegen die Fluten geschützt werden;

- die Besiedlung auch tiefliegender Flächen entlang der Flussufer, deren potentielle Anbauflächen durch die Ablagerungen der Fluten gedüngt werden und in denen die Kraft des Wassers für den Betrieb etwa von Mühlen genutzt wurde und häufig mit der Errichtung technischer Anlagen einhergeht.

Ereignisse wie die großen Überschwemmungen in Mitteleuropa 2002 haben gezeigt, dass außerordentlich große Anstrengungen unternommen werden müssen, um komplexe Katastrophen zu bewerten und zu analysieren. Erst danach ist es möglich, ein umfassendes Bild des Schadens zu zeichnen und erste stabile Schätzungen vorzunehmen.

Die Schäden werden in [IKSR 1995] in vier Kategorien aufgeteilt:

Gefährdung von Menschleben: Hochwasser gefährden meistens dann Menschenleben, wenn es sich um die seltenen extremen Hochwasserereignisse mit hohen Fließgeschwindigkeiten oder großen Überschwemmungstiefen handelt. Dabei verschärfen der Überraschungsfaktor, der fehlende Schutz der Gebäude und die mangelnde Einschätzung des Gefahrenpotentials die Probleme weiter. Hier sind auch Folgeschäden für die Gesundheit von Menschen nicht zu unterschätzen.

Schäden an ökonomischen Werten: Ökonomische Schäden werden zwar in Geldeinheiten gemessen, beurteilt werden sie aber an der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit des betroffenen Systems. Es kann zwischen den direkten und indirekten Schäden unterschieden werden. Direkte Schäden sind die, unter denen in der Regel der Ersatz von zerstörten Gütern (Gebäude, Gerätschaften, Ackerland und Kulturen, Infrastruktur) verstanden wird. Indirekte Schäden sind beispielsweise Betriebsausfall, Kosten der Unterbrechung und Marktverluste.

Schäden an gesellschaftlichen Werten: Hochwasser, insbesondere lang andauernde Ereignisse, können auch bestehende soziale Strukturen beeinflussen. In einer ersten Phase wird durch die Bedrohung ein verstärktes Gemeinschaftsgefühl erzeugt. In späteren Phasen machen sich Gefühle der Ohnmacht gegenüber der Naturgewalt breit. Existenzangst kommt auf. Initiative und Investitionsbereitschaft sind dadurch gehemmt, was in eine negative Entwicklungsspirale führen kann.

Ökologische Schäden: Bei ökologischen Schäden durch Hochwasser denkt man vor allem an Folgeschäden durch die Freisetzung gefährlicher Stoffe infolge von Überschwemmungen von Warenlagern.

2.2 Schutzmaßnahmen

Die Anfänge der Verteidigung gegen Fluten liegen ungefähr 6000 Jahre zurück, als erste menschliche Gruppen sesshaft wurden [FRANK 1995]. Der Schutz gegen Fluten bestand im Aufbau von Dämmen, Uferschutz, Umleitungen und Abflusskanälen. Die Steuerung der Fluten wurde mittels Eindämmungen vorgenommen, wodurch die Spitzen des Wasserniveaus verringert werden konnten.

Es gibt zwei Ansätze gegen die menschlichen und materiellen Verluste bei Hochwasserereignissen vorzugehen: Einerseits kann das Hochwasser selbst durch verschiedene Einrichtungen vermieden oder eingedämmt werden. Andererseits kann das Bewusstsein der Menschen dafür

erhöht werden, Hochwasserschäden durch die Besiedlung sicherer Bereiche zu vermeiden oder die richtigen Maßnahmen bei einem trotzdem eintreffenden Hochwasserereignis zu treffen. Für beide Aspekte spielen Simulation und Visualisierung eine wichtige Rolle, da sie über das Schadensausmaß informieren und befürchtete Schäden bereits vor dem eigentlichen Ereignis deutlich machen.

2.2.1 Hochwasserprognose und -simulationen

Überflutungen im städtischen Bereich können mit einem hohem Grad an Realitätsnähe simuliert werden. Mit Simulationsergebnissen können gut lesbare und lösungsorientierte Visualisierungen geschaffen werden, um den Zustand der Infrastruktur zu erfassen, Schwachstellen zu erkennen und bereits im Vorfeld Lösungsmöglichkeiten zu erarbeiten - um letztendlich den Überraschungsfaktor größerer Katastrophen auszuschalten.

Nach [OBERLE et al. 2004] werden in der gegenwärtigen Praxis computergestützte Hochwasser-simulationen basierend auf hydrodynamisch-numerischen Verfahren zur Berechnung von Strömungsmodellen und GIS-Technologien durchgeführt. Dazu müssen sowohl Höhendaten eines Gebietes als auch entsprechende Daten über die Niederschlagsmenge vorhanden sein.

Die Anwendung von Geo-Informationssystemen (GIS)¹ spielt eine besondere Rolle, welche hinsichtlich der Simulation im dreidimensionalen Raum neue Anwendungsmöglichkeiten bieten. In der Literatur werden einige Lösungen in diesem Sinne dargestellt, wie beispielsweise [OBERLE et al. 2000, UNESCO 1999, CASPER und IHRINGER 1998].

Nach [BOOMGAARD et al. 1999] kann GIS als Werkzeug bei der Vor- und Nachbearbeitung für die hydrologische Modellierung von Fluten verwendet werden, da es topographische Daten mit anderen Eigenschaften wie Bodenbeschreibung, Bodennutzung, Bodendeckung, Grundwasserzustände oder Niederschlagsmengen verbinden kann.

2.2.2 Baukonstruktive Maßnahmen

Bestimmte Schutzmaßnahmen können den Zufluss des Wassers in den städtischen Bereich verhindern oder zumindest verzögern. Der Bau von Deichen oder die Verbesserung der Entwässerungskanäle sind Beispiele von konstruktiven Baumaßnahmen. Ein Gebiete kann bei steigendem Pegel auch mit mobilen Hochwasserschutzwänden abgesperrt werden. Die Grenzen all dieser Maßnahmen liegen jedoch darin, dass sie für bestimmte Wasserniveaus geplant werden. Steigt der Pegel über dieses Niveau an, werden Deiche und Mobilwände überflutet und die Entwässerungskanäle brauchen mehr Zeit, um zu entwässern.

Deshalb wird in Zusammenhang mit Hochwassermanagement die Kenntnis der Höheninformation immer als ein zentraler Faktor genommen, da wenige Zentimeter Unterschied in der Höhe bei Überschwemmungen ausschlaggebend sein können.

Baukonstruktive Lösungen bieten Sicherheit gegen Hochwasserschäden bis zu einem bestimmten Niveau. Was durch diese Ansätze nicht abgedeckt werden kann, muss als Risiko behandelt werden. Es ist also sehr wichtig, dass es Möglichkeiten gibt, das Risiko so genau wie möglich einzuschätzen. [PLATE 2004] hat das Risiko in diesem Zusammenhang durch einen „Risikoausgleich“ und einen „Schadenanfälligkeitsindex“ quantifiziert, die die Größenordnung, die Folgen

¹Siehe Definition in Seite 13.

und die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses sowie die Reparatur- oder Ersatzkosten und die totale Menge an Gütern auf dem Gebiet berücksichtigen.

2.2.3 Vorwarnung

Wie [FRANK 1995] explizit beteuert, können präventive Maßnahmen wie z.B. Alarm- und Prognosesysteme jedoch erfolgreicher als die Anwendung von Hochwasserschutzbauten sein. Grund dafür sei, dass die bis heute primär ingenieurtechnischen Maßnahmen nur selten auf einem umfassenden Umweltmanagement basierten, sondern eher auf kurzfristige Lösungen für lokale Probleme ausgerichtet seien.

Die Vorwarnung ist ein wichtiges Mittel zur Reduzierung von Schäden. Unter dem Aspekt der Vorwarnung lassen sich zwei Szenarien bilden, die sich im Faktor *Zeitpunkt* unterscheiden: Zum einen die kurzfristige Warnung, die als „Hochwasseralarm“ bekannt ist und einige Stunden vor dem Ereignis durch Kommunikationsmedien (Fernsehen, Radio, Telefon, u.a.) verbreitet wird. Zum anderen die langfristige Warnung, die vor allem zur Sensibilisierung in der Bevölkerung bereits im Vorfeld beitragen kann und Grundlage der Planung für die kurzfristige Warnung darstellt.

Nach [OBERLE et al. 2004] spielt der Aufbau eines zuverlässigen Frühwarn- und Vorhersagesystems gekoppelt mit einer effektiven Alarmierung- und Einsatzplanung zur Begrenzung der Schaden bei Hochwasserereignissen eine zentrale Rolle. Grundlage dabei ist die kontinuierliche Aufklärung der Bevölkerung über die Gefahren.

Kurzfristige Vorwarnung

Durch meteorologische Beobachtungen mittels Satelliten und durch Messwerte von Wasserniveau in Flüssen ist es möglich, mit einer bestimmten Genauigkeit Niederschläge vorherzusagen, die eine Flutsituation verursachen können. Das kann innerhalb von Tagen oder Stunden geschehen, bevor das Ereignis auftritt. Abhängig von der Einschätzung der so ermittelten Gefahr kann Hochwasseralarm gegeben werden. Es gilt zudem, den zur Verfügung stehenden Zeitraum der Hochwasserentwicklung noch besser als bisher zur materiellen Schadensminderung zu nutzen. [IKSR 1995] erklärt beispielsweise, dass in einer Hochwasseralarmsituation in erster Linie die rechtzeitige Evakuierung von Menschen und Tieren in die Wege geleitet werden muss.

Langfristige Vorwarnung

Eine weitere wichtige Zielsetzung ist die Information der Bevölkerung. Diese wird dadurch in die Lage versetzt, individuelle Vorsorge zur Abwehr möglicher Eigentumsschäden zu treffen und auch bei der gemeinsamen Arbeit zu unterstützen. [TORTEROTOT et al. 1992,ASENDORPF und KAMLAGE 2004] behaupten beispielsweise, dass ohne Problembewusstsein der Bevölkerung ein wirksamer Katastrophenschutz nicht möglich ist.

Ein anderer wichtiger Aspekt ist, dass Informationen über Hochwasserereignisse in einer einfachen, jedermann zugänglichen Form geliefert werden sollen, damit jeder das Szenario ohne Schwierigkeit deuten und persönliche Entscheidungen treffen kann.

Die solidarische Vorsorge der Gemeinschaft hat auch Grenzen. Auch beim Hochwasser bleibt letztlich die Verantwortung des Einzelnen für sein Handeln [IKSR 1995]. Jeder Bürger muss

wissen, was er im Hochwasserfall selbst unternehmen soll. Die Gemeinschaft kann aber den Bürgern Richtlinien anbieten, die sie bei individuellen Vorsorgemaßnahmen unterstützen. Die Öffentlichkeit wird somit bereits im Vorfeld sensibilisiert.

Hochwasseraktionspläne werden von sogenannten Hochwasserpartnerschaften erstellt, unter anderem mit dem Hauptziel, das Bewusstsein der Bevölkerung für die Hochwassergefahren zu stärken. Beispiele dazu sind in Deutschland die Hochwasserpartnerschaft Donau, Hochwasserpartnerschaft Enz/Nagold/Würm und die Hochwasserpartnerschaft in Wangen im Allgäu.

2.3 Stand der Forschung bei Visualisierungstechniken für Hochwasser

Die Visualisierung des Raumes spielt eine wichtige Rolle in jedem Aktionsplan. Risikostandorte darzustellen und zu veranschaulichen erleichtert in vielen Fällen Analyse, Bewertung und transparente Beratung. Visualisierungen können zwei- oder dreidimensional, mit analogen oder digitalen Karten und Bildern oder in virtueller Welten ausgeführt werden. Nach [WELCH 1978] „überschreibt“ die visuelle Information alle anderen Sinne.

Im Zuge der immer schnelleren technischen Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Informatik in den letzten Jahren, wurde auch eine immer bessere Darstellung der Rauminformation gefordert. Heutzutage erleben wir gestiegene Möglichkeiten bei der realistischen Abbildung städtischer Gebiete.

Nach [OBERLE et al. 2004] spielt der Einsatz moderner Visualisierungstechniken bei Hochwassermanagement eine wichtige Rolle, da die Wirksamkeit der Öffentlichkeitsarbeit so nachhaltig unterstützt wird.

2.3.1 Zweidimensionale Visualisierung

Karten und Bilder

Karten und Bilder sind zweidimensionale Repräsentation der dreidimensionalen Welt. Diese Arten der Repräsentation entsprechen der kartographischen und photographischen Darstellung der Erdoberfläche. Bilder enthalten die Informationen, die mit bildgebenden Sensoren erfaßt werden können. Karten dagegen stellen filtrierte Information dar, die durch menschliches Wissen verarbeitet wurde. Bilder enthalten deshalb mehr und detailliertere Informationen als Karten: Würde eine Karte alle Informationen eines Bildes enthalten, würde sie unleserlich werden [BÄHR 1999a]. Deshalb wird die Information abhängig von ihrem Maßstab (kartographisch) generalisiert.

Die größere Menge an Informationen, die Bilder im Vergleich zu Karten liefern, bedeutet jedoch nicht, dass Bilder wertvoller sind als Karten: Sie sind nur zwei unterschiedliche und komplementäre Arten der Darstellung von Informationen.

Bei Hochwassermanagement sind meistens die Bilder der Erdoberfläche von Satelliten aus aufgenommen. Satellitenbilder ermöglichen nach [CENTENO 2000] eine flächenhafte Erfassung der

²Quellen: <http://www.wbw-fortbildung.de/partner/dl/HWP-Konzeption.pdf> http://www.nordschwarzwald-region.de/aktuell/akt_pres.htm und http://www.baden-wuerttemberg.de/sixcms/detail.php?id=46700&template=4_1_pressemit_detail

Erdoberfläche, sind aber auf pixelbezogene spektrale Eigenschaften beschränkt. Sie bestehen aus einer Menge von Bildelementen (Pixel), die Daten über die reflektierte oder emittierte Strahlung der Erdoberfläche speichern. Abbildung 2.1 zeigt ein Beispiel eines Radar-Aufnahmes vom Überschwemmungsgebiet im Raum Wittenberge (Deutschland).

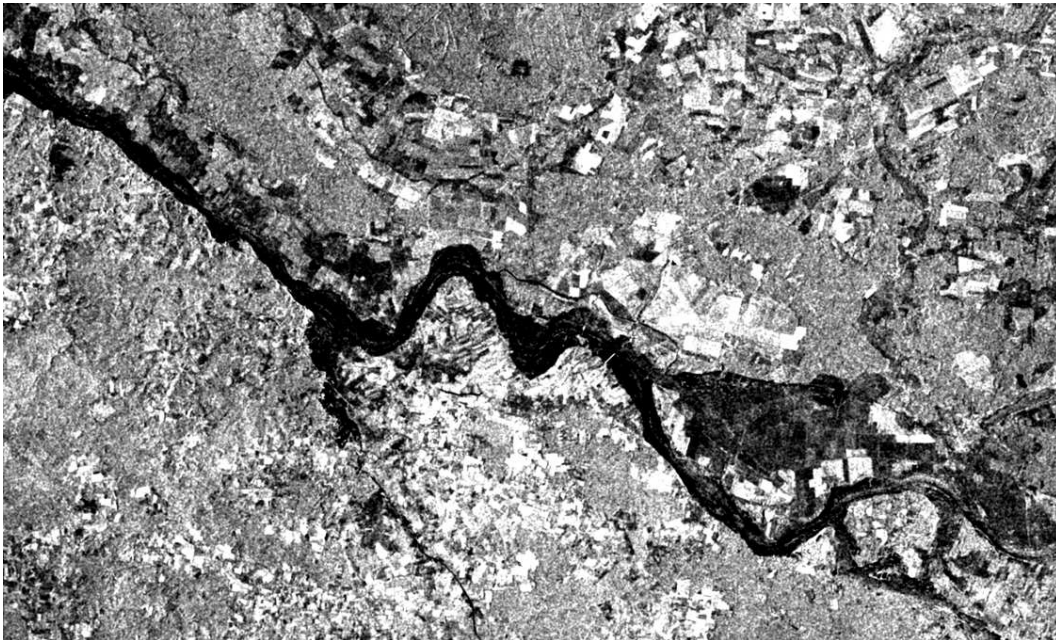


Abbildung 2.1: „Die ERS-2 Radar-Aufnahme vom 25. August 2002 zeigt überflutete Flächen nordwestlich der Stadt Wittenberge. Deutlich treten sie als dunklen Bereiche entlang des stark verbreiterten Flußlaufes der Elbe hervor“. ©DLR / ESA.

http://www.dlr.de/caf/aktuelles/news-archiv/themen/hochwasser2002/_hochwasser2002/hochwasserbilder2002_ge.htm

[BÄHR 1999a] analysiert die Bilder in Bezug auf ihre Plattform, Sensoren und Maßstäbe und stellt fest, dass:

- Satelliten als typische Plattformen für multispektrale Abtaster dienen und Bilder in kleinem Maßstab liefern, die für ökologische Überwachung geeignet sind und
- flugzeuggetragene Kameras Bilder in großem Maßstab liefern, die z. B. bei Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) helfen.

Luftbilder können also auch bei Hochwassermanagement behilflich sein. Die abgebildeten Flächen können pro Bild nicht so groß wie bei Satellitenbildern sein, aber die aufgenommene Information ist wegen der großen Maßstäbe bei Luftbildern detaillierter. Beide Arten von Bildern ergänzen sich beim Hochwassermanagement.

Die Bilder spielen nicht nur eine wichtige Rolle bei der Visualisierung von Hochwasserszenarien, sondern liefern auch andere wertvolle Informationen. Mittels Stereophotogrammetrie können digitale Gelände- und Oberflächenmodelle abgebildet werden, die als Quelle von Höheninformationen und anderen Eigenschaften der Erdoberfläche bei Hochwassersimulationen dienen [SMITH et al. 2004].

Die Informationen bei spezifischen Fällen sind in Karten bereits evident gemacht, wobei andere nicht relevante Informationen eliminiert werden. Die Maßstäbe der Karten müssen mit dem gewünschten Abstraktionsgrad der Information übereinstimmen.

Abbildung 2.2 stellt ein Beispiel einer Karte mit dem Ergebnis einer Hochwassersimulation dar. Dabei werden außer den überflutenden Bereichen einige Höhendifferenzen zur Wasserpiegellage zur Identifikation geeigneter Standorte für beispielsweise Notzelt und Lagerplätze gezeigt [OBERLE et al. 2004].

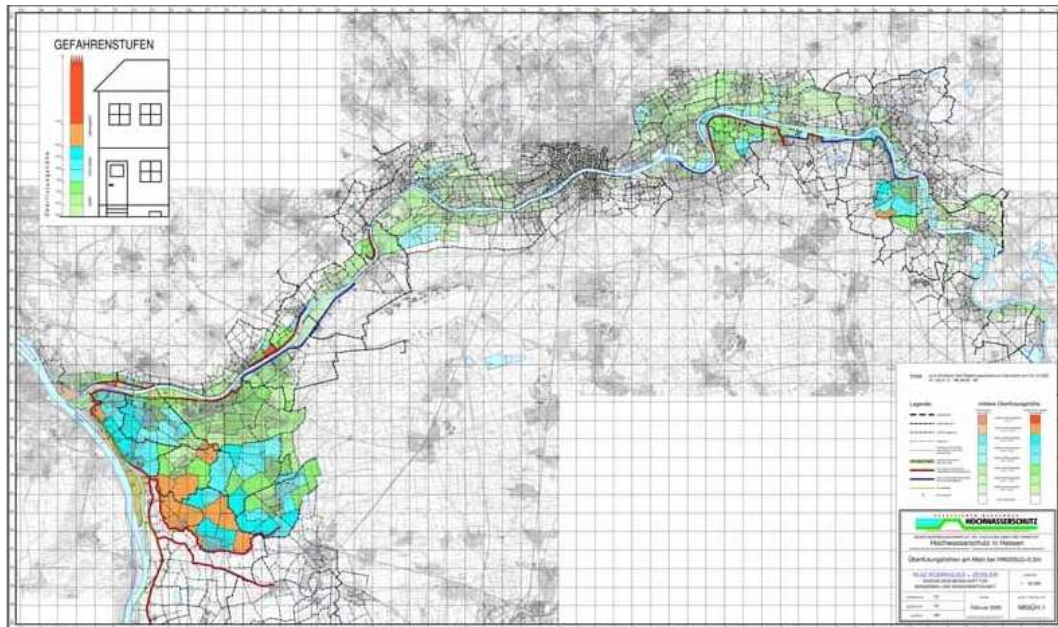


Abbildung 2.2: Regierungspräsidium Darmstadt: Hochwassergefahrenkarte für den hessischen Main <http://www.rp-darmstadt.de/dezernate/abflussverhaeltnisse/hochwassergefahrenkarten/main.htm>

Karten der Hochwassergefährdung müssen integraler Bestandteil aller flächenwirksamen Planungen sein [IKSR 1995]. Informationen in Hochwassergefahrenkarten können für die Vorsorge durch Versicherungen gegen Hochwasserschäden sehr behilflich sein. Solche Karten helfen ebenfalls dabei, Schwachstellen bei Hochwasserschutzsystemen zu identifizieren.

Auf Karten und Bilder kann man in einer natürlichen und gewöhnlichen Weise einwirken, wie mit anderen „realen“ Dingen der Welt auch. Wenn aber nur Karten und Bilder zu Verfügung stehen, muss sich ein Bearbeiter die dritte Dimension „vorstellen“, was vom Grad der individuellen Abstraktionsfähigkeit abhängig ist.

Geo-Informationssysteme (GIS)

Nach [BATTY 2003] ist unter verschiedenen Aspekten die Entwicklung von Geo-Informationssystemen offensichtlich ein Schritt in Richtung auf eine „digitale Welt“ in der die Verarbeitung von Karten und die Ablage ihrer Daten neue und breitere Anwendung erfahren.

Folgende Definition für Geo-Informationssysteme kann in [BÄHR 1999b] gefunden werden:

GIS ist ein Werkzeug für die Planungsentwicklung und Umweltkontrolle sowie ein Instrument zur Unterstützung bei Entscheidungen. Es besteht zum einen aus einer georeferenzierten Datenbank, zum anderen aus den Techniken für die Datenerfassung, Aktualisierung, Verarbeitung und Visualisierung der Resultate. Die semantischen Daten hängen geometrisch mit einem homogenen georeferenzierten Koordinatensystem zusammen, was eine kontrollierte Wechselbeziehung der Informationen erlaubt.

Diese Definition beschränkt GIS nicht nur auf die Gruppierung von Hardware, Software, Anwendungen und georeferenzierte Daten (wie häufig gefunden werden kann), sondern erweitert GIS insofern, als das Treffen von Entscheidungen auch ein Bestandteil eines GIS ist. [BÄHR 1999b] beschreibt auch die Nutzung von GIS als sinnvoll bei der Identifizierung von gefährdeten Gebieten, wobei Überschwemmungen als Funktion von Niederschlag, Topographie, Vegetation, Bodenart, u.a. simuliert werden können.

Bilder können als Layer in GIS eingefügt werden. Sie müssen aber geokodiert sein [BÄHR 1999a], da nur so Bilder mit anderen Informationen geometrisch und logisch verknüpft werden können.

Die Visualisierung von Hochwassersimulationen ist heute durch die Verwendung von Geo-Informationssystemen gekennzeichnet, die zweidimensionale Visualisierungen und Funktionen zur Datenanalyse und zur Erstellung thematischer Karten (wie z.B. Bevölkerungsdichte, Bodennutzung) anbieten.

In Locarno (Schweiz) wird von den Behörden bei Hochwasser- und Katastrophemanagement unter anderem der Einsatz von Web-GIS Applikationen erprobt. Nach [FAUTH 2004] soll der Einsatz dieser Systeme den lokalen Behörden bei Hochwasseralarm entscheidende Verbesserungen in der Einsatzplanung und -leitung bringen. Das System integriert bestehende kommunale Daten, wie etwa Topographie, Katasterpläne und Einwohnerregister mit Informationen in ihrem räumlichen Bezug. Aktuell und in Echtzeit vermitteln die dynamischen Situationspläne den Einsatzleitern so ein Gesamtbild der Lage und erleichtern ihnen Entscheidungen und die Koordination der Einsatzkräfte.

Für Ausweisung, Auswertung und Simulation von Hochwasserereignissen bieten sich die umfangreichen Funktionen eines Geo-Informationssystems an. Über hochgenaue digitale Geländemodelle (DGM) sowie die notwendigen hydraulischen und hydrologischen Informationen ließen sich im Idealfall nahezu alle eventuellen Szenarien mittels komplexer hydraulischer und hydrologischer Modelle simulieren [PÖSCHKE 2004]. Der Autor erklärt jedoch, dass die notwendige Datenbank normalerweise nur mit viel Zeit und Geld aufgebaut werden kann. Diese Forderungen können aber minimiert werden, beispielsweise durch die Nutzung von vorhandenen analogen Karten als Basis für das digitale Geländemodell.

Es gibt eine enge Beziehung zwischen dem Einsatz von GIS und der Erstellung von Risikokarten. Nach [PLATE 2004] werden heutzutage bei guten Risikoanalyseverfahren solche Karten durch GIS erzeugt.

Abbildung 2.3 zeigt ein Beispiel eines städtischen Gebietes in einem GIS, wobei berechnete Wassertiefen auf Vektordaten überlagert werden. Aus einem solchem System lassen sich thematische Karten erstellen, wie beispielsweise Gefahrenkarten, welche die Wassertiefen mit Informationen über Schadenspotential im Gebiet assoziieren.

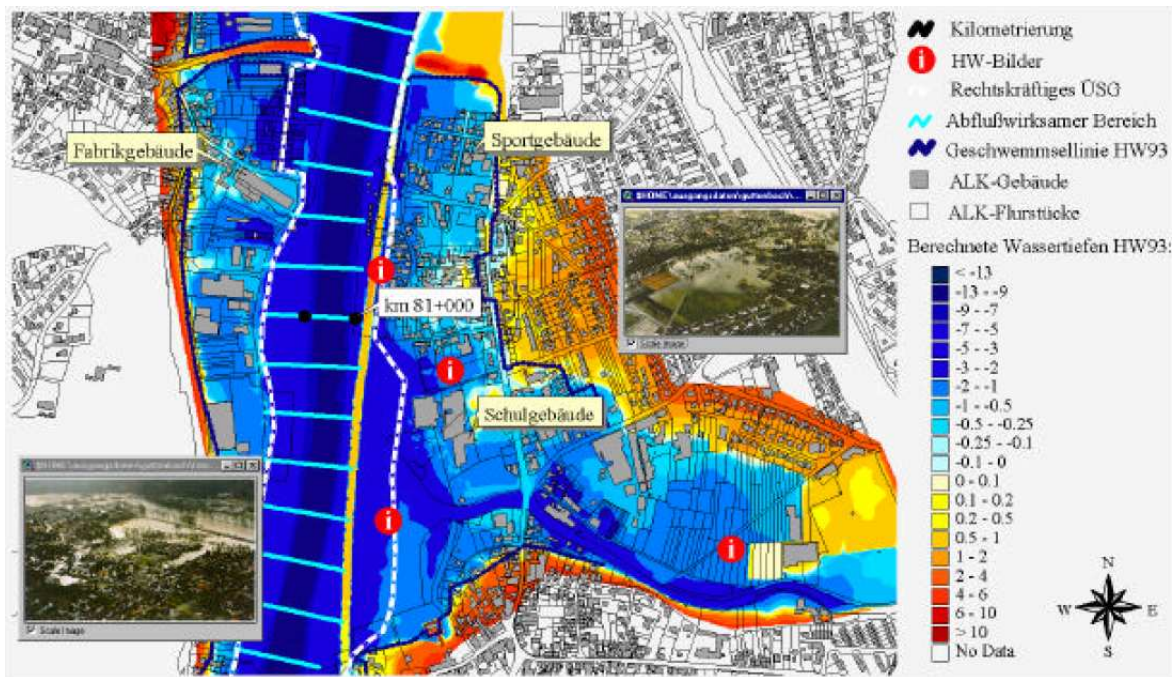


Abbildung 2.3: Zweidimensionale Visualisierung im GIS: „Überlagerung hochwasserrelevanter Daten für den Bereich der Elzmündung bei Neckar-km 81,0“ [ÖBERLE et al. 2000]

2.3.2 Dreidimensionale Visualisierung

Dreidimensionale Visualisierung ergänzt die zweidimensionale Visualisierung, wobei sich manche Details in dem untersuchten Bereich leichter in 3D identifizieren lassen. Bei dreidimensional visualisierten Szenen werden normalerweise größere Maßstäbe als bei Karten benutzt. Außerdem wird auch normalerweise versucht, ein möglichst realistisches Szenario darzustellen.

Die ersten Versuche der Übertragung herkömmlicher ikonischer Repräsentationen einer Stadt auf einen Computer wurden nach [BATTY 2003] bereits seit Einführung der *Computer Aided Design* (CAD) -Systeme vorgenommen. CAD tauchte Anfang der 80er Jahre parallel mit der Verbreitung des *Personal Computers* (PC) am Markt auf. Viele 3D-Modelle von Städten wurden mit Hilfe der CAD-Systeme erzeugt. Mit Beginn der Vernetzung durch das World Wide Web kamen äquivalente Modelle hinzu. Erwähnt werden soll in diesem Zusammenhang beispielsweise die Einführung der sogenannten *Virtual Reality Modelling Language* (VRML) -Modelle mit ihren Steuerungs- und Navigationsmöglichkeiten.

Inzwischen haben immer leistungsfähigere Geo-Informationssysteme die Bedeutung der rein CAD-gestützten Visualisierung abgelöst. Die Aussagekraft wird durch photorealistische Oberflächenstruktur erhöht und die Höheninformationen werden durch unterschiedliche Fernerkundungsverfahren gewonnen.

Abbildung 2.4 zeigt beispielsweise ein überflutetes städtisches Gebiet dreidimensional in einer virtuellen Welt. Das ganze Szenario wird dabei künstlich reproduziert. Die virtuellen Objekte bestehen aus Geländeoberfläche und Gebäudemodellen. Die Textur für das Geländemodell kann beispielsweise aus Kartenmaterial oder Orthophotos gewonnen werden. Die Textur für die Gebäude kann durch terrestrische Photogrammetrie aufgenommen werden.

Dreidimensionale Visualisierungen können die Vorstellung eines Hochwasserszenarios vereinfachen.

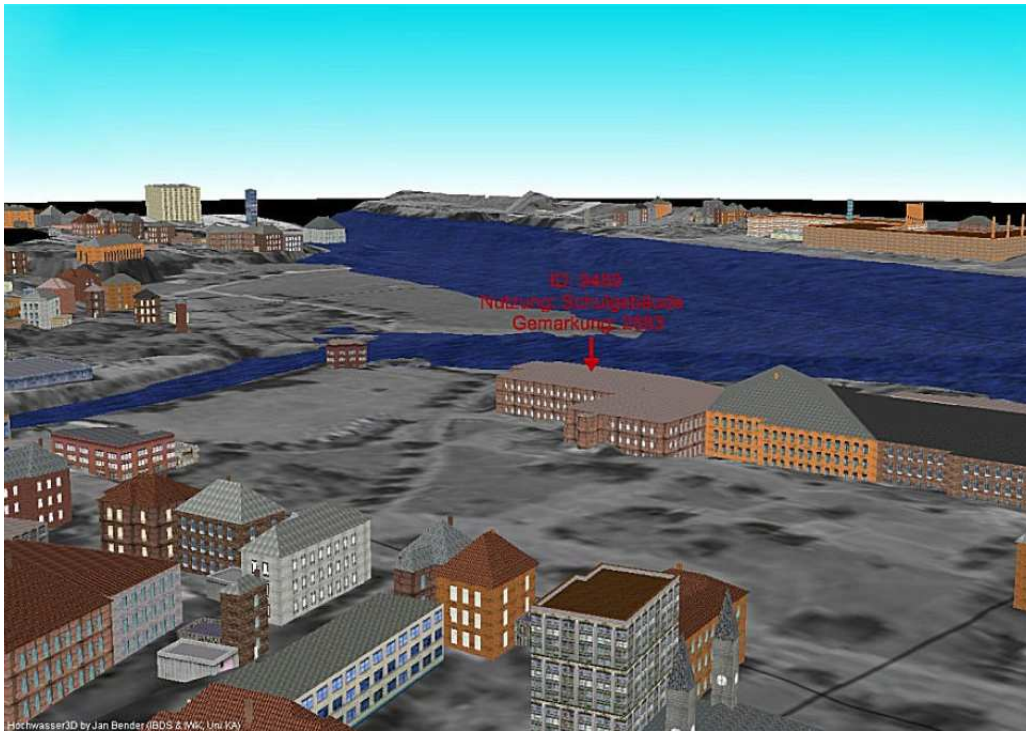


Abbildung 2.4: Dreidimensionale Visualisierung in einer virtuellen Welt: „Interaktive 3D-Echtzeit-Navigation durch Geodatenbestände zur Hochwassersimulation“ [BENDER und OBERLE 2003]

chen, erfordern aber auch eine große Menge von Daten. Für jede Art von Visualisierung gilt: Je mehr sich das virtuelle Modell der realen Welt annähert, desto größer ist die Menge von Information, die gemessen, gespeichert und dargestellt werden muss. Für den Fall dreidimensionaler Visualisierungen ist dieses Problem noch größer. Eine hohe Qualität der wirklichkeitsnahen Abbildung eines Szenarios, das mit Hilfe der *Virtual Reality* erreicht werden soll, erfordert einen Rechner mit hoher Verarbeitungskapazität.

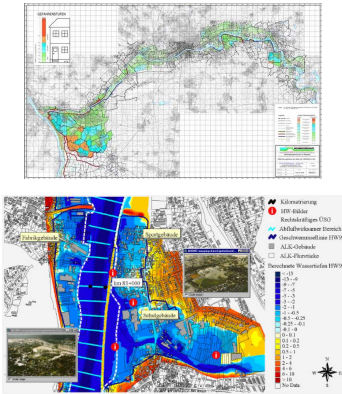
Nach [OBERLE et al. 2004] sind die Bearbeitungs- und Rechenzeiten zur Erstellung einer realitätshohen freien Navigation in Echtzeit durch die aufbereiteten Datenbestände bei größerer Datenmenge bzw. Modellauflösung enorm oder sogar unmöglich.

2.4 Erweiterte Realität: Eine neue Möglichkeit zur Hochwasservisualisierung

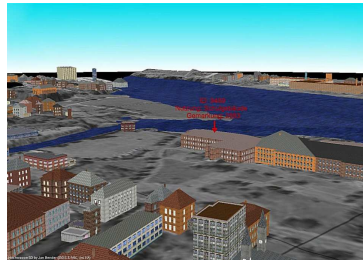
Die Darstellung virtueller Flutsituationen direkt in die „reale Welt“ (siehe Definition in Kapitel 3) stellt eine neue Möglichkeit zur Visualisierung im Hochwassermanagement dar. ERS unterscheidet sich gegenüber anderen Visualisierungstechniken durch den erhöhten Grad der realistischen Darstellung der Szene, wie in Abbildung 2.5 dargestellt.

Es ist nicht zu erwarten, dass virtuelle Welten so realistisch wie die reale Welt selbst irgendwann in der Zukunft sein werden: die Komplexität und die hohe Menge der Details ist künstlich einfach unerreichbar. Mit Hilfe von ER-Systemen ist dies jedoch möglich, da die reale Welt direkt visualisiert wird, ohne dass sie synthetisiert werden muss. Die Sichtbarmachung einer Flutszene

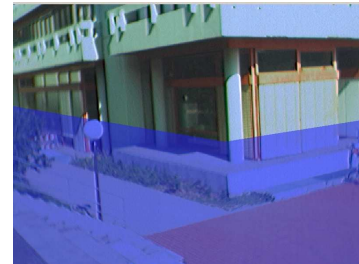
Karte und GIS



Virtual Reality



Erweiterte Realität



Maßstab, Detailniveau, Realismus

Abbildung 2.5: Erweiterung des Realismus und des Detailniveaus durch ER

direkt in der realen Welt kann für die Kennzeichnung von Details sehr nützlich sein, die durch andere Visualisierungstechniken unentdeckt bleiben würden, wie beispielsweise die Schwachstellen eines Gebäudes beim Eindringen von Wasser oder welche Räume besonders gegen das Wasser geschützt werden müssen. In dieser Richtung bietet diese Technik eine Ergänzung für die Identifizierung der Schäden.

Kapitel 3

Erweiterte Realität (ER) - Definition und Entwicklung

In diesem Kapitel kann aufgrund der Vielzahl von immer weiter fortschreitenden weltweiten Entwicklungen auf diesem Gebiet kein vollständiger Überblick über den Stand der Forschung gegeben werden. Stattdessen sollen hier die beteiligten Hauptkonzepte und Eigenschaften von ER dargestellt werden.

Im Laufe dieses Kapitels und auch bis zur Ende dieser Arbeit werden oft einige Begriffe verwendet, die für das Verständnis der mit dem ER-Systeme verbundenen Definitionen und Prozesse wesentlich sind. Diese Begriffe sollen in dieser Arbeit wie folgt verstanden werden:

- **Reale Welt:** Der Mensch nimmt die reale Welt als Realität wahr. Die Realität wird, wie in [LEEPMANN et al. 2004], für „(menschliche) Anschauung“ gesetzt. Das geschieht nach [BÄHR und MÜLLER 2004] durch begrenzte Beobachtungen von Projektionen¹.
- **Reale Objekte:** Mit diesem Begriff werden die Gegenstände, aus denen die reale Welt aufgebaut ist, definiert.
- **Virtuelle Welt:** Im Gegensatz zu der realen Welt ist die virtuelle Welt ein künstlicher, mit dem Computer generierter Raum.
- **Virtuelle Objekte:** Die mit Computer generierten Objekte, die sich in der virtuellen Welt befinden, sind die virtuelle Objekte. Zwei Arten von virtuellen Objekten sind im Kontext von ER zu unterscheiden:
 - **Erweiternde Objekte:** Erweiternde Objekte sind virtuelle Objekte aus einer virtuellen Welt, die in der realen Welt sichtbar gemacht werden.
 - **Modelle der realen Objekte (Topographie) oder Phantome:** Phantome sind virtuelle Modelle der realen Objekte. Sie können sichtbar gemacht werden, aber das ist nicht der Grund für den Einsatz solcher Objekte: Sie sollen 3D-Informationen über die reale Welt liefern. Eine detaillierte Erklärung dieser Objekte und ihrer Funktion bei ER-Systeme befindet sich in Kapitel 3.3.

¹Danach wäre es logisch Realität jeweils nur in Anführungsstrichen zu setzen („Realität“). Im philosophischen Sinne ist Realität nicht direkt zugänglich [BÄHR und LENK 2002].

- **Erweiterte Szene:** Die erweiterte Szene ist die Ergebnis-Szene, die aus der Komposition der Szene aus den realen und virtuellen Welten resultiert.
- **Dynamische Objekte:** Hierbei handelt es sich um Objekte, deren Form und oder Position sich in der Zeit relativ schnell ändern. Dazu zählen beispielsweise Automobile, Menschen und Bäume.

3.1 Definition von ER

ER lässt sich wie folgt definieren:

ER ist die Kombination von Szenen der realen Welt mit Szenen einer dazugehörenden virtuellen Welt. Die Position und die Orientierung der Kamera, oder des menschlichen Auges, werden gemessen und zu einer virtuellen Kamera in der virtuellen Welt übertragen. Diese Kombination geschieht in Echtzeit. Die so erzeugten Szenen können den Eindruck erwecken, dass die in der virtuellen Welt enthaltenen virtuellen Objekte in der realen Welt existieren.

Bereits 1994 war die ER-Technik gut beschrieben [MILGRAM 1994]: Sie bezieht typische Probleme ein, obwohl es unterschiedliche ER-Systeme mit unterschiedlichen Eigenschaften geben kann. In Übereinstimmung mit [AZUMA 1997, AZUMA et al. 2001] kann ein System als ein ER-System gekennzeichnet werden, wenn es folgende drei grundlegende Bedingungen erfüllt:

- Kombination realer und virtueller Welten;
- Mischung und Szenenkomposition in Echtzeit;
- Referenzierung in 3D.

Die Kombination realer und virtueller Welten basiert auf gleichzeitiger Anwesenheit von realen und virtuellen Objekten innerhalb einer Szene. Mischung und Szenenkomposition in Echtzeit bedeutet, dass die realen und virtuellen Objekte in Echtzeit miteinander angepasst werden, so wie wenn sie den gleichen physische Wirkungen und Phänomene der realen Welt unterworfen sein würden. Die Referenzierung in 3D impliziert die richtige Positionierung der virtuellen Gegenstände innerhalb der realen Welt. Außerdem versuchen ER-Systeme, die sichtbar gemachte Szene mit einem möglichst höheren Realitätsgrad zu erzeugen.

Die visualisierte Szene wird mit dieser Technik im Vergleich zu *Virtual Reality* mit weniger virtuellen sondern mit mehr realen Informationen generiert. Die ganze Szene ist die reale Welt selbst, außer den Objekten, die in der realen Welt nicht vorhanden sind. Die in der realen Welt bestehende Information wird durch den Einsatz von virtuellen Objekten in Echtzeit während der Anwendung des Systems erweitert. Die virtuellen Objekte müssen der realen Welt so angepasst werden, dass ein realistischer Eindruck dahingehend erzeugt wird, als ob die virtuellen Objekte in der realen Welt tatsächlich existierten und mit ihr interagieren würden. Dafür müssen die virtuellen Objekte durch spezielle Verfahren in Echtzeit verarbeitet werden, die auf Informationen aus der realen Welt basieren.

Die Idee, virtuelle Objekte in der realen Welt sichtbar zu machen, war jedoch bereits in den 60er Jahren verwirklicht worden. [SUTHERLAND 1968] demonstrierte das sogenannte *head-mounted*

three dimensional display, das durch den Gebrauch von Prismen mit halbversilberten Spiegeln und von Kathodenstrahlen-Röhren die Visualisierung von primitiven virtuellen Objekten (mit Hilfe von Linien gebildet) in der realen Welt innerhalb eines Zimmers ermöglichte. Das System war nicht beweglich, die Position und die Orientierung des Kopfes des Benutzers wurden mit Hilfe eines an der Decke des Raumes befestigten mechanischen Armes gemessen. In den folgenden Jahren erlaubten technologische Fortschritte die Entwicklung von neuen, immer kleineren und leichteren Vorrichtungen, was zu weiteren Anwendungen führte. Heute werden insbesondere Anwendungen dieser Technik in verschiedenen Wissenschaftsgebieten erforscht, was zu immer weiteren Erkenntnissen und einer schnellen Weiterentwicklung der Technik führt. Beispiele dazu werden in Kapitel 3.1.3 (Seite 22) gegeben.

Die ER-Technik wird seit Ende der 80er Jahre mit der Unterstützung von neuen Sensoren für Lage- und Positionsbestimmung, leistungsfähigeren Computern und Techniken der Computergrafik ständig weiterentwickelt. Heutzutage gibt es Forschungsgruppen weltweit, in denen ER-Projekte entwickelt werden². Eine große Menge an Literatur über das Thema ist bereits vorhanden, insbesondere in Veröffentlichungen von Kongressen über Computergrafik und Informatik sowie auch im Internet. Die intensive Entwicklung auf diesem Gebiet führt dazu, dass Lösungen und Verbesserungen aus verschiedenen Fachbereichen immer mehr in ER-Systeme integriert werden, besonders bei Informatik und Sensorik. Damit wird die Menge einbezogener Details und Forschungsmöglichkeiten immer größer und so konzentrieren sich die Arbeiten in der Regel auf einzelne technische Probleme, auf die Weiterentwicklung bestimmter Detailfragen oder auf bestimmte Anwendungen.

In der Literatur finden sich auch Betrachtungen über ER, die auf das Zusammenspiel mit den menschlichen Sinnen eingehen. Für [HOFF und NGUYEN 1996] zum Beispiel erhöht ER die Wahrnehmung des Benutzers für die reale Welt. Dabei vermitteln die virtuellen Objekte Informationen, die der Benutzer mit seinen eigenen Sinnen nicht wahrnehmen könnte. Man kann aber auch viele Betrachtungen finden, die mehr praktisch oder anwendungsorientiert sind. Ein Beispiel dafür ist in [KOLLER et al. 1997] zu finden. Die Autoren behaupten dort, dass mit ER ein Benutzer reale Objekte besser bearbeiten und analysieren kann, da zusätzliche visuelle Informationen über diese Objekte mit Hilfe eines Computers geliefert werden.

3.1.1 ER-Systeme

ER-Systeme befinden sich heutzutage meistens noch in der Entwicklungsphase: Obwohl bereits viele Einzellösungen für die typischen Probleme dieses Systems gefunden wurden, existieren wenige komplette Systeme, die bereits in einem völlig betriebsbereiten Zustand wären. In diesem Sinne hat [ROMÃO et al. 2002] vor zwei Jahren den aktuellen Stand der ER Forschung mit den Anfängen von VR verglichen, als viele Systeme bereits vorgeführt wurden, aber nur wenige davon mehr als Prototypen aus dem Labor waren.

Es gibt verschiedene Wege zur Umsetzung von ER. Die Anwendung von ERS in der *outdoor* Nutzung setzt beispielsweise andere Eigenschaften voraus als in der *indoor* Nutzung. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in der angewandten Hardware. In *outdoor* Anwendungen ist die Kombination von *Head Mounted Displays* (HMD), Globalen Positionsbestimmungssystemen (GPS) und *Inertial Measurement Units* (IMU) am weitesten verbreitet. ER-Systeme für *outdoor*-Anwendungen setzen häufig *wearable computer* ein [FEINER et al. 1997]. Diese Art von

²Mehr als 60 Forschungs- und Entwicklungsgruppe können in <http://hci.rsc.rockwell.com/AugmentedReality/> gefunden werden (August 2004).

Hardwarearchitektur wird so gebaut, dass der Nutzer des Systems maximale Bewegungsfreiheit hat. In *indoor* Anwendungen werden meistens Systeme mit automatischer Mustererkennung oder mit magnetischen Feldern angewandt.

Ein ERS kann entweder **optisch** oder **videobasiert** aufgebaut sein. Sie unterscheiden sich darin, dass optische Systeme keine Bilder aus der realen Welt aufnehmen bzw. speichern, im Gegensatz zu videobasierten Systemen. Mit den optischen Systemen wird die reale Welt direkt visualisiert. Mit videobasierten Systemen wird sie dagegen zuerst mit einer Videokamera aufgenommen und dann auf einen Bildschirm dargestellt. Jedes dieser Systeme hat sowohl Vor- als auch Nachteile. [AZUMA 1997] hat in seiner Arbeit diese Vor- und Nachteile präsentiert und diskutiert. Die Entscheidung über die jeweilige Verwendung hängt von der Anwendung ab.

[AZUMA 1997] präsentiert Bilder, die die optische und videobasierte Prinzipien erklären (Abb. 3.1, Seite 20). Dieser Autor fügt zu diesen zwei ein zusätzliches Prinzip, nämlich **bildschirmbasierte** System hinzu: Dabei wird die erweiterte Szene auf einem konventionellem Computerbildschirm und nicht mittels HMD präsentiert. Wenn man jedoch nur das Prinzip betrachtet, ob die reale Welt direkt oder durch Aufnahme und Wiedergabe gesehen wird, unterscheidet es sich nicht von dem Videosystem, das in Abbildung 3.1(b) gezeigt wird.

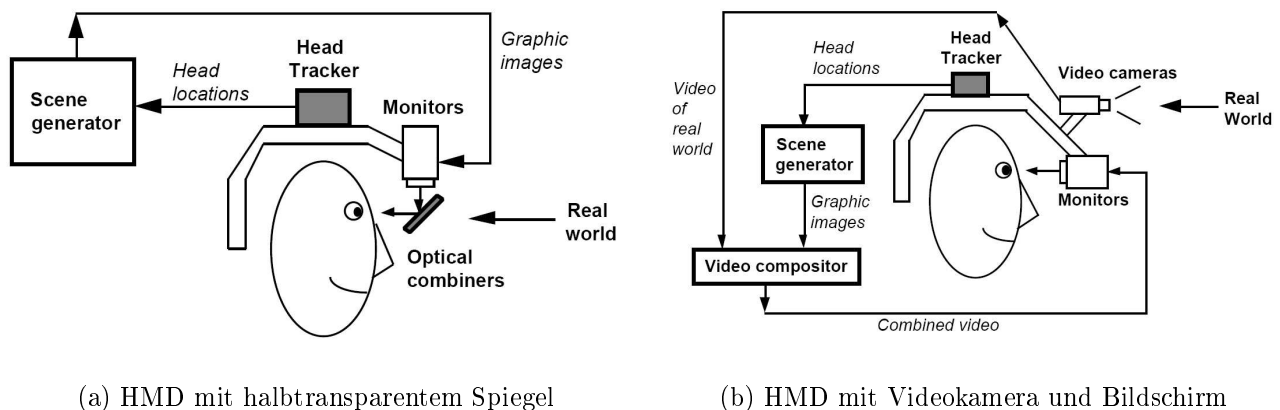


Abbildung 3.1: Optisch und videobasierte HMD [AZUMA 1997]

Ein wesentlicher Vorteil von videobasierten Systemen gegenüber optischen, ist die Möglichkeit der Speicherung der generierten Bilder und deren Einfügen in Dokumentationen über Objekte, deren Eigenschaften oder Zustände analysiert werden sollen. Dies wirft jedoch das Problem auf, dass die Auflösung der Visualisierung vom Auflösungsvermögen der eingesetzten Videokamera begrenzt wird. So wird die Menge an Informationen aus der realen Welt einerseits beispielsweise durch die Einfügung eines virtuellen Wasserspiegels erhöht, andererseits geht aber ein Teil davon durch die begrenzte Auflösung verloren. [KIYOKAWA et al. 2003] bestätigen in ihrer Untersuchung diesen bei videobasierten Systemen sogar erheblichen Informationsverlust, [FEINER et al. 1997] sind der Meinung, dass ein ER-System die Wirklichkeit nur erweitern muss, statt sie zu vermindern.

Jedoch ist der Gebrauch eines optischen Systems bei der Erzeugung von Bildern für die Dokumentation schwieriger, weil, wie auch in [FUHRMANN et al. 1999b] aufgeführt, ein optisches System die virtuelle Objekte nur auf der Netzhaut des Betrachters abbilden kann. Zwar besteht die Möglichkeit, eine Kamera auf einem optischen HMD in Augenhöhe zu installieren, jedoch würde die Auflösung der so aufgenommenen Bilder gleichermaßen eingeschränkt sein.

Obwohl die Anwendung eines videobasierten System einerseits die Menge von Informationen durch die Auflösung der Videokamera beschränkt, entstehen andererseits bei dieser Variante auch einige Vorteile. Beispiele dieser Vorteile sind die Erfassung und Analyse der Information in anderen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, die Anwendung von digitale Bildverarbeitungsverfahren, die bei der Analyse der aufgenommenen Szene helfen können und die Zoom-Funktion.

Die Nutzung von HMDs wird häufig mit ER-Systemen assoziiert. Die oben zitierte Definition von ER erlaubt aber, dass kein HMD notwendig ist, um ein ERS zu konstituieren. Die Visualisierung von virtuellen Objekten in der realen Welt kann auch einfach mit einem PC und einer Videokamera durchgeführt werden. Auch wenn diese beispielsweise als eine *indoor*-Anwendung mit kleiner Sichtweite begrenzt ist, wird damit bereits ein ERS gekennzeichnet.

In Übereinstimmung mit [HOFF und NGUYEN 1996] kann bei Systemen, die Szenen auf einem herkömmlichen PC-Bildschirm zeigen, jedoch kein Gefühl entstehen, dass man ein Bestandteil der 3D-Welt ist. Dagegen wird die reale Welt durch ein Fenster visualisiert, wie es aus dem Projektionszentrum (PZ) der Videokamera gesehen wurde. HMD basierte Systeme können andererseits dieses Gefühl erzeugen. Dabei fühlt sich der Benutzer direkt in die reale Welt versetzt, angereichert mit den zusätzlichen graphischen Objekten und Informationen, die im Maßstab 1:1 zu der realen Welt dargestellt werden.

Die Echtzeitanforderung verursacht die größten Schwierigkeiten innerhalb von ER-Systemen [HOLLOWAY 1995]. Die Bewegung des Nutzers des Systems wird durch Sensoren gemessen und steuert die Bewegung in der Visualisierung auf dem Bildschirm. Die Ablösezeit des Systems kann eine geometrische Verschiebung der realen und virtuellen Objekte verursachen. Der Eindruck von Wirklichkeit geht dabei verloren, da das virtuelle und das reale Objekt unterschiedliche Szenen anzeigen.

Die Datenformate und Softwarearchitektur unterschiedlicher ER-Systeme werden normalerweise in jeder spezifischen Anwendung neu definiert, was eine Wiederverwendung der Daten erschwert und eine erhöhte Komplexität in der Entwicklung von neuen Anwendungen verursachen kann. [REITMAYR und SCHMALSTIEG 2003] stellen in ihrer Arbeit eine Strategie für die Lösung dieses Problem dar. Sie verwenden die Sprache XML³ für die Datenmodellierung in einer Architektur, in der die Datenbasis von der Anwendung durch ein „Umwandlungsmodul“ getrennt wird. Damit wird es möglich, die Daten verschiedenen Anwendungen anzupassen. Eine einzige Datenbasis kann dazu benutzt werden, Metadaten in historischen Umgebungen darzustellen und ein Wegoptimierungssystem zu entwickeln.

Wenn ein höherer Realitätsgrad in der generierten Szene gewünscht wird, spielen nach [KOLLER et al. 1997] die korrekte Beleuchtung und Schattierung eine wichtige Rolle und sind somit wesentliche Teile eines ER-Systems. Dabei soll die Beleuchtung einer realen Umgebung richtig modelliert und auf die virtuellen Objekte projiziert werden. Schwierigkeiten bereiten beispielsweise Schattierungen realer Gegenstände innerhalb des Videostromes mittels virtuellen Lichtquellen zu ändern. Diese und andere Probleme in Zusammenhang mit Beleuchtung in ER-Systemen werden u. a. in [FOURNIER 1994, AZUMA et al. 2001] diskutiert. Andere natürliche

³XML bedeutet *Extensible Markup Language*. Sie wurde entworfen, um die Funktionalität des Netzes zu verbessern, indem man flexiblere und anpassungsfähigere Informationen Kennzeichnungen zur Verfügung stellt. Es definiert einen extrem einfachen Dialekt von SGML, was vollständig in der XML Spezifikation beschrieben wird. Das Ziel ist generischem SGML Sendung, Empfang und Verarbeitung auf dem Netz in einer Weise zu ermöglichen, die jetzt mit HTML noch nicht möglich ist. SGML ist die *Standard Generalized Markup Language* (ISO 8879:1985). Dabei handelt es sich um einen internationale Standard für Strukturbeschreibungen unterschiedlicher Arten von elektronischen Dokumenten. Quelle: The XML FAQ, URL <http://www.ucc.ie/xml/>

Phänomene können theoretisch auch in einem ER-System integriert werden, wie beispielsweise Schwerkraft, Kollision, thermische Ausdehnung, usw. Hierbei soll idealerweise jede Aktion in der realen Welt die entsprechende Reaktion auf die virtuelle Welt erzeugen. Die Grenze liegt hier bei der Modellierungskomplexität der Phänomene.

3.1.2 Erweiterte Realität vs. Virtual Reality (VR)

VR-Methoden werden in der Modellierung und Visualisierung von räumlichen Informationen häufig verwendet, da sie die räumliche Darstellung direkt in 3D ermöglichen, sowie die Simulation von physikalischen Gesetzmäßigkeiten der realen Welt. Sie erfordert aber in der Regel aufwendige Modellierungen und den Einsatz kostspieliger Graphikbeschleuniger für die schnelle Übertragung detailreicher Szenen. Die Qualität von geänderten komplexen Szenen ist häufig aufgrund der Echtzeiteinschränkung in ihrer Informationsmenge begrenzt.

ER-Systeme besitzen in dieser Hinsicht einen systemimmanenten Vorteil gegenüber VR-Systeme: Sie benötigen eine kleinere Informationsmenge, um eine realistische Visualisierung eines Szenarios zu vermitteln. Mit Virtual Reality wird das gesamte Szenario virtuell abgebildet, mit Erweiterte Realität werden nur die neuen virtuellen Komponenten abgebildet und die reale Welt wird vereinfacht modelliert (siehe Kapitel 3.3, Seite 26). In Übereinstimmung mit [KLINKER et al. 1998] müssen so die Modelle der realen Objekte bei ER nicht so komplex wie bei VR gestaltet werden. In VR müssen die Modelle die Darstellung der Wirklichkeit synthetisch enthalten, beispielsweise durch die Darstellung von Textur und Reflektionen des Lichtes. Bei ER wird der Realismus mit den Details der realen Objekten direkt aus der realen Welt übernommen, was die Modellierung stark vereinfacht.

Anders als bei VR-Umgebungen, in denen eine virtuelle Welt die reale Welt ersetzt, wird bei der Anwendung von ER mit Hilfe von virtuellen Objekten die reale Welt mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Wie [HOFF und NGUYEN 1996] erklären, unterscheidet sich ER von VR dadurch, dass statt Eintauchen in eine rein virtuelle Szene eine Erweiterung der Wahrnehmung der realen Welt stattfindet. Die grosse Menge von Details der realen Welt werden direkt aus ihr selbst übernommen. So kann im Gegensatz zu VR eine Szene der realen Welt mittels ER viel einfacher generiert werden [SHEN et al. 2001]. Das gilt aber nur in Beziehung mit dem erreichten Realitätsgrad: Da die Erweiterung von realen Szenen sehr von Referenzierungsproblemen (siehe Kapitel 3.2, Seite 24) abhängig ist, kann die Positionierung der virtuellen Objekte in dieser Szene nicht so genau wie bei VR erreicht werden.

[KLINKER et al. 1998] grenzen ER- von VR-Systemen durch ihre unterschiedliche Bewegungsfreiheiten ab. Sie stellen fest, dass man mithilfe eines ERS nicht jeden beliebigen Kamerastandpunkt einnehmen kann, während bei VR die Positionierung der virtuellen Kamera an jedem gewünschten Punkt möglich ist.

3.1.3 Anwendungsbeispiele

ER wird bereits in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt oder es existieren zumindest prototypische Lösungen. Im Folgenden soll eine Übersicht über Einsatzmöglichkeiten von ER gegeben werden

Umweltmanagement

[ROMÃO et al. 2002] erzeugen eine visuelle Darstellung der Wasserqualität in natürlichen und künstlichen Gewässern mit Hilfe von einem ER-System. Außerdem vergleichen die Autoren ihre Daten der Bodenstruktur, der Quellen und der Wasserleitungen mit Szenen der realen Welt.

Navigation in städtischen Gebieten

[REITMAYR und SCHMALSTIEG 2003] entwickelten ein Werkzeug, das Wege zu bestimmten Zielpositionen sowie Informationen über Gebäude durch ein HMD in der realen Welt einblendet. Eine *touring machine*, die dem Benutzer Informationen über seine Umgebung als Metadaten zur Verfügung stellt, wurde von [FEINER et al. 1997] konstruiert.

Montage von Stahlbetonbewehrung

Mit Hilfe eines ERSs visualisieren [FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT 2002] die richtige Stelle, an denen die Bewehrung für eine Wand aus Stahlbeton positioniert werden soll.

Tourismus und Archäologie

Historische Gebäude, die durch Kriege oder Naturkatastrophen zerstört wurden, lassen sich mit Hilfe von ER virtuell in ihrer Originalform visuell rekonstruieren. [VLAHAKIS et al. 2001] benutzen Bilder, 3D-Modelle, Texte und Videoclips als erweiternde Information für ein historisches Gebiet in der Stadt Olympia (Griechenland).

Konstruktion, Wartung oder Reparatur

[REINERS et al. 1998] zeigen wie komplexe Vorgänge mithilfe von ERS leichter gelernt werden können. Beispiele hierfür sind die Montage und Reparatur von Automobilen, oder auch Schienenfahrzeuge und Flugzeugen. Diese Vorgänge zu lernen ist zeitaufwändig und ein ERS kann helfen diesen Lernprozeß zu beschleunigen. Wenn dreidimensionale Modelle von diesen Maschinen zur Verfügung stehen und in der realen Welt visualisiert werden, kann die Arbeit im Vergleich zu schriftlichen Anleitungen in einer mehr direkten und intuitiven Weise erfolgen. Anweisungen können in das umgebende Arbeitsfeld punktgenau an der Stelle integriert werden, wo die Tätigkeit durchgeführt werden muss, sodass Aktionen von unterschiedlichen Sichtpunkten aus beobachtet werden können.

Augmented Maps

Durch den Einsatz von ER können auch virtuelle Objekte mit analogen Karten verbunden werden. [BOBRICH und OTTO 2002] überlagern digitale Geländemodelle und topografische Karten und nennen dieses Verfahren „*Augmented Map*“.

Medizin

Magnetresonanzaufnahmen, Computertomographien oder Ultraschallaufnahmen enthalten Informationen für den Aufbau dreidimensionaler virtueller Modelle des Körperinneren von Patienten. Die Anwendung von ER ermöglicht die Veranschaulichung dieser virtuellen Modelle direkt im Körper in Echtzeit. [BAJURA et al. 1992] bilden beispielsweise durch Ultraschallsensoren Gebärmütter von schwangeren Frauen dreidimensional ab und visualisieren virtuelle Embryomodelle mit Hilfe eines HMDs.

3.2 Referenzierung

Wie bereits in Kapitel 3.1 gezeigt und auch von [AZUMA 1997, HOFF und NGUYEN 1996] betont wird, ist die korrekte Positionierung der virtuellen Objekte in der realen Welt eine Grundvoraussetzung jedes ER-Systems.

Dieses Problem wird in der ER spezifischen englischen Literatur (z. B. [AZUMA 1997, FEINER et al. 1997]) *registration problem* benannt. In einigen deutschsprachigen Veröffentlichungen (z. B. [SCHNAIDER et al. 2002, SUTHAU et al. 2002]) wird für diesen Begriff die direkte Übersetzung „Registrierung“ gewählt. In dieser Arbeit wird dafür der geodätische Begriff „Referenzierung“ verwendet.

Gerade auf diesem Gebiet setzen viele Forschungsvorhaben an, die sich u. a. intensiv mit der Entwicklung neuer Sensoren und Berechnungstechniken zur Lösung dieser Frage auseinandersetzen. [AZUMA 1997] beschäftigt sich ausführlich mit den Faktoren, die mit der Genauigkeit dieses Zusammenspiels virtueller und realer Objekte in Zusammenhang stehen. [COBZAS und JAGERSAND 2003] messen die Präzision dieser Interaktion in Pixel und betrachtet dies als eine allgemein gültige Methode zur Bestimmung dieser Präzision.

Als Vorbedingung für die genaue geometrische Anpassung der virtuellen Objekte an die reale Welt müssen genaue Position und Orientierung der Kamera in der realen Welt bekannt und die Kamera oder das HMD kalibriert sein.

Ein ER-System besitzt grundsätzlich zwei Kameras, die zwei Projektionssystemen entsprechen. In diesem Zusammenhang ist die sogenannte „reale“ Kamera bei videobasierten ER-Systemen eine Videokamera. Bei optischen ER-Systemen wird die Videokamera durch das menschliche Auge ersetzt. Die virtuelle Kamera existiert nur in der virtuellen Welt und liefert Bilder der virtuellen Welt. Die Beziehung zwischen den inneren und äußeren Orientierungen beider Kameras muss bekannt sein, damit die Position im Raum der realen und virtuellen Objekte übereinstimmt. Die äußere Orientierung wird bereits mittels Kameraverfolgung bestimmt, die innere verlangt jedoch darüber hinaus eine Kamerakalibrierung.

Im Folgenden werden diese zwei Faktoren näher analysiert.

3.2.1 Verfolgen der Kameraposition- und Orientierung

Die Kameraposition und ihre Orientierung wird in [AZUMA 1997] als das größte Einzelhindernis zum Aufbau wirkungsvoller ER-Systeme bezeichnet. Dabei bestehen zum Beispiel folgende Möglichkeiten die Position und die Richtung der Kamera im Raum festzustellen:

Magnetfeldsensoren

Eine magnetfeldbasierte Verfolgung der Kamera ist insbesondere für kleine Räume (*indoor*) geeignet. Die Magnetfeldsensoren werden jedoch leicht durch magnetische Felder, Eisenteile und elektronische Geräte gestört und sind normalerweise nicht transportabel. Die Reichweite solcher Sensoren ist relativ gering und liegt beispielsweise beim Sensor *Flock of Birds* bei drei Metern ([ASCENSION TECHNOLOGY CORPORATION 1995]).

Sensoren für absolute Positionierung und Orientierung (GPS und IMU)

GPS-IMU-Kameraverfolgung gehört in die Gruppe der hybriden Methoden⁴. Diese Technik ist in der *outdoor* Anwendung sehr verbreitet. GPS-IMU-Integration wurde in den späten achtziger Jahren in der Flugnavigation eingeführt und wird seit 1996 vermarktet [SCHERZINGER 2001].

Der Kompass des IMUs wird durch magnetische Felder gestört, was die Einsetzbarkeit der Technik begrenzt. Neben diesen typischen Störungen, die das IMU beeinträchtigen, gibt es auch Probleme beim Einsatz von GPS. So funktioniert beispielsweise das GPS in städtischen Gebieten nicht immer zuverlässig: Hohe Gebäude und Bäume verursachen Abschattungseffekte, die bis zum vollständigen Verlust der Satellitensignale führen können.

Ein möglicher Lösungseinsatz dafür besteht in der Kombination der ergänzenden Eigenschaften von IMU und GPS: Durch die doppelte Integration der Beschleunigungswerte mit der Orientierung, kann man theoretisch den zurückgelegten Weg bestimmen. Die Störung erhöht sich jedoch exponentiell über die Zeit gemessen aufgrund der Tafeldifferenz bei der Integration. Dieser Effekt kann durch GPS-Messungen ausgeglichen werden.

Nach [BEHRINGER 1999, BEHRINGER et al. 2002] kann ein nur mit GPS-IMU gestütztes ER-System keine ausreichende Präzision für die Referenzierung liefern. Durch zusätzliche Nutzung von Bildverarbeitungsverfahren konnten die Autoren eine bessere Referenzierung erreichen.

Bildverarbeitungsverfahren

Bei dieser Technik werden Muster oder Silhouetten im Videostrom mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung identifiziert, sodass identische Punkte zur Georeferenzierung zwischen realen und virtuellen Objekten erfasst werden. Mit diesen Informationen wird eine Positions-Matrix erzeugt, die die Koordinaten der Videokamera in der realen Welt im Verhältnis zu den Mustern oder Silhouetten wiedergibt. Dieser Prozess muss in hoher Geschwindigkeit ablaufen, damit er in Echtzeit durchgeführt werden kann.

[HOFF und NGUYEN 1996] gehen davon aus, dass *computer vision* Verfahren für die genaue Referenzierung bei ER-Systeme einen potentiellen Lösungsweg darstellen.

Für geringe Abstände von wenigen Metern zwischen Kamera und Objekt und für einfache Mustern bzw. primitive geometrische Formen hat es sich als sehr leistungsfähig und schnell erwiesen. Dies trifft jedoch nicht für größere Entfernungen oder für das Erkennen komplexerer Muster zu, da hierbei eine entsprechende höhere Bildauflösung und die Verwendung von komplexeren Verfahren notwendig werden.

⁴Kombination mehrfacher Sensoren in der Weise, dass die Schwächen jedes einzelnen Bestandteils kompensiert wird [AZUMA et al. 1999].

[BEHRINGER et al. 2002, HOFF und NGUYEN 1996, KOLLER et al. 1997, SIMON und BERGER 1999] haben sich in ihren Arbeiten ausführlich mit der Entwicklung dieser Technik auseinandergesetzt.

3.2.2 Kamerakalibrierung

Die Kamerakalibrierung ist eine Vorbedingung für die Referenzierung [SEO und HONG 2000], da nur so die korrekten geometrischen Beziehungen zwischen realen und virtuellen Objekten hergestellt werden kann. Bei Bedarf kann eine zusätzliche reale bzw. virtuelle Kamera benutzt werden, um stereoskopische Bilder zu erzeugen. In diesem Fall kann der Benutzer mit Hilfe spezieller Brillen die virtuellen Objekte dreidimensional betrachten.

Die innere Orientierung der Kamera wird durch die Kamerakalibrierung bestimmt und wird standardmäßig bei ER-System vor der Nutzung des Systems durchgeführt. Die Bestimmung der äußeren Orientierung wird dann während der Nutzung des Systems in Abhängigkeit der inneren Orientierung wiederholt (vgl. beispielsweise [KOLLER et al. 1997]). Nach [SEO und HONG 2000]) muss die Kamera im ER-System nicht unbedingt kalibriert werden: Das Referenzieren eines videobasiertes ER-System durch die Darstellung der Kamerabewegung im projektiven Raum ist möglich. Dieses Vorgehensweise wird als „*calibration-free augmented reality*“ bezeichnet.

Um die Präzisionsanforderung bei ER-Systemen zu erfüllen, müssen die geometrischen Darstellungen abhängig von der Anwendung sein. Bei unterschiedlichen Kameramodellen und geometrischen Prinzipien können beispielsweise euklidische, affine oder projektive Abbildungsvorschriften verwendet werden. Übersichten zu den verschiedenen verwendeten Abbildungsvorschriften bei ERS finden sich unter anderem in [SHEN et al. 2001, COBZAS und JAGERSAND 2003].

Ein videobasiertes ERS ist einfacher als ein optisches zu kalibrieren⁵. Die Kalibrierung von HMD ist schwieriger und zeitraubender als bei einer Kamerakalibrierung [LEEBMANN 2003] und erfordert für jeden Nutzer eine individuelle Kalibrierung [REINERS et al. 1998]. [FUHRMANN et al. 1999b] entwickelten eine Methode für eine schnelle Kalibrierung der optischen und videobasierten Systeme, wobei selbst unerfahrenen Benutzern die Kalibrierung in Abhängigkeit der Augen und der Kopfgeometrie ermöglicht wird. Dabei wird die Kalibrierung von HMDs als die geometrische Beschreibung der Projektion der realen Welt auf das Auge definiert.

[FUHRMANN et al. 1999b] stellen bei der Kalibrierung von videobasierten und optischen Systemen wesentliche Unterschiede fest: So werden bei Ersterem nur die äußeren und inneren Orientierungsparameter bestimmt und allein dadurch wird die Positionierung von realen und virtuellen Objekten definiert. Bei optischen Systemen müssen zusätzlich der Sehwinkel und der Abstand zwischen den Pupillen bekannt sein, die sich jedoch von Nutzer zu Nutzer unterscheiden.

3.3 Verdeckung

Um einen hohen Grad an Realitätsnahe zu erreichen, muss das Problem der Verdeckung berücksichtigt werden. Hierbei geht es um die Frage, ob die realen Objekte die virtuellen Objekte überdecken oder umgekehrt. Jedes Objekt A, das vom Betrachter aus vor einem anderen Objekt B liegt, verdeckt das hinter Objekt A liegende Objekt B. Virtuelle Objekte können reale

⁵Siehe Definitionen in Kapitel 3.1.1, Seite 19.

Objekte durch eine einfache Überlagerung der virtuellen Szenen die realen Szenen verdecken. Der umgekehrte Fall ist mit einer höheren Rechenleistung oder mit der Konstruktion eines virtuellen Modells der realen Welt verbunden, da die dreidimensionale Geometrie der realen Objekte nicht aus einem zweidimensionalen Bild zu extrahieren ist.

Ein Beispiel für eine Verdeckung des Virtuellen durch das Reale zeigt Abbildung 3.2. Hierbei ist das Automobil ein virtuelles Objekt, alle anderen Objekte sind real und wurden mit einer Videokamera aufgenommen. Die Lampe vor dem Automobil ist ein Objekt der realen Welt und verdeckt einen Teil des Automobils. Dies ist möglich, weil die geometrische Form und die Position der Lampe bereits bekannt war.



Abbildung 3.2: Verdeckungsbeispiel: Reales Objekt verdeckt virtuelles Objekt und umgekehrt (aus [LEPETIT und BERGER 2000])

Aufgrund des Anspruches, dass die Darstellung möglichst realistisch sein soll, wird am Problem der Verdeckung bei ER-Systemen seit den Anfängen der Entwicklung dieser Technik gearbeitet. [SUTHERLAND 1968] erkannte die Bedeutung dieser Frage bereits in den 60er Jahren und bezeichnete sie als „*hidden line problem*“. Dabei wurden einfache, virtuelle Objekte konstruiert, die mit Hilfe von Linien gebildet wurden (Drahtmodelle). Da jedoch noch kein System in der Lage war, eine Verarbeitung in Echtzeit durchzuführen, musste das Problem der Verdeckung für solche Fälle vorläufig ausgeklammert werden.

Um eine korrekte, realistische Komposition mit den realen und virtuellen Objekten in einer ER-Szene zu erhalten, müssen Beschreibungen über Form und Position der realen Gegenstände vorliegen [KOLLER et al. 1997]. Wenn die geometrischen Informationen der realen 3D-Szene bekannt sind, kann das Problem relativ einfach gelöst werden [SHEN et al. 2001].

Jedoch sind nur in Ausnahmefällen präzise und detaillierte 3D-Informationen der realen Welt vorhanden, sodass ein Modell der Realität als Grundlage erfasst werden muss. Dies gilt insbesondere, wenn permanent ablaufende Änderungsprozesse der realen Welt untersucht werden sollen. Statische Objekte wie Häuser, Straßen oder die Erdoberfläche kann man relativ einfach mit Hilfe photogrammetrischer Verfahren und Fernerkundungsmethoden aufnehmen und modellieren. Bei dynamischen Objekten wie Menschen, Autos oder sogar Bäume sind diese Modelle viel komplexer und schwieriger zu gewinnen. Die automatische Generierung von 3D-Modellen zur Abbildung realer Szenen ist dabei Forschungsgebiet im Bereich von Arbeiten, die sich mit Bildverarbeitungsverfahren beschäftigen [KLINKER et al. 1998]. Beispiele sind etwa Verfahren,

die automatisch dreidimensionale Informationen durch Bewegungsanalyse [SIMON und BERGER 1999], durch Wahrscheinlichkeitsmodelle zur Form und Position [FUHRMANN et al. 1999a], durch Stereoanalyse oder durch photogrammetrische Verfahren aus Bildern extrahieren [WLOKA und ANDERSON 1995].

Mit der aus der realen Welt erfassten 3D-Geometrie werden auch virtuelle Objekte konstruiert. Diese virtuellen Objekte, die die Tiefeninformationen über die realen Objekte enthalten, werden aber meistens nicht angezeigt: Sie sollen im Prinzip nur zeigen, wo sich die realen Objekte in der visualisierten Szene befinden. Diese Objekte sind die in Kapitel 3 eingeführten Phantome. Dieser Begriff wird in der englischen Literatur für diese Art von Objekte oft benutzt (z.B. [HARINGER und REGENBRECHT 2002, FISCHER et al. 2003, FUHRMANN et al. 1999a]). In [HARINGER und REGENBRECHT 2002] gibt es in diesem Zusammenhang die folgende Definition: *In ER sind diese Objekte unsichtbar, aber sie haben noch den gleichen Verdeckungseffekt, als ob sie sichtbar wären. Deshalb nennen wir sie phantom-Modelle.* Der Begriff ist aufgrund seiner Bedeutung⁶ vielleicht nicht ideal für die hier erklärte Funktion, aber es wurde in der deutschen Literatur kein anderer Begriff gefunden. Deshalb wird in dieser Arbeit weiterhin dieser englische Ausdruck verwendet.

Die Lampe in Abbildung 3.2 besitzt beispielsweise ein Phantom, da sie das Automobil verdecken kann. In dieser Szene ist die Lampe das einzige Objekt, das ein Phantom braucht, da sie das einzige reale Objekt ist, das vor dem virtuellen Automobil steht.

Bei ER-Systemen sind die 3D-Informationen der erweiternden Objekte vorhanden, da ihre Form und Position im Voraus definiert sind. Sobald die nötigen Phantome ebenfalls vorhanden sind, lässt sich das Problem mit Hilfe von Computergrafikverfahren lösen: Die erweiternden Objekte und die Phantome werden in zwei verschiedenen virtuellen Welten eingefügt und aus Szenen dieser Welten werden Tiefeninformationen extrahiert. Diese bilden zwei Matrizen (Z-Puffer), in denen die Abstände zwischen dem Projektionszentrum und den Objekten für jedes Pixel in den Szenen gespeichert werden. Durch den Vergleich dieser beiden Matrizen wird dann bekannt, wo ein reales Objekt ein virtuelles Objekt verdeckt⁷. Der Verdeckungsprozess muss aber nicht notwendigerweise computergestützt ablaufen. [KIYOKAWA et al. 2003] beschreiben ein HMD, das den Verdeckungsprozess auch optisch leisten kann.

Die Phantome können nicht nur bei der Verdeckung, sondern zur Schattierung und zur video-basierten Referenzierung eingesetzt werden [KLINKER et al. 1998].

⁶ *Something that appears or seems to exist but is not real or is imagined.* Quelle: Cambridge Dictionary of American English, <http://dictionary.cambridge.org/>

⁷ Diese Lösung wurde in dieser Arbeit verwendet. Dieses Verfahrens ist in Kapitel 4.8 (Seite 51) ausführlich beschrieben.

Kapitel 4

Aufbau eines ER-Systems zur Visualisierung von Hochwasserereignissen

Am IPF werden verschiedenen Forschungsprojekte zu Katastrophenmanagement durchgeführt. Die Entwicklung eines ER-Systems ist ein Ziel bei einigen dieser Projekte. Das System wird von mehreren Mitarbeitern gebaut [WURSTHORN et al. 2004, LEEBMANN et al. 2004, LEEBMANN 2003], wobei jeder seine spezifische Anwendungen entwickelt und zur Vorbereitung den von allen benutzten Modulen beiträgt.

Zur Visualisierung und Dokumentation von simulierten Hochwasserereignissen mussten spezielle Module zur Datenorganisation und Generierung der erweiterten Szene sowie der Berichte entwickelt werden. In diesem Kapitel soll das komplette System mit allen notwendigen Teilen dargestellt werden. Der Schwerpunkt wird jedoch bei der speziellen Anwendung für Hochwasservisualisierung gesetzt.

4.1 Ziel

Es soll ein System aufgebaut werden, das möglichst realistische Szenen von simulierten Hochwasserereignissen erzeugen kann. Diese Simulationen sollen dem Nutzer des Systems im Freien sichtbar und ebenfalls speicherbar sein.

Die erzeugten Bilder werden auf einem Bildschirm angezeigt. Die reale Welt wird mit einer Videokamera aufgenommen. Der simulierte virtuelle Wasserspiegel wird in diesen Bildern eingeblendet, wobei er sich bezüglich der realen Umgebung in der korrekten Position befindet und durch die realen Objekte verdeckt werden können.

Das System soll mobil und tragbar sein, so dass es der Nutzer im Feld ohne Schwierigkeit bedienen kann. Der Nutzer visualisiert das Hochwasserszenario und benutzt das System um die Informationen aufzunehmen, die wichtig bei der Identifizierung von Problemen sein können, die mit Hochwasser in Zusammenhang stehen. Mögliche Eingaben bei dem System sind *screenshots* und Text, die bezüglich einzelner Gebäude in einer Datenbank organisiert werden. Mit Hilfe dieser Aufnahmen sollen in einem zweiten Schritt für einzelne Gebäude automatisch Berichte generiert werden. Es handelt sich hier also nicht nur um ein Visualisierungs-, sondern auch um ein Informationsakquisitionswerkzeug.

4.2 Überblick

Abbildung 4.1 (Seite 31) zeigt die Struktur des Projekts. Es besteht aus mehreren Komponenten. Das hier aufgebaute System wird als videobasiertes System bezeichnet.

Der virtuelle Wasserspiegel, der in der Projektion der realen Welt auf den Bildschirm sichtbar gemacht werden soll, wird aus den Daten der Flutsimulation des IWK konstruiert. Damit der virtuelle Wasserspiegel mit Objekten der realen Welt interagieren kann, sind Informationen über die Form und die Position der realen Objekte notwendig. Laserscannerdaten und Gebäudemodelle sind die Quellen für diese Informationen und bilden die Phantome.

Dabei werden zwei virtuellen Welten konstruiert: Sowohl für die Phantome als auch für den virtuellen Wasserspiegel. Aus Szenen dieser beiden Welten werden Bilder und Tiefeninformation ständig extrahiert. Bilder aus der realen Welt werden mit einer Videokamera aufgenommen. Mittels dieser Information (Bilder und Tiefeninformation) werden die neue Szenen konstruiert, in denen die Form des virtuellen Wasserspiegels mit den Objekten in der realen Welt angepasst ist (siehe Kapitel 4.8, Seite 51).

Die korrekte Referenzierung der Informationen der realen und der virtuellen Welt wird dabei mit Hilfe des GPSs und des IMUs hergestellt (siehe Kapitel 4.7). Die resultierenden Szenen werden auf dem Bildschirm eines Laptops dargestellt. Der Nutzer kann dabei verschiedene Teile des Prozesses mit Hilfe von, während dieser Arbeit entwickelten, Werkzeugen steuern. Auch diese Werkzeuge werden in diesem Kapitel ausführlicher erläutert.

Die wesentlichen Schritte für den Aufbau des ER-Systems werden im Folgenden dargestellt:

- Beschaffung der Hardware;
- Aufbereiten der Daten (Phantome und Wasserspiegel);
- Einrichtung der virtuellen 3D-Szene, der Datenbank und der Steuerung für die Eigenschaften (Aussehen) der virtuellen Objekte;
- Lösung der Ortsnavigation und der Orientierung mit Hilfe des GPS bzw. des IMU;
- Kammerakalibrierung;
- Erzeugung von Interaktion zwischen virtuellen Objekten und der realen Welt (Lösung der Verdeckung);
- Aufbau der Dokumentationsmodule;
- Testläufe zur Feineinstellung.

4.3 Verwendete Hardware

Laptop: Ein Laptop Marke Dell mit Prozessor Pentium 2,2GHz, 1GB RAM und Graphikkarte ATI Mobility Radeon 9000 mit 64MB RAM wurde bei dem System benutzt, um die für das System entwickelte Programme auszuführen. Außerdem wird die erweiterte Szene auf dem Bildschirm des Laptops gezeigt.

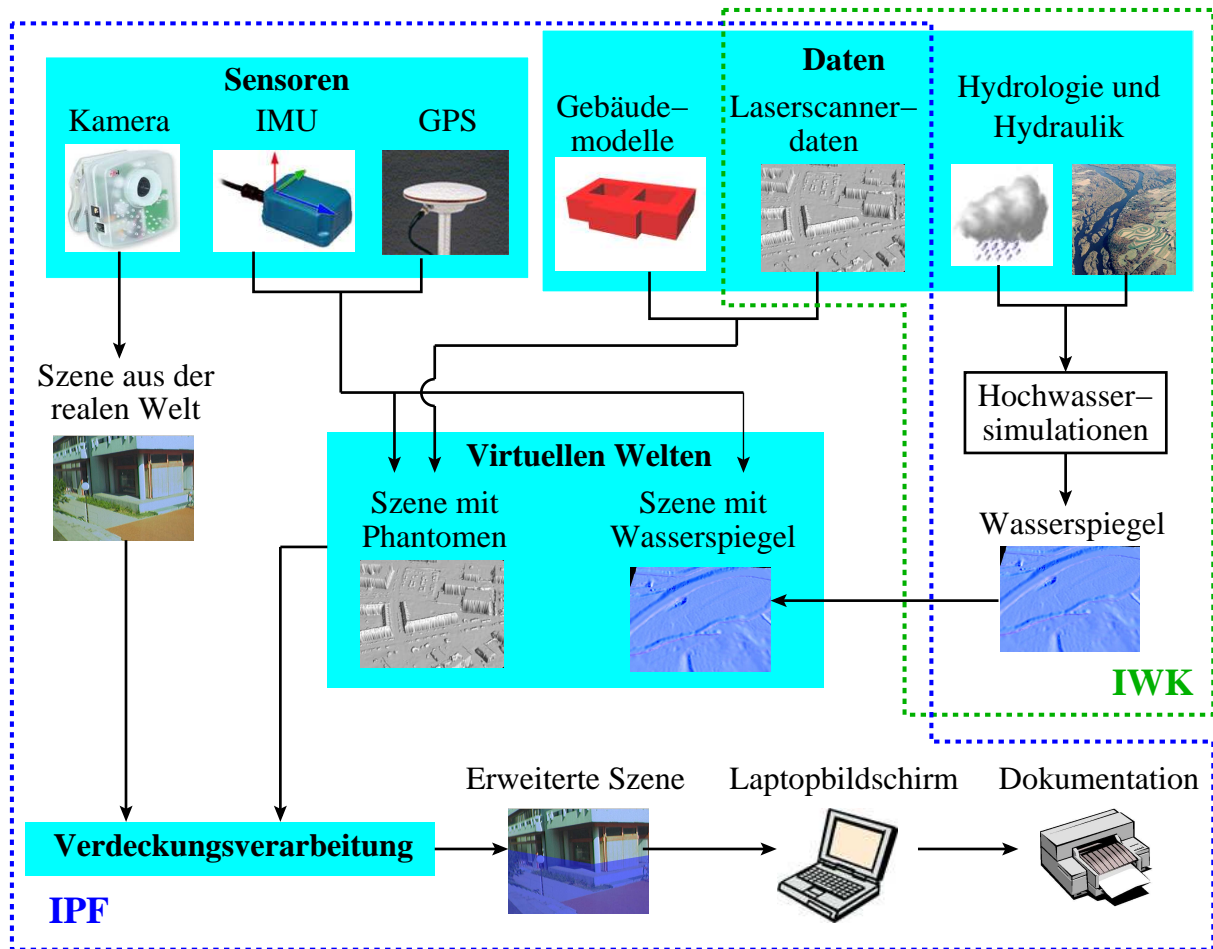


Abbildung 4.1: Schema des Projektes

Digitale Videokamera: Für diese Arbeit wurde eine Kamera *Fire-i Digital Camera* von Unibrain mit *firewire*-Verbindung zum Laptop benutzt, was eine Übertragungsrate von 400MB/s bietet. Die Bilder werden in RGB (24 bits) mit einer Auflösung von maximal 640×480 Pixel dargestellt. Die Bildfrequenz beträgt 15Hz. Das Gehäuse der Kamera besteht aus Kunststoff. Die Kamera nimmt die Bilder der realen Welt auf.

Bei der Auswahl der Kamera muss man beachten, dass aufgrund bestimmter Materialeigenschaften der Kamera (einige Materialien erzeugen ein störendes magnetisches Feld) eine Störung der Messung des IMUs erzeugt werden kann. Um diese Störung auszuschließen, muss das gewählte Material beispielsweise Kunststoff oder Aluminium sein. Dieses Problem besteht, weil diese zwei Sensoren miteinander fixiert werden müssen.

Diferentielles GPS: Für die Positionierung wurden zwei GPS Empfänger verwendet: der eine ist die Referenzstation (statisch) und der andere ein *rover* (beweglich). Beide bilden zusammen eine Lösung, mit der die Position im kinematischen Echtzeitmodus (RTK - *Real Time Kinematic*) mit einer Genauigkeit von 10 Millimeter und mit einer Updaterate von 1Hz bestimmt werden kann. Als *rover* wurde ein Leica SR530 GPS-System und als Referenzstation ein Trimble 4800 Empfänger benutzt.

IMU: Die Orientierung der Kamera in der realen Welt wird mit einem preiswerten trägerori-

entierten¹ Inertialsensor (IMU) von Xsens, Modell MT-9B, bestimmt, der eine statische Genauigkeit in der Lagebestimmung von $<1^\circ$ mit einer Auflösung von 0.05° mit 512Hz Ausgabegeschwindigkeit besitzt.

Solche Sensoren verwenden zusätzliche magnetische Sensoren zusammen mit Inklinationskompass zur absoluten Lagebestimmung, ohne die Notwendigkeit einer Initialisierung. Die magnetischen Sensoren bewirken jedoch, dass die IMUs anfällig für magnetische Verzerrungen werden. Die kleinen Abmessungen und das niedrige Gewicht machen den Sensor für tragbares ERS geeignet.

Verbindungen der Hardwarekomponenten: Alle Hardwarekomponenten sind über USB (*Universal Serial Bus*) oder seriell mit dem Laptop verbunden.

Träger für die Hardware und Ausrüstung: Die Videokamera und der IMU müssen so zusammen befestigt werden, dass die Bewegung (Drehungen) der zwei Sensoren nur gemeinsam erfolgen kann. Die zwei Sensoren können dazu beispielsweise auf einer separaten Konstruktion fixiert werden. Alle Komponenten werden an einem Rucksack mit einem fest fixierten Rahmen zusammen angebracht.

Akkumulator: Ein Akkumulator versorgt die Videokamera mit Strom (900mW). Das GPS, das IMU und der Laptop verwenden jeweils eigene eingebaute Akkumulatoren.

Der Prototyp

Ein erster Prototyp (Abbildung 4.2 (Seite 33)) wurde im Laufe der Entwicklung zu einem tragbaren System erweitert, wie in Abbildung 4.3 (Seite 34) ersichtlich wird. Bei diesem Entwicklungsschritt sind die Sensoren an einer tragbaren Halterung angebracht. Da sowohl das Visualisierungsfenster (VF), als auch die graphische Schnittstelle für die Steuerung des Systems auf dem Bildschirm des Laptops dargestellt werden, muss dieser noch separat transportiert werden.

Abbildung 4.3 (b) zeigt die Nutzung des Prototyps im Freien, wobei Bilder von einem Gebäude aufgenommen werden. Mit dem Ziel, den Wasserspiegel zu visualisieren, kann natürlich die Kamera während der Aufnahmen sehr nahe am, oder sogar unter dem Wasserspiegel liegen. Für diesen Fall wurde aber in dieser Arbeit eine Lösung gefunden, die in Kapitel 4.5.3 präsentiert wird.

4.4 Entwickelte Software

Mit Ausnahme der Treiber für die Sensoren, die in der Sprache C entwickelt wurden und mit Hilfe des *Java Native Interface (JNI)* gesteuert werden, wurde die Software für das ER-System in der Sprache Java entwickelt. Die Abbildung 4.4 (Seite 34) zeigt die Grundbestandteile des Programms und die Beziehungen zwischen ihnen.

Die Visualisierung der erzeugten Szene, die Steuerung der Eigenschaften der virtuellen Objekte und der Zugang zu den Informationen über diese Objekte wird mit Hilfe von graphischen Schnittstellen ermöglicht.

¹Oder auch „*Strapped down*“ IMU: Die Systemachsen behalten Zuordnung zum Träger.

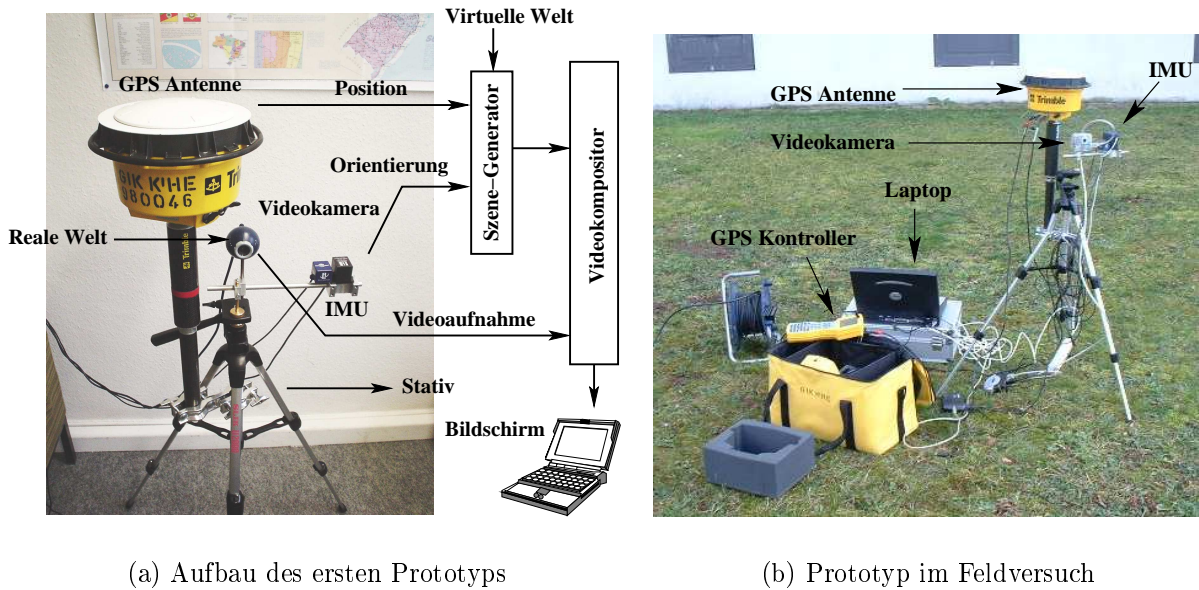


Abbildung 4.2: Der erste Prototyp: Statischer Aufbau, mit Hilfe eines Laptops auch für Feldversuche im Freien geeignet

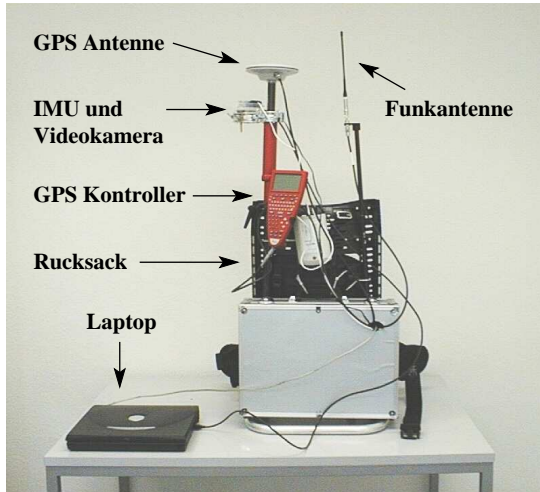
Die Phantome werden in einer Datenbank gespeichert, die durch eine spezifische Schnittstelle kontrolliert wird. Die Beschreibung der Organisation jeder Art von Objekten in der Datenbank wird in Kapitel 4.5.1 und 4.5.2 (Laserscannerdaten beziehungsweise Gebäudemodelle) dargestellt. Die virtuellen Welten aus der Datenbank (und/oder aus Dateien) enthalten die Phantome sowie die sichtbar gemachten Objekte.

Mit den Informationen aus den virtuellen Welten und den Bildern aus der Videokamera wird die Verdeckung berechnet, wie in Kapitel 4.8 beschrieben wird. Das Resultat dieser Verarbeitung wird im Visualisierungsfenster sichtbar gemacht. Während der Nutzung des Systems ist es möglich, Objekte auf diesem Visualisierungsfenster auszuwählen, um Informationen über sie zu erhalten, die in der Datenbank gespeichert sind. Neue Informationen können so ebenfalls eingesetzt werden, um später die Dokumentation über die einzelnen Objekte zu erzeugen, wie in Kapitel 4.9 erklärt wird.

Die Messwerte aus dem GPS und dem IMU werden ununterbrochen an die virtuellen Welten gesandt, damit diese mit den, aus der realen Welt entnommenen Szenen referenziert werden können. Auch die Messwerte des GPS werden an die Datenbank gesendet, damit georeferenzierte Objekte, die sich in der Nähe befinden, automatisch geladen werden können. Die Verbindung mit der Datenbank wurde mit JDBC implementiert.

Die Sprache Java bietet eine große Anzahl an Bibliotheken, die bei der Entwicklung von ER-Systemen hilfreich sind. Für die Entwicklung der dreidimensionalen Welten wurde die Java3D Bibliothek verwendet. Die virtuellen Objekte, die in diesen Welten eingesetzt werden, werden in VRML Dateien² organisiert, wie in den Kapiteln 4.5.1 und 4.5.2 noch näher erläutert wird.

²VRML ist ein Standard-Dateiformat zur Darstellung 3D-Vektorgraphiken, die besonders für das *World Wide Web* entworfen wurde. Es ist ein Textformat, in dem Eckpunkte und Kanten von 3D-Vielecken zusammen mit der Oberflächenfarbe und -textur, Glanz und Transparenz spezifiziert werden können. Es wurde ursprünglich von der Firma *Silicon Graphics Inc.* entwickelt. Quelle: <http://www.free-definition.com/VRML.html>



(a) Aufbau des tragbaren Systems



(b) Tragbares System im Feldversuch

Abbildung 4.3: Der tragbare Prototyp: Tragbarer Aufbau mit integrierten Sensoren

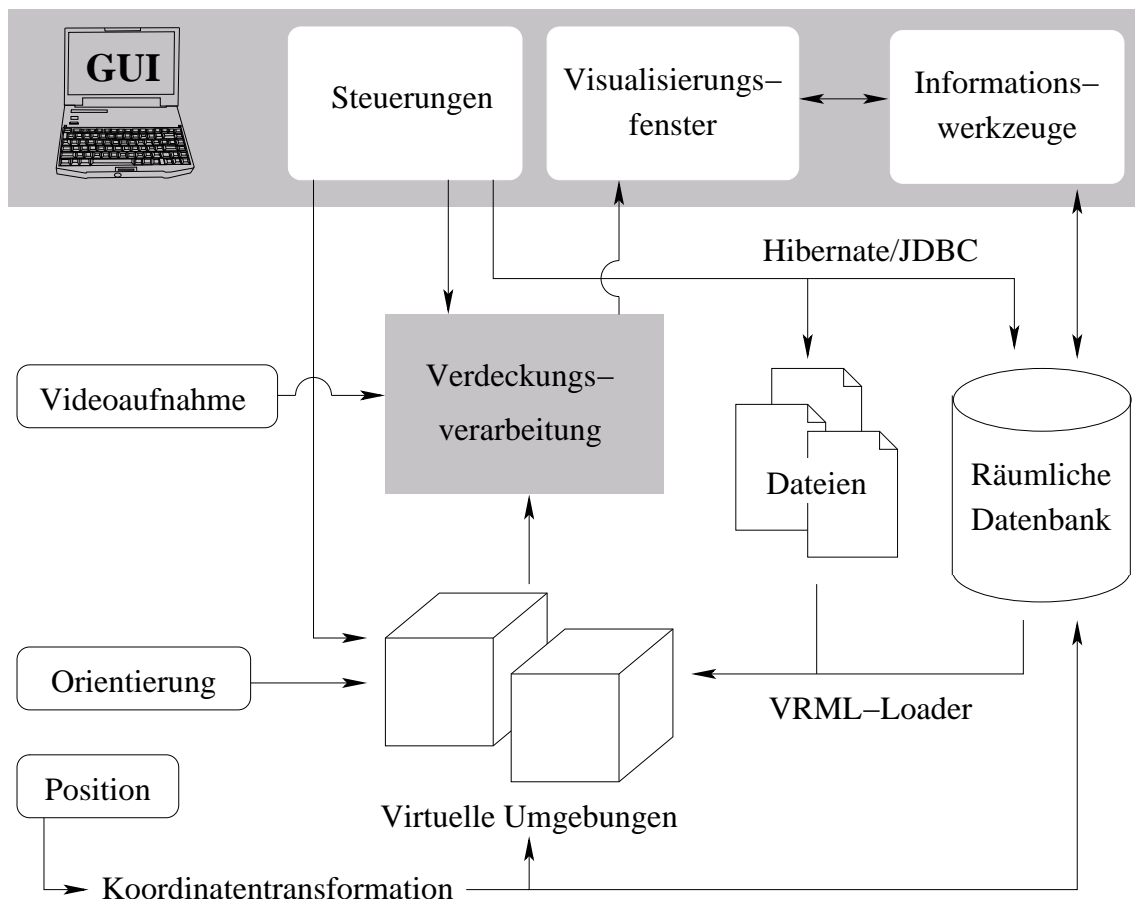


Abbildung 4.4: Schematischer Aufbau des Softwaresystems

Das Einfügen dieser Objekte in die 3D-Welten geschieht mit Hilfe eines *VRMLLoaders*, die bei dem Xj3D³ Projekt entwickelt wurde.

Die Bilder aus der Videokamera werden mit Hilfe von *frame grabbers* festgehalten.

Graphische Schnittstelle - Kontrollfenster

Bei videobasierten Systemen ist es möglich, dass nur ein Teil des Bildschirms zur Darstellung benutzt wird, der Rest kann durch Kontrollfenster belegt werden. Mit Hilfe der Bibliotheken AWT und Swing von Java lassen sich ausgefeilte graphische Schnittstellen entwickeln. Die Bilder 4.8, 4.15, 4.22, 4.24 und 4.25 zeigen die graphische Schnittstelle, die für die zugehörige Steuerung von Laserscannerdaten, Gebäudemodelle, Verdeckungsprozess und Berichtgenerierung entwickelt wurde.

4.5 Datenerfassung und -organisation

Wie bereits in Kapitel 3.3 erklärt wurde, haben die virtuellen Objekte zwei direkt zugeordnete Funktionen in ER: Die reale Welt zu erweitern und über die Position der realen Objekte zu informieren. In dieser Arbeit sind es bei der ersten Funktion die virtuellen Wasserspiegel, die aus vorangegangenen Simulationen stammen. Als zweite Funktion dienen digitale Oberflächen- und Gelände- sowie Gebäudemodelle, die aus Laserscannerdaten und Messungen mittels terrestrischer Photogrammetrie gewonnen werden.

Das hier beschriebene System enthält nur statische Objektmodelle. Objekte wie Autos, Bäume oder Menschen werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Die Betrachtung von dynamischen Objekten würde einen zu umfangreichen Teil der Arbeit einnehmen. Es ist hier nicht das Ziel, Möglichkeiten für die Lösung dieses Problem zu entwickeln oder zu erproben. Möglicherweise verliert dadurch die visualisierte Szene einen Teil ihres realistischen Charakters - dies ist jedoch, gemessen an der dadurch erhöhten Stabilität des Systems, im Rahmen der Untersuchung über die Anwendbarkeit eines ER-Systems für das Hochwassermanagement, durchaus vertretbar.

Abbildung 4.5 (Seite 36) zeigt einen schematischen Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten Daten, ihre Herkunft, Organisation und Generierung in der virtuellen Welten. Details dieses Prozesses werden im Laufe der Kapitel noch ausführlich behandelt.

Testgebiete

In einer ersten Entwicklungsphase werden Daten verwendet, die den Campus der Universität Karlsruhe darstellen. In dieser ersten Phase werden Laserscannerdaten der Firma Toposys und Gebäudemodelle einer früheren Doktorarbeit am IPF [LANDES 1999] als Phantome verwendet. Der Wasserspiegel wird dabei als eine horizontale Ebene angenommen, da es keine Hochwassersimulation für dieses Gebiet gibt.

In einer zweiten Phase wurde ein Gebiet ausgewählt, von dem reale Simulationen sowie Laserscannerdaten zur Verfügung stehen. Dabei handelt es sich um den Ort Obereisesheim am Neckar.

³Xj3D ist ein Projekt der Web3D Vereinigung, das auf das Herstellen eines Toolkit für VRML97 und X3D ausgerichtet ist und ist vollständig in Java geschrieben. Dieses Toolkit kann zum Import VRML Inhalt in spezifischer Anwendung benutzt werden (Quelle: <http://www.xj3d.org/>).

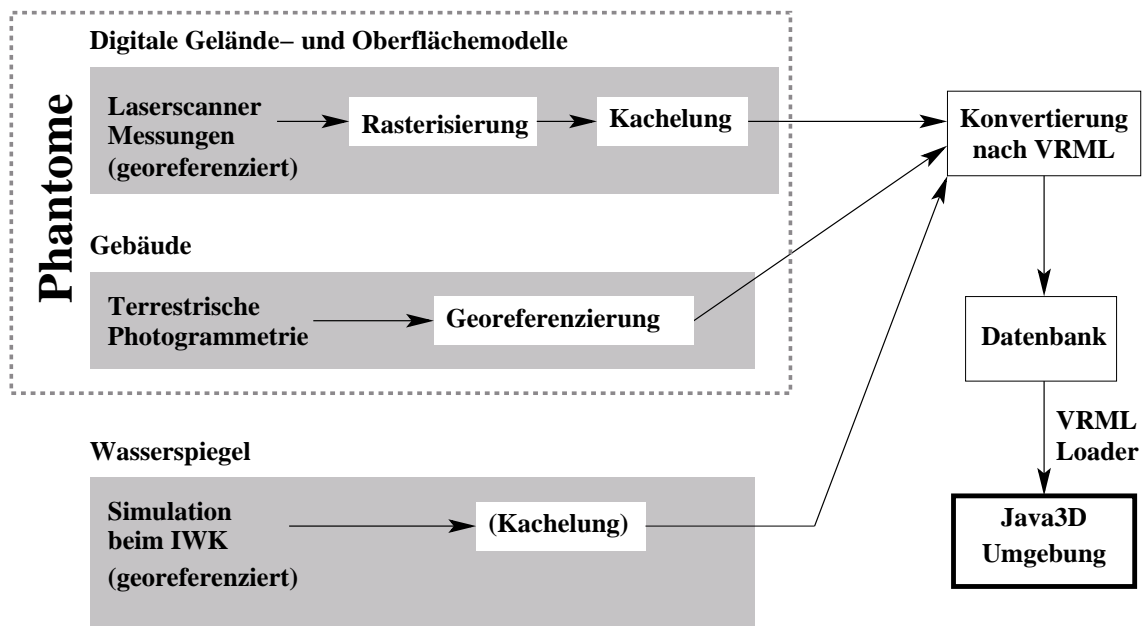


Abbildung 4.5: Datenerfassung und -vorverarbeitung

Abbildung 4.6 (Seite 37) zeigt die zwei Testgebiete innerhalb des Bundeslands Baden-Württemberg⁴.

4.5.1 Laserscannerdaten

Im Zusammenhang mit Hochwassermanagement wird die Kenntnis der Höheninformation des Geländes als ein sehr wichtiger Faktor betrachtet. Laserscannerdaten werden dabei oft als Grundlage zur Ermittlung dieser Daten und zur weiteren Simulation und Visualisierung (GIS) von Hochwasserereignissen verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit werden diese Daten als Phantome benutzt.

Laserscannerdaten können zur Zeit Höhengenaugigkeiten von ca. 10cm erreichen [BALTSAVIAS 1999b]. [MÖLLER 2003] hat sich mit den Einflussfaktoren für diese Präzision beschäftigt. Allgemeine Grundlagen der Laserscannersysteme werden bei [BALTSAVIAS 1999a] beschrieben.

Laserscanning wird durch automatisierte Messungen, völlig digitale Datenaufzeichnung und Computer-gestützte Auswertung gekennzeichnet - es liefert die erforderlichen Messdaten für aktuelle digitale Oberflächenmodelle mit einem hohen Grad an Genauigkeit in kurzer Zeit [WEVER und LINDENBERGER 1999]. Die digitalen Oberflächenmodelle werden ursprünglich von einer dichten Punktwolke mit dreidimensionalen Koordinaten im Landessystem gebildet, was durch die Anwendung von GPS- und IMU-Messungen ermöglicht wird [BRIESE et al. 2001]. Wie [SILVER und BALMORI 2003] aufzeigen, liefern die Laserscannerdaten neue und einzigartige Bilder der terrestrischen Umgebung, mit denen viele Phänomene analysiert werden können. Dabei können auch Anwendungen in Zusammenhang mit Visualisierungen von Katastrophenszenarien unterstützt werden.

⁴Karte von Baden Württemberg: <http://www.baden-wuerttemberg.de/land/unserland/daten/>, Karte vom Campus der Universität Karlsruhe: <http://www.uni-karlsruhe.de/fs/Uni/info/campusplan/>, Karte von Oberrsesheim: <http://www.heilbronn.de/cityguide/index.html>

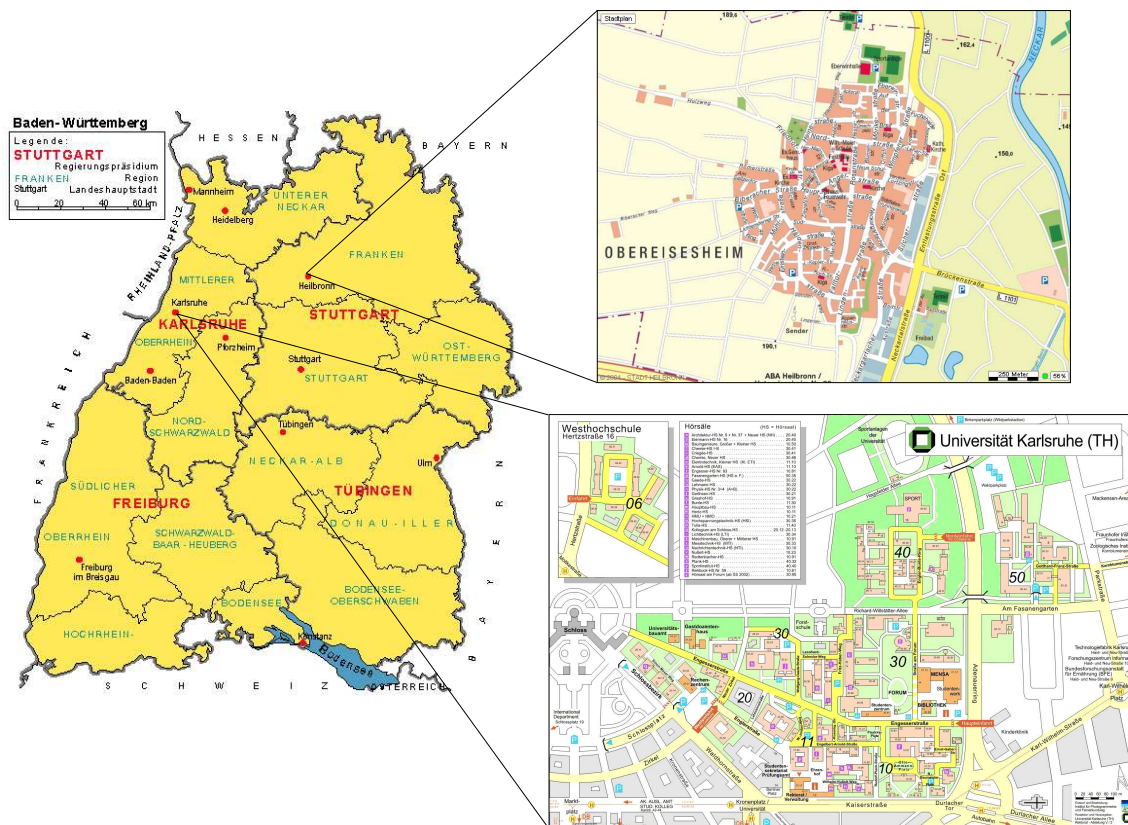


Abbildung 4.6: Lokalisierung der Testgebiete

Für den Campus der Universität Karlsruhe wurden Daten im Raster-Format⁵ von der Firma TopoSys geliefert, die im März 2003 mit dem Sensor Toposys II aufgenommen wurden. Informationen über das System sind in [LOHR 1999] zu finden. Das Raster hat eine Auflösung von 1m am Boden. In diesem Format lassen sich die Laserscannerdaten leicht in VRML-Dateien organisieren, wie auch im Folgenden erklärt werden soll. Für das zweite Testgebiet wurden vom IWK die Laserscannerdaten als Punktwolke geliefert, die zuerst auch im Raster-Format verarbeitet wurden⁶. Die Dichte von Punkten bei diesen Daten erlaubte eine Rasterung mit 2m Auflösung am Boden.

In dieser Arbeit werden die Laserscannerdaten auf drei verschiedene Arten benutzt, wie in Abbildung 4.7 (Seite 38) dargestellt wird. Sie zeigt die durch *first pulse*, *last pulse*⁷ und mittels Filterung gewonnene Geländeoberfläche. *First pulse* und *last pulse*-Daten werden aus der Überfliegung direkt gewonnen und liefern Digitale Oberflächemodelle (DOM). In einem dritten Schritt wurden mit Hilfe eines Filterverfahrens [COELHO et al. 2002] die Bäume und Gebäude aus den Daten eliminiert.

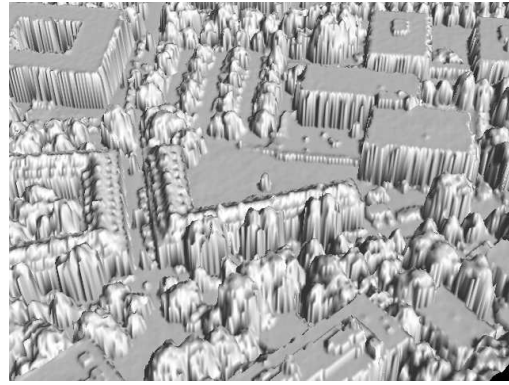
⁵Die Laserscannerdaten können auch in Raster-Formaten geliefert werden, bei denen der Grauwert des Pixels den Höheninformationen der entsprechenden Fläche des Bodens entspricht.

⁶Bearbeitung vom Dipl.-Ing. Daniel Tovari, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe.

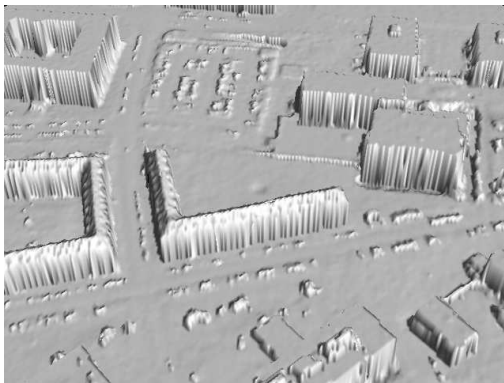
⁷Einige Systeme können unterschiedliche Echos des ausgestrahlten Signals messen, die auf unterschiedliche Gegenstände innerhalb der Projektion des Lichtstrahls auf die abgetastete Oberfläche reflektieren. Es ist möglich, das erste und das letzte Echo des Impulses oder auch die gesamte Veränderung des Echos zu messen. Die Punkte, die durch das erste Echo erzeugt werden, können beispielsweise durch Vegetation zurückgestrahlt werden, die Punkte des letzten Echos beispielsweise durch das Gelände oder Gebäude [CENTENO et al. 2000].



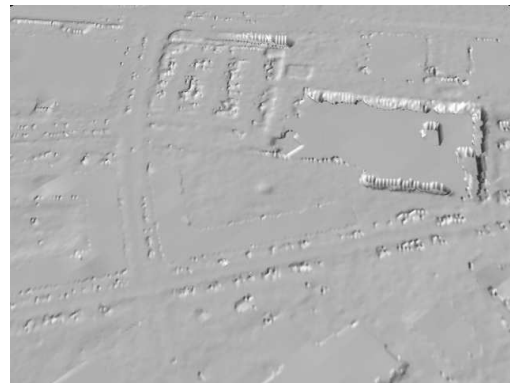
(a) Luftbild



(b) First Pulse



(c) Last Pulse



(d) Geländeoberfläche

Abbildung 4.7: Laserscannerdaten in drei Modi ( 50m)

In Abbildung 4.8 (Seite 39) wird die graphische Schnittstelle gezeigt, die für die Ladung von Laserscannerdaten in die virtuelle 3D-Welt entwickelt wurde. Im linken Bereich der graphischen Benutzerschnittstelle befindet sich eine Liste mit den verschiedenen Gruppen von Laserscannerdaten, die in der Datenbank gespeichert sind. Diese enthalten Daten der verschiedenen Testgebiete und der verschiedenen Modi, die in Abbildung 4.7 (Seite 38) dargestellt wurden. Eine Gruppe von Daten wird durch ihre Auswahl aus der Liste in die 3D-Welt geladen. Im rechten Bereich befinden sich einige Kontrollmöglichkeiten für das Aussehen der virtuellen Objekten, falls diese auch sichtbar gemacht werden sollen. Das Aussehen wird durch einige Parameter der Klassen „*Material*“ und „*TransparencyAttributes*“ der API Java3D gesteuert.

Kachelung der Laserscannerdaten

Es ist nicht notwendig, dass die gesamten Laserscannerdaten eines Testgebietes in die virtuelle 3D-Welt geladen werden, da an jedem Zeitpunkt nur die Anzeige von einem relativ kleinen Teil der Daten von Bedeutung ist. Die Daten werden deshalb in Felder geteilt und nur die Teile werden angezeigt, die zu dem Moment in der Umgebung des Nutzers des Systems liegen, was durch die kontinuierliche GPS-Messung möglich ist. Das System wurde in dieser Arbeit so entwickelt, dass immer 3×3 Kacheln geladen werden: Diejenige auf welcher sich der Nutzer

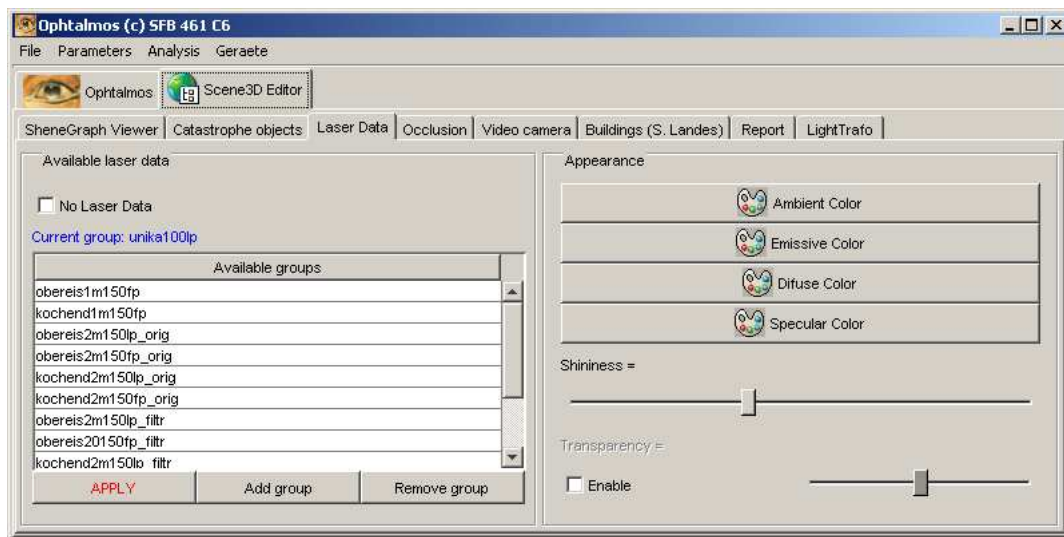


Abbildung 4.8: Graphische Schnittstelle zur Steuerung der Laserscannerdaten in der 3D-Szene

befindet und die acht direkt benachbarten. Abbildung 4.9 zeigt ein Überblick von neun in die virtuelle Welt geladenen Kacheln, wobei der Nutzer des Systems sich auf der zentralen Kachel befindet.

Die Größe der Felder soll die Fläche abdecken, die zur Beschreibung der Objekte in der realen Welt durch die Phantome ausreicht. Das ist von der Größe und Dichte dieser Objekte abhängig: Je größer die Objekte sind und je näher sie beieinander liegen, desto kleiner wird der Raum, der für den Benutzer des Systems sichtbar ist - und folglich auch der Bereich, der von Laserscannerdaten erfasst werden muss. Aufgrund einer vorhergegangenen Analyse der Daten für jedes Testgebiet wurden so passende Größen für die Kacheln geschätzt: $100 \times 100\text{m}$ für das Testgebiet auf dem Campus der Universität Karlsruhe und $150 \times 150\text{m}$ für das Testgebiet in Obereisesheim. Dies entspricht Flächen von $300 \times 300\text{m}$ bzw. $450 \times 450\text{m}$ bei der Ladung von 3×3 Kacheln. Abbildung 4.10 (Seite 40) zeigt diese Teilung der Laserscannerdaten für die Testgebiete.

Alle relevanten Informationen jeder einzelnen Kachel, nämlich die Höhendaten für ihren Bereich und die Translation für die Positionierung an der richtigen Stelle, werden in VRML Dateien organisiert. Die Strukturierung dieser Datei ist in Abbildung 4.11 (Seite 41) gezeigt. Der VRML *Transform Node* (Linie 02) gruppiert die geometrische Information der Kacheln und verschiebt sie mit dem Parameter *translation* (Linie 03) zu den richtigen Stellen entlang der Achsen⁸ x , y und z . Die Parameter für Drehungen oder Maßstab, die dieser *Node* zur Verfügung stellt [HARTMAN und WERNECKE 1996], werden hier nicht benötigt. Der *Transform Node* definiert ein lokales Koordinatensystem und die Transformationen, die in den Dateien definiert sind, sorgen für die relative Positionierung der Kacheln untereinander. Die Positionierung in der 3D-Umgebung wird in Kapitel 4.6 ausführlicher behandelt. Das VRML *ElevationGrid Node* (Linie 07) bildet ein rechteckiges Rasterfeld, das für die Gestaltung von Gelände- oder Elevationsmodellen von Bedeutung ist. Die Dimensionen in x - und y -Richtung des Modells werden mit den Parametern *xDimension* und *zDimension* (Linien 08 und 10) definiert. Die Liste mit der Höhenwerte wird über den Parameter *height* (Linie 12) eingegeben, der die Höhen über jeden Punkt des Gitters beschreibt. Dieser Parameter definiert zusammen mit *xSpacing* und *zSpacing*

⁸Die VRML-Konvention stellt die $+y$ Achse nach oben, die $+x$ Achse nach rechts und die $+z$ Achse aus dem Bildschirm heraus.

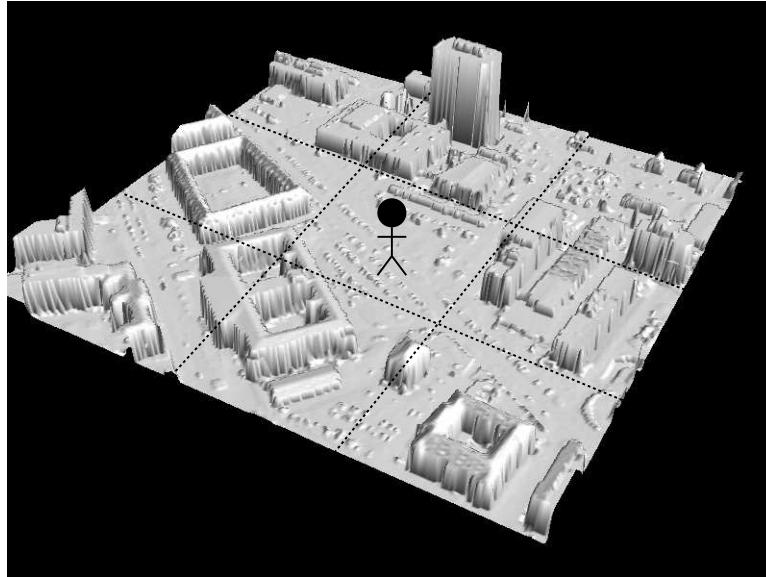
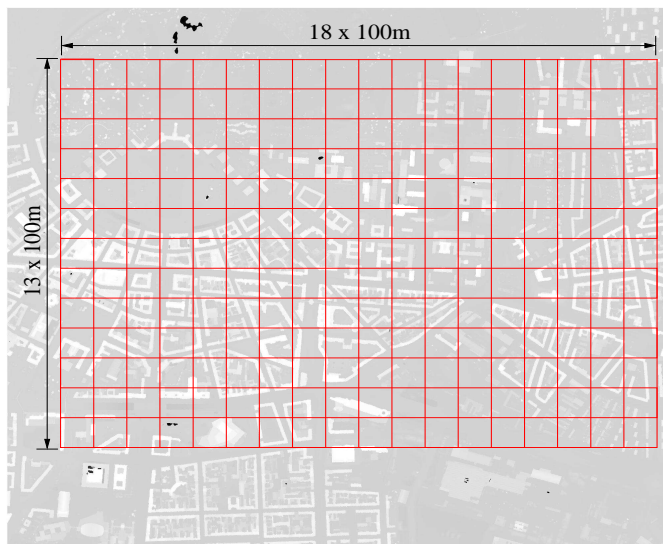
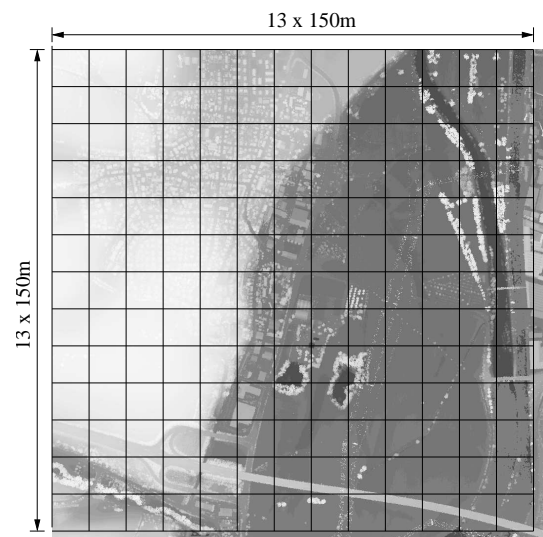


Abbildung 4.9: Neun Kacheln mit Laserscannerdaten sind in die virtuelle Welt geladen. Die Position der Nutzer des Systems wird kontinuierlich mit dem GPS gemessen. So wird bestimmt, welche Kacheln in der Szene geladen sein sollen.



(a) Testgebiet Campus der Universität Karlsruhe



(b) Testgebiet Obereisesheim

Abbildung 4.10: Die verwendeten Laserscannerdaten, in Kacheln aufgeteilt

(Linien 09 und 11) die dreidimensionalen Positionen der Eckpunkte, so dass der Punkt(i, j) in ($xSpacing \times i, height[i + xDimension \times j], zSpacing \times j$) in lokalen Koordinaten positioniert wird.

```

01) #VRML V2.0 utf8
02) Transform{
03) translation 1070.000000 0.000000 1280.000000
04) children[Shape{appearance Appearance{material Material{
05) specularColor .5 .5 .5
06) emissiveColor .2 .2 .2}}
07) geometry ElevationGrid{
08) xDimension 102
09) xSpacing 1.000000
10) zDimension 102
11) zSpacing 1.000000
12) height[
13) 133.18 133.17 133.18 133.20 ...
. ...
. ...
. ...
n) ]}}]}

```

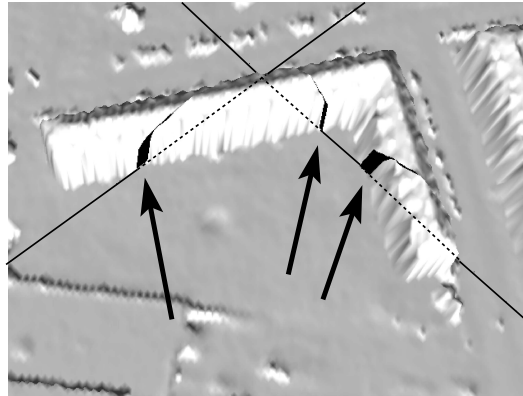
Abbildung 4.11: Organisation der Kachelinformation in einer VRML-Datei

Wenn die VRML-Dateien der Kacheln in der Datenbank (als *byte array*) gespeichert werden, werden gleichzeitig *POLYGON* Objekte der PostGIS räumlichen Datenbank [POSTGIS 2004] erzeugt und ebenfalls abgespeichert. Diese Objekte enthalten die Koordinaten der oberen linken und unteren rechten Punkte eines Quadrates, die die von jeder Kachel bedeckte Fläche beschreiben. Während der Nutzung des Systems wird die Datenbank kontinuierlich mit der Eingabe von gemessenen GPS-Koordinaten abgefragt und die Information darüber, auf welcher Kachel der Nutzer des Systems sich momentan befindet, wird zurückgegeben. Das geschieht durch die Rückgabe des *POLYGONs*, das die vom GPS gemessenen Koordinaten (in ihrer Lage) mit einschließt. Die VRML Information der entsprechenden Kachel wird dann zusammen mit der Information seiner acht benachbarten Kacheln geladen.

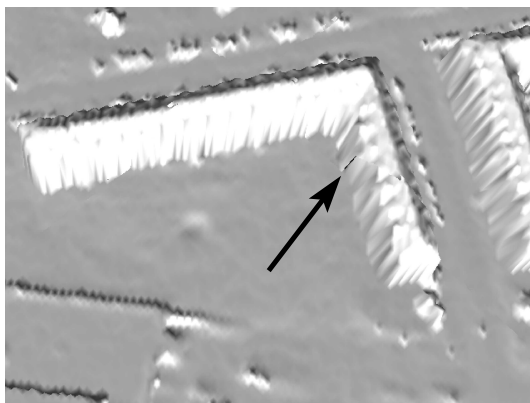
Im Grenzbereich einer Kachel ist im vorgestellten System ein, in jede Nachbarkachel hineinragender Toleranzbereich integriert, der ein rechenintensives Neuladen aller Nachbarkacheln bei nur marginalem Grenzübertritt (bis 10 Metern) verhindert.

Wie bereits erklärt wurde, erzeugt die Struktur *ElevationGrid* in der virtuellen 3D-Welt eine geometrische Form, die auf einem rechteckigen Rasterfeld und den Höhen seiner Punkten basiert. Die Darstellung der Objekte mit diesen *Nodes* in der virtuellen 3D-Welt entspricht einer kontinuierlichen Struktur. Jedoch ist es nicht zu erwarten, dass diese Form zwischen zwei benachbarten Kacheln dreidimensional kontinuierlich dargestellt wird, da sie aus diskreten Rasterdaten stammen. Tatsächlich wird jedoch eine Diskontinuität zwischen angrenzenden Kacheln erzeugt, was in 3D deutlich sichtbar wird - besonders dort, wo die Höhenunterschiede zwischen angrenzenden Pixeln im ursprünglichen Raster groß sind. In Abbildung 4.12 (a) (Seite 42) ist dieser Effekt deutlich zu sehen. Um dieses Problem zu verhindern wurden die Kacheln mit einer Überlappung angeordnet. Bei einer solchen Überlappung von einem Pixel ist der Effekt fast eliminiert, wobei noch einige Fehler zu erkennen sind (Abbildung 4.12 (b)). Mit zwei Pixeln wird der oben beschriebene Effekt jedoch beseitigt. Damit ist die Diskontinuität zwischen benachbarten Kacheln in einer 3D-Darstellung nicht mehr zu erkennen (Abbildung 4.12 (c)).

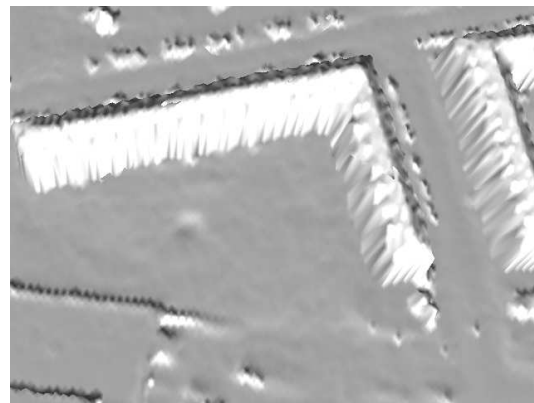
Dies erklärt auch die Dimension von 102 Punkten für die Parameter $xDimension$ und $zDimension$, beziehungsweise in den Linien 08 und 10 der VRML Struktur der Abbildung 4.11. Damit besitzt das Rasterfeld eine Dimension von 100×100 Punkten, mit zwei zusätzlichen Punkten für die Überlappung.



(a) 0 Pixel - Fehler sind deutlich zu erkennen



(b) 1 Pixel - Kleine Fehler sind noch zu erkennen



(c) 2 Pixel - Kein Fehler

Abbildung 4.12: Überlappung der Kacheln (0, 1 und 2 Pixel)

4.5.2 Gebäudemodelle

Ein anderer Datensatz, der als Phantome im System benutzt wird, enthält Gebäudemodelle. Diese Modelle erzeugen keine kontinuierliche Fläche wie die Laserscannerdaten, sondern diskrete Objekte für jedes einzelne Gebäude. Für die Universität Karlsruhe standen die Gebäudemodelle als VRML-Dateien bereits zur Verfügung: Sie wurden von [LANDES 1999] durch terrestrische Photogrammetrie für ein 3D Campus-Informationssystem der Universität erstellt. Abbildung 4.13 (Seite 43) zeigt die Gebäudemodelle in der virtuellen 3D-Welt. Für das Testgebiet in Obereisesheim sind jedoch keine derartigen Modelle vorhanden.

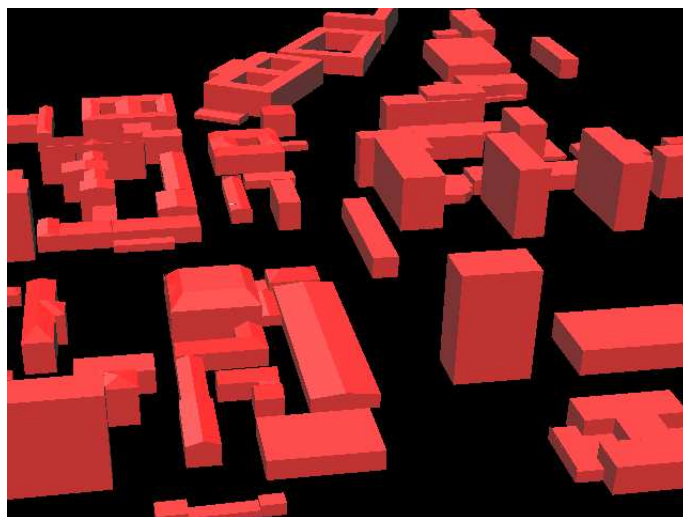


Abbildung 4.13: Verwendete Gebäudemodelle

Um die VRML-Dateien und andere Informationen bezüglich der Gebäude zu erhalten und zu organisieren, wurde eine Java Klasse *Gebäude* generiert. Diese Klasse speichert alle Informationen über die Gebäudemodelle in der Datenbank ab und stellt sie zur Verfügung. Die Information über die Geometrie jedes Gebäudes wird in *VRML*-Klassen gespeichert. Abbildung 4.14 (Seite 43) zeigt ein Schema dieser zwei Klassen und auch eine zusätzliche: *Aufnahme*. Diese wird beim Dokumentationsmodul benutzt und in Kapitel 4.9 erklärt.

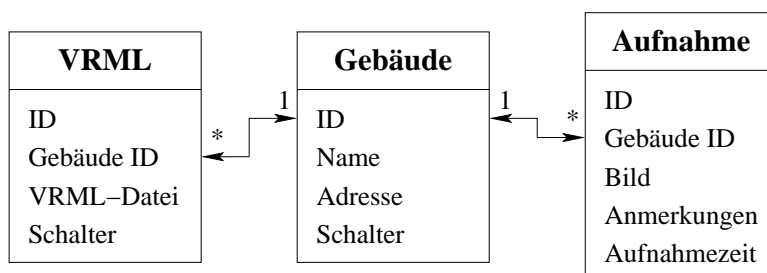


Abbildung 4.14: Aufbau der Tabelle mit den Gebäude in der Datenbank

Die Informationen in der Klasse *Gebäude* sind ID-Nummer, Name und Adresse des Gebäudes und ein Schalter für die Markierung des Gebäudes, mit denen das Laden und Integrieren des Gebäudes in der virtuellen Welt gesteuert wird. ID-Nummer, Gebäudename und Schalter sind in der Tabelle im rechten Bereich der graphischen Schnittstelle dargestellt (siehe Abbildung 4.15).

Die Klasse *VRML* enthält als Informationen eine eigene ID-Nummer, die ID-Nummer des Gebäudes, zu denen dieses Objekt gehört, die Geometrie des Gebäudes als *byte array* und auch einen Schalter. Eine Klasse *Gebäude* kann mehrere Instanzen der *VRML*-Klasse haben. Das ermöglicht das Laden von individuellen Teilen der Geometrie des Gebäudes. Verschiedene Bestandteile des Gebäudes, wie beispielsweise Wände, Türen, Fenster, Wasser- oder Stromleitungen, können so in verschiedene Layern organisiert werden.

Die Steuerung der Informationen innerhalb der Klassen *VRML* und *Gebäude* erfolgt mit Hil-

fe von API *Hibernate*⁹. Mit diesem API werden die Klassen in einer relationalen Datenbank abgebildet und, die in den Klassen eingeschlossenen Informationen werden persistent gespeichert. *Hibernate* übersetzt die Java-Klassen in Tabellenform und übernimmt ihre komplette Verwaltung. Die Informationen der Klassen in der Datenbank können so indirekt mittels Java Methoden hinzugefügt, geändert oder gelöscht werden. *Hibernate* automatisiert bei diesen Methoden die Datenbankabfragen, die im Hintergrund durchgeführt werden.

Die Modelle können einzeln in die virtuelle 3D-Welt geladen werden. Die Auswahl der Modelle, die geladen werden sollen, erfolgt über eine graphische Schnittstelle, wie in Abbildung 4.15 (Seite 44) dargestellt wird. Auf der rechten Seite der Schnittstelle erscheint eine Liste aller Modelle, die ihre Informationen in der Datenbank haben. Der linke Teil der Schnittstelle schließt Kontrollmöglichkeiten zur Änderung des Aussehens der Gebäudemodelle ein, falls diese während des Systemsbetriebs auch sichtbar gemacht werden sollen. Die Farbe der Modelle kann geändert werden, ebenso wie ihre Struktur unter dem Einsatz von Transparenzsteuerung oder der Darstellung als Drahtmodell, wie in Abbildung 4.16 (Seite 45) dargestellt wird.

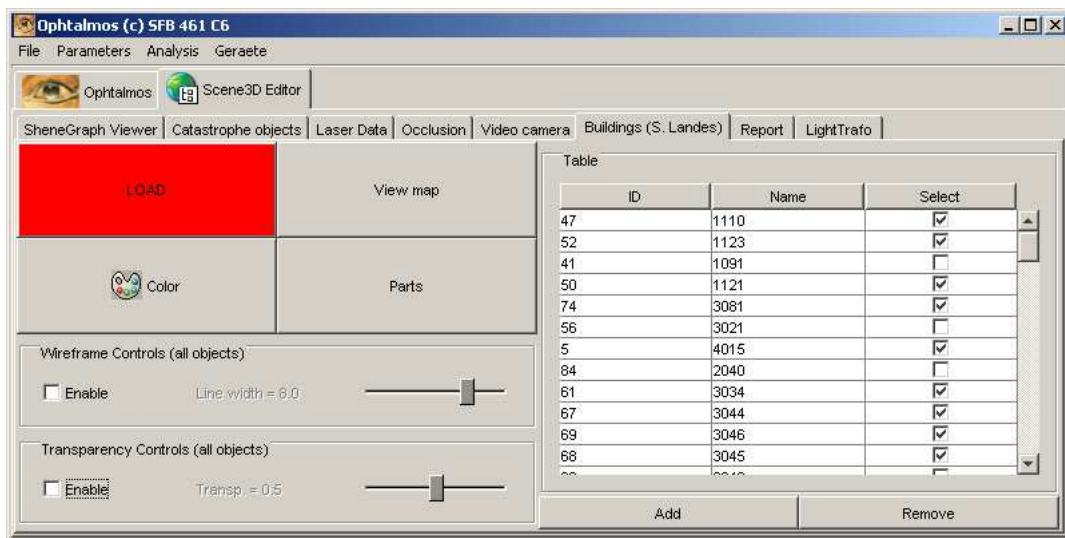


Abbildung 4.15: Graphische Schnittstelle mit Steuerung für die Gebäudemodelle

4.5.3 Wasserspiegel

Für das Testgebiet an der Universität Karlsruhe steht keine Hochwassersimulation zu Verfügung. Deshalb wird eine horizontale Ebene angenommen, die den Wasserspiegel darstellt. Die Größe dieser Ebene basiert auf der Größe der momentan geladenen Kacheln der Laserscannerdaten. Die Höhe der Ebene kann in einer graphischen Schnittstelle des Programms eingegeben werden.

Für das Testgebiet in Obereisesheim wurden vom IWK aus Simulationen resultierender Höheninformationen von Wasserspiegeln zu Verfügung gestellt [OBERLE et al. 2000]. Die Daten wurden für jedes Testgebiet als *ElevationGrid Node* in VRML-Dateien organisiert und werden aus diesen Dateien in die virtuellen 3D-Welt geladen. Ein *Transform Node* sorgt für die

⁹ *Persistence and query service for Java. Homepage: <http://www.hibernate.org>*

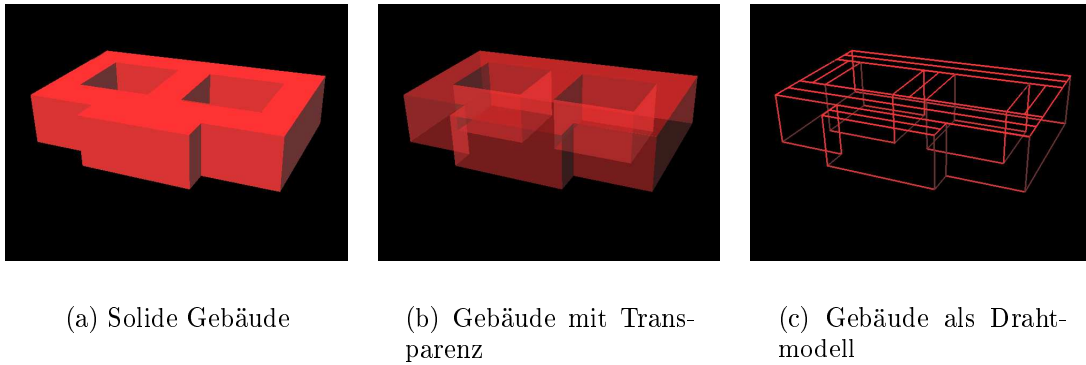


Abbildung 4.16: Gebäude verschiedenen dargestellt

richtige Position über den Laserscannerdaten. Diese Wasserspiegel sind damit keine horizontalen Ebenen, sondern Flächen, die sich aus hydrodynamisch-numerischen Berechnungen unter Berücksichtigung von Niederschlägen und Geländeformen ergeben.

Abbildung 4.17 (Seite 45) stellt diese zwei Varianten der Ausformung von Wasserspiegeln dar. Abbildung 4.17 (a) zeigt die horizontale Ebene und 4.17 (b) die aus Simulation gewonnene Ebene. Der Unterschied zwischen den beiden Ebenen wird klar, wenn man ihre Form analysiert. Die mittels Simulation gewonnene Fläche enthält eine Struktur, die die Wasserhöhe realistisch an die Geländeform anpasst und die Dynamik des Wasserstroms für einen bestimmten Moment mit berücksichtigt.

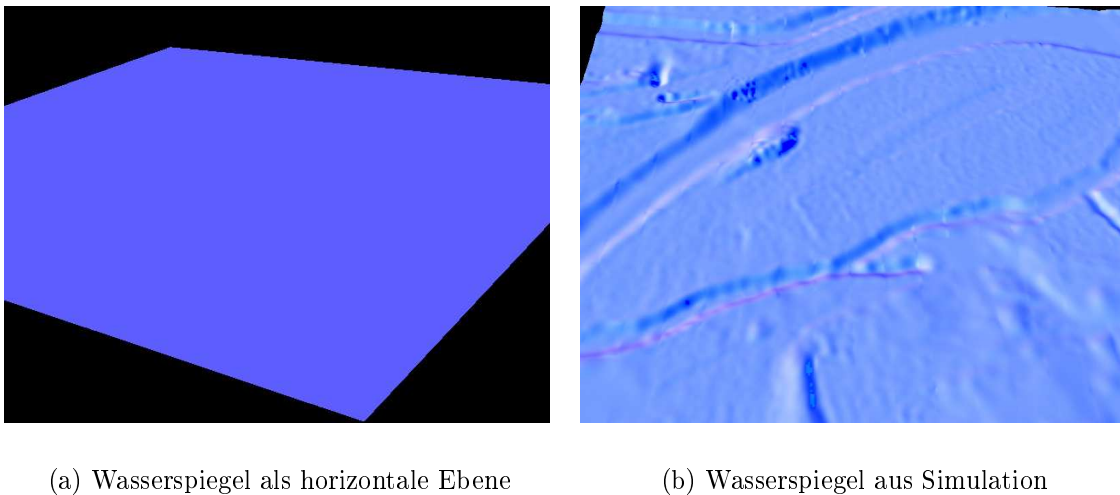
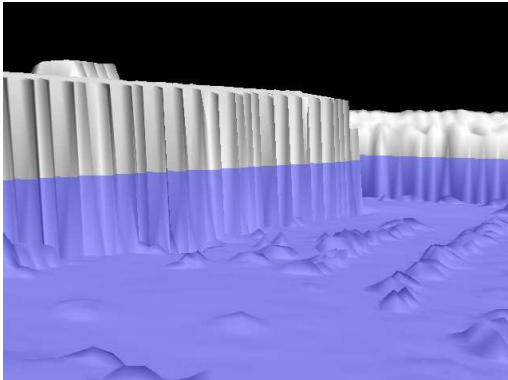


Abbildung 4.17: Verfeinerung der Form des Wasserspiegels

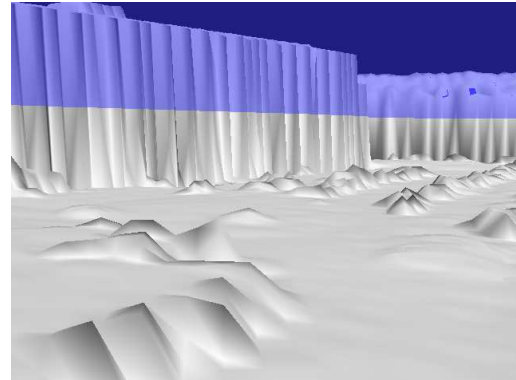
Möglichkeiten zur Darstellung des Wasserspiegels

Die Möglichkeit der transparenten Darstellung des Wasserspiegels erlaubt, reale Objekte zu sehen, die sich unterhalb des Wasserspiegels befinden. Dies entspricht zwar nicht einer exakt realistischen Sichtweise, ist aber bei der Identifizierung möglicher Gefahrenquellen von großem

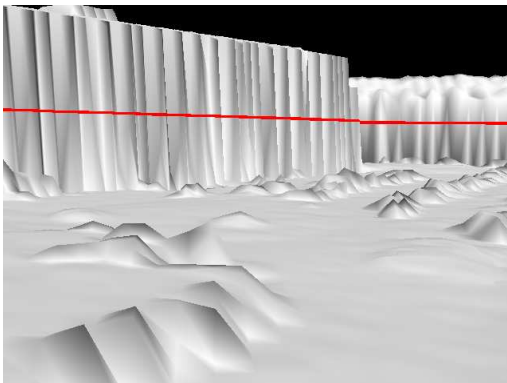
Vorteil (siehe Abbildungen 4.18 (a), (b), (d), Seite 47). Ist der Wasserspiegel höher als das Projektionszentrum, wird auf die Darstellung von Wasserstandslinien am Gebäude anstelle von visualisierten Wasseroberflächen zurückgegriffen, um eine mögliche Fehlinterpretation und daraus resultierende falsche Darstellungen zu vermeiden (siehe Abbildungen 4.18 (c), (e), (f)).



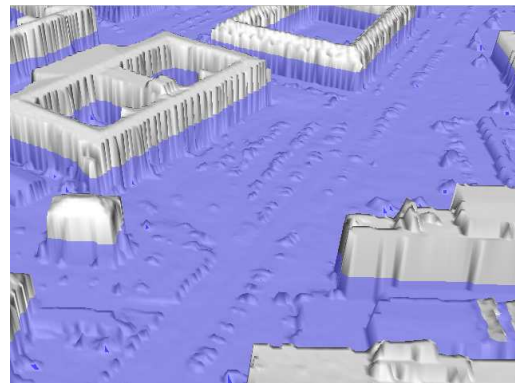
(a) Fläche (Sichtpunkt 1): Kamera über Wasser



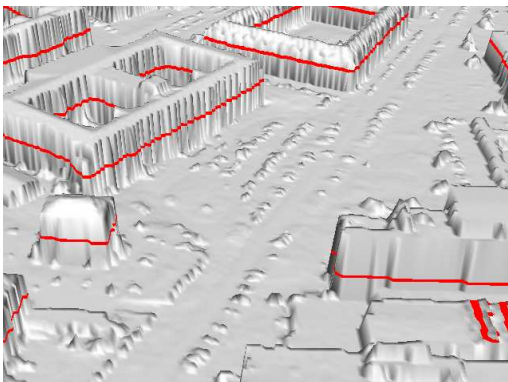
(b) Fläche (Sichtpunkt 1): Kamera unter Wasser



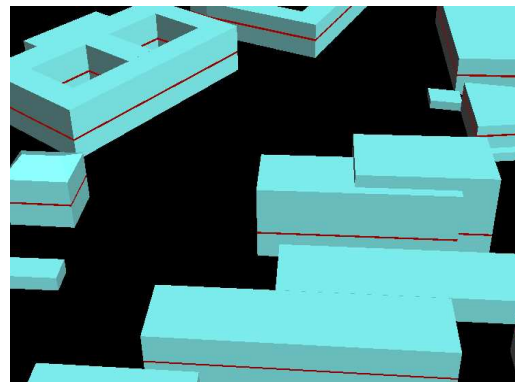
(c) Linie (Sichtpunkt 1): Kamera unter Wasser



(d) Fläche (Sichtpunkt 2): Sicht von oben



(e) Linie (Sichtpunkt 2): Sicht von oben



(f) Linie (Sichtpunkt 2): Sicht von oben mit soliden Gebäudeblöcken

Abbildung 4.18: Anwendung von Flächen und Linien für die Darstellung des Wasserspiegels

4.6 Koordinatensysteme und Transformationen

Die geometrisch richtige Referenzierung der Szene der virtuellen Welt und der Szene aus der Videokamera ergibt sich, wie zum Beispiel in [LEEBMANN 2003] beschrieben wird, aus einer Verkettung von mehreren Transformationen¹⁰ zwischen verschiedenen Koordinatensystemen (siehe Gleichung 4.4, Seite 50).

Im Folgenden werden die für diese Arbeit verwendeten Koordinatensysteme dargestellt. Abbildung 4.19 zeigt in einer Prinzipskizze, wie die verschiedenen Koordinatensysteme zusammenspielen. Die Nummerierung der Koordinatensysteme stimmt mit der Reihenfolge der Transformationen überein.

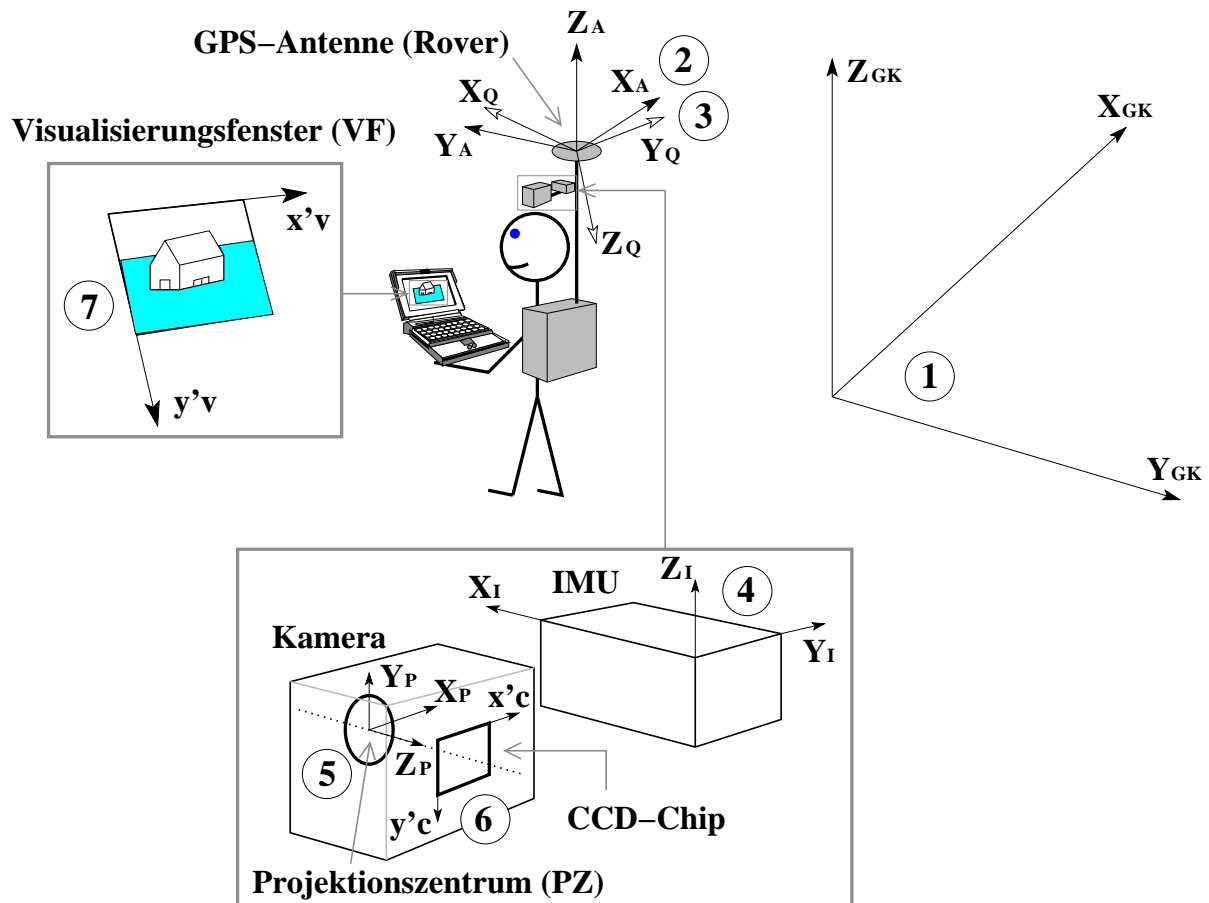


Abbildung 4.19: Im System verwendete Koordinatensysteme

Jedes Koordinatensystem wird im Folgenden beschrieben:

- ① **Gauß-Krüger (GK) Projektion:** Die virtuellen Objekte müssen in einem gemeinsamen Koordinatensystem angegeben werden, das sich auf die feste Erdoberfläche bezieht. Ein solches Koordinatensystem bildet zum Beispiel das GK-Koordinatensystem.

Durch entsprechende Einstellungen können aus dem GPS-Gerät direkt GK-Koordinaten ausgelesen werden.

¹⁰Die im System verwendeten Module für die Transformationen zwischen Koordinatensystemen wurden von Dipl.-Ing. Johannes Leebmann entwickelt.

Die Definition des GK-Systems ist zum Beispiel bei [KAHMEN 1993] zu finden.

So wie die Koordinaten hier verwendet werden, ist es wichtig zu berücksichtigen, dass es sich um eine winkeltreue transversale Mercator-Abbildung handelt. Die Längenverzerrungen können für diese Arbeit vernachlässigt werden, da das Einsatzgebiet in seiner Ausdehnung so klein ist, dass die Verzerrungen hinsichtlich der Messgenauigkeiten vernachlässigt werden können.

② **GPS-Antenne (*Rover*):** Der GPS-Empfänger, der mit dem ERS verbunden ist (*Rover*), liefert GK-Koordinaten. In einem ersten Schritt werden die virtuellen Modelle in ein Koordinatensystem transformiert, dessen Achsen parallel zum GK-Koordinatensystem sind und dessen Ursprung im Messzentrum des *Rovers* liegt.

③ **Quelle:** Da die Hochwert-Achse des GK-Koordinatensystems nach dem Meridianen orientiert ist und das hier verwendete IMU jedoch als Bezugsrichtung magnetisch Nord verwendet, müssen nun die virtuellen Objekte gedreht werden. Neben dieser „magnetischen Missweisung“, die auch bei einem herkömmlichen Kompass zu korrigieren ist, müssen noch Kalibrierungsfehler berücksichtigt werden.

Hierbei handelt es sich um eine reine Rotation, vom GK-System in das Bezugssystem des IMU. Dieses definiert sich im Wesentlichen aus magnetisch Nord und der Lotrichtung. Die beiden Orientierungen werden noch durch Nullpunktfehler verfälscht, die sich durch Kalibrierung bestimmen lassen.

④ **IMU:** Der sich während des Einsatzes des ERS ändernde Anteil der Blickrichtung der Kamera kann durch das IMU gemessen werden.

Die Messwerte des IMUs erlauben es, die virtuellen Objekte so zu drehen, dass sie sich in einem mit dem IMU fest verbundenen lokalen Koordinatensystem befinden. Der Abstand zwischen IMU und GPS-Messzentrum wird als vernachlässigbar klein angenommen.

⑤ **Projektionssystem:** Die letzte euklidische Transformation besteht darin, die virtuellen Objekte vom IMU-festen System in das sogenannte Projektionssystem zu transformieren. Dieses System befindet sich im Projektionszentrum (PZ) der Kamera. Die Z-Achse ist durch das Lot des Projektionszentrums auf den CCD-Chip definiert. Die X-Achse wird als parallel zu den Zeilen des CCD-Chips festgelegt.

⑥ **CCD-Chip:** Durch eine affine Transformation mit anschließender perspektiven Division werden die virtuellen Objekte in das Koordinatensystem projiziert, das durch die Zeilen und Spalten des CCD-Chips definiert ist.

⑦ **Visualisierungsfenster (VF):** Um eine endgültige Referenzierung am Bildschirm zu erreichen, müssen nun die projizierten Objekte noch auf die Abbildung am Bildschirm angepasst werden. Die Achsen der am Bildschirm wiedergegebener Bildmatrix sind zwar parallel zur CCD-Bildmatrix, es müssen aber gegebenenfalls noch Maßstäbe und die Orientierung angepasst werden.

Die gesamte Abbildung setzt sich also aus mehreren euklidischen, sowie projektiven Transformationen zusammen. Die Matrix 4×4 (die Punkte werden in homogenen Koordinaten dargestellt) in der Gleichung 4.1 bildet dabei die euklidische Transformation. Die r_{ik} sind Elemente der Rotation und t_i sind Elemente der Translation.

$$\mathbf{T}_{von}^{nach} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{von}^{nach} \quad (4.1)$$

Die projektive Transformation wird durch die Matrix in der Gleichung 4.2 realisiert. Eine Skalierung in Richtung der Zeilen und Spalten des CCD-Chips wird durch c_1 und c_2 vorgenommen, x_0 und y_0 bilden den Hauptpunkt und d beschreibt die Scherung der Bildkoordinatenachsen als Faktor. Diese Parameter werden durch die Kamerakalibrierung bestimmt.

$$\mathbf{P}_{PZ}^{CCD-Chip} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & x_0 & 0 \\ d & c_2 & y_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Die Transformation zwischen CCD-Chip und Visualisierungsfenster ist lediglich eine Skalierung in Richtung der Zeilen und Spalten des Bildes, wie die Gleichung 4.3 zeigt.

$$\mathbf{S}_{CCD-Chip}^{VF} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Die Transformation vom Gauß-Krüger-System in das Koordinatensystem des Visualisierungsfensters geschieht damit nach folgender Beziehung, wobei die Transformationen \mathbf{S} , \mathbf{P} und \mathbf{T} zusammengefasst werden können:

$$\mathbf{T}_{Gau\beta-Kr\ddot{u}ger}^{VF} = \mathbf{S}_{CCD-Chip}^{VF} \mathbf{P}_{PZ}^{CCD-Chip} \mathbf{T}_{IMU}^{PZ} \mathbf{T}_{Quelle}^{IMU} \mathbf{T}_{GPS-Empf\ddot{a}nger}^{Quelle} \mathbf{T}_{Gau\beta-Kr\ddot{u}ger}^{GPS-Empf\ddot{a}nger} \quad (4.4)$$

Diese wird dann verwendet um den Punkt \mathbf{x} in den Punkt $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} n & m & h \end{pmatrix}'$ nach

$$\mathbf{u} = \mathbf{T}_{Gau\beta-Kr\ddot{u}ger}^{VF} \mathbf{x}_{Gau\beta-Kr\ddot{u}ger} \quad (4.5)$$

zu transformieren.

Um letztendlich zu den Bildpunktkoordinaten zu gelangen, muss noch die perspektive Division (pD) erfolgen:

$$\mathbf{v} = \begin{pmatrix} x/w \\ y/w \\ z/w \end{pmatrix} = pD \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

Anpassung der Größenordnung der Koordinaten für die virtuelle Welt

Gauss-Krüger Koordinaten werden durch Zahlen mit 7 Stellen (Größenordnung von 10^7) beschrieben. Bei den daraus resultierenden Abständen zwischen den Koordinaten und dem Ursprung der virtuellen 3D-Welt taucht der Effekt einer sprunghaften Bewegung der Objekte

bei Drehungen auf. Die Ursache der Sprünge sind Rundungsfehler der Visualisierungssoftware. Um dies zu vermeiden, werden die Laserscannerdaten während des Kachelungsprozesses und auch die Gebäudemodelle in ein lokales Koordinatensystem mit kleineren Koordinateneinheiten transformiert, ebenso wie auch die GPS Koordinaten während der Nutzung des System im Freien.

4.7 Lösungsansätze für die Referenzierung

Unter Referenzierung versteht man die Bestimmung der in Gleichung 4.4 konstanten Transformationsparametern (siehe hierzu [LEEBMANN und BÄHR 2004]).

Die Gleichungen 4.4, 4.5 und 4.6 können in ihrer Kombination zu einer Bündelblockausgleichung herangezogen werden. Setzt man die Transformationsparameter für $\mathbf{T}_{GPS-Empfänger}^{Quelle}$, \mathbf{T}_{IMU}^{PZ} und $\mathbf{P}_{PZ}^{CCD-Chip}$ als a-priori unbekannt, so können diese aus beobachteten Bildkoordinaten und bekannten Passpunkten in der Bündelgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden. Die Transformationen $\mathbf{T}_{Gauß-Krüger}^{GPS-Empfänger}$ und $\mathbf{T}_{Quelle}^{IMU}$ werden durch GPS- bzw. IMU-Messung bestimmt.

Die 3D Koordinaten werden aus den Laserscannerdaten in der virtuellen Welt gemessen und die identischen Punkte werden auf die von der Digitalkamera erzeugten Bilder bezogen. Den Transformationen $\mathbf{T}_{GPS-Empfänger}^{Quelle}$ und \mathbf{T}_{IMU}^{PZ} werden somit ihre Parameter zugeordnet, die in einer Konfigurationsdatei gespeichert werden.

Kamerakalibrierung

Die Kamerakalibrierung dient der Anpassung der Hardware an das mathematische Modell der Zentralprojektion. Durch die Kalibrierung werden die Parameter für die Transformationen $\mathbf{P}_{PZ}^{CCD-Chip}$ und $\mathbf{S}_{CCD-Chip}^{VF}$ bestimmt.

Diese Parameter werden mittels der Videokamera gemessen und eingestellt. Dafür wurde am IPF ein Kalibrierungsfeld gebaut¹¹, das der Form einer Würfecke entspricht. Die drei Wände werden von innen mit Punkten markiert, deren dreidimensionale Positionen für ein lokales Koordinatensystem bestimmt werden. Abbildung 4.20 (Seite 52) zeigt das vor diesem Kalibrierungsfeld positionierte System. Eine Abbild dieses Kalibrierungsfeldes wurde in einer virtuellen Welt konstruiert. Mit der Messung von homologen Punkten auf den realen und den virtuellen Wänden werden dann die inneren Kameraparameter berechnet, die der virtuellen Kamera zugeordnet werden. In der rechten Abbildung wird das Visualisierungsfenster dargestellt, in denen die Punkte gekennzeichnet sind.

Die in der virtuellen Java3D Umgebung visualisierte Szene wird mit Hilfe einer virtuellen Kamera erzeugt, die mit der Java3D Klasse *View* eingerichtet wird. Die virtuelle Kamera simuliert den Effekt der realen Kamera, wobei sich die Kameraparameter konfigurieren lassen.

4.8 Lösungsansätze für die Verdeckung

Bei der Visualisierung der virtuellen Objekte in der realen Welt ist eine bloße Überlagerung nicht ausreichend, um einen realistischen Eindruck zu erzeugen. Das Hauptproblem ist die Forderung,

¹¹Das Kalibrierungsfeld sowie das Kalibrierungsprogramm wurde von Dipl.-Ing. Johannes Leebmann erstellt.

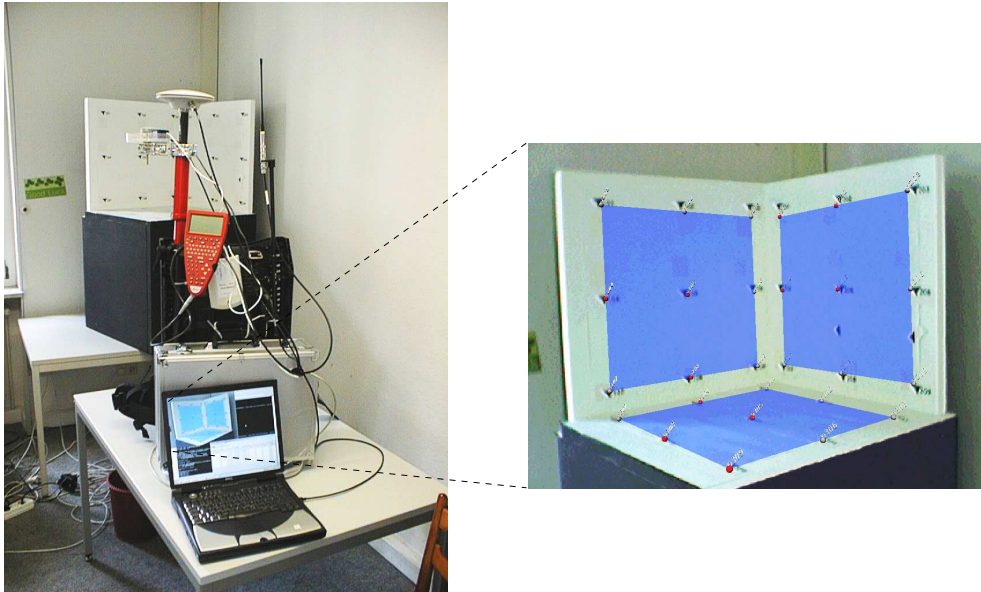


Abbildung 4.20: Messungen im Testfeld für die Bestimmung der Kameraparameter

dass die Objekte der realen Welt die virtuellen Objekte teilweise überdecken müssen. Es muss eine Abstimmung der Sichtbarkeit aufeinander geben, wie in Kapitel 3.3 ausgeführt wurde.

In Abbildung 4.21 (Seite 53) ist in einer Prinzipskizze dargestellt, wie das Verdeckungsproblem für diese Arbeit gelöst wurde. Die Tiefeninformation für die Abbildung der Realität wird durch die Laserscannerdaten oder durch die Gebäudemodelle angenähert. Aus diesen virtuellen Modellen wird nun kontinuierlich, entsprechend der Kamerabewegung, die Tiefeninformation abgeleitet. Für die virtuellen Objekte, die dargestellt werden sollen, wird ebenfalls eine Tiefeninformation generiert. Im Beispiel der Skizze ist das ein simulierter Hochwasserspiegel. Die Tiefeninformationen der virtuellen Szene werden mit den Tiefeninformationen der realen Szene für jeden Bildpunkt verglichen. Durch diesen Vergleich entscheidet das Programm, ob die jeweiligen Bildpunkte aus den Darstellungen der virtuellen Objekte oder der realen Welt entnommen werden. Wo sich ein Phantom vor einem virtuell eingefügten Objekt in der Szene befindet, werden Pixel aus dem Videobild benutzt. Falls kein reales Objekt ein virtuelles Objekt verdeckt, werden die Pixel dieses virtuellen Objektes eingesetzt. Durch eine Mischung der Pixelarten kann ein Transparenzeffekt geschaffen werden.

Abbildung 4.22 (Seite 55) zeigt die entwickelten graphischen Schnittstellen, die der Auswahl der Phantome und der Modi für die Darstellung des Wasserspiegels während des Verdeckungsprozesses dienen. Somit kann der Modus zur Darstellung des Wassers als Oberfläche oder Linie gesteuert werden. Im Feld „*Performance monitor*“ dagegen wird die Wiederholfrequenz dargestellt, mit welcher die Szene aufgebaut wird. Das Feld „*Canvas display*“ dient dazu, die verschiedenen Szenen mit den Laserscannerdaten, Gebäudemodellen oder Wasserspiegel zugänglich zu machen. Im Feld „*Limit difference to select pixel*“ kann bei der Anwendung des Modus „Linien“ der Grenzwert für die Unterschiede zwischen den Tiefeninformationen der Phantome und des Wasserspiegels eingegeben werden, was wiederum die Markierung der Pixel, die die Linie bilden, auf dem Visualisierungsfenster festlegt. Über diesen Wert kann die Breite der Linie gesteuert werden.

Die korrekte Positionierung der virtuellen Objekte in der realen Welt kann durch die Visualisierung der Phantome in der erweiterten Szene überprüft werden. Damit reale und virtuelle

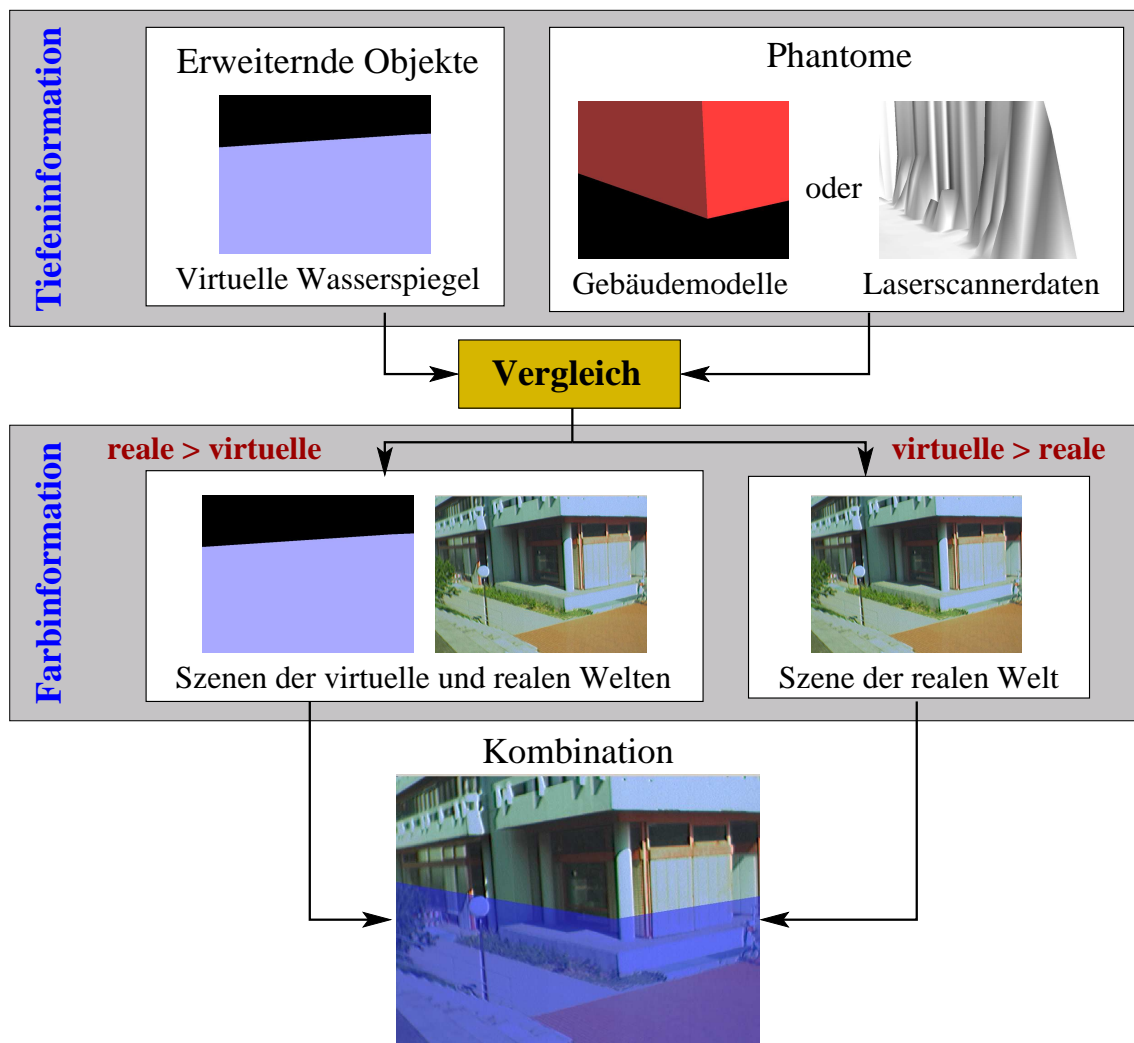


Abbildung 4.21: Schema zum Informationsfluss bei der Verdeckung virtueller Objekte durch reale

Objekte gleichzeitig sichtbar sind, können die Phantome mit Transparenz dargestellt werden. Der bloße Einsatz von Transparenz bei den Phantomen in der virtuellen Welt und die direkte Mischung der so generierten Szene mit der Szene aus der realen Welt erzeugt jedoch keinen realistischen Eindruck, da auch andere Objekte der virtuellen Welt im Hintergrund dargestellt werden. In Abbildung 4.23 (a) sind unerwünschte Strukturen mit Pfeilen markiert. Wenn die Tiefeninformation der Szene aus der virtuellen Welt bei ihrer Mischung mit der Szene der realen Welt berücksichtigt wird, können diese unerwünschten Objekte entfernt werden. Abbildung 4.23 (b) zeigt das Ergebnis, das mit Hilfe von Verdeckungsverarbeitung bei der Szenekomposition erhalten wurde. Dabei werden nur die Laserscannerdaten dargestellt, die als Objekte im Vordergrund erscheinen. So werden reale und virtuelle Objekte adäquat gleichzeitig dargestellt.

4.9 Vorbereitung des Dokumentationsmoduls

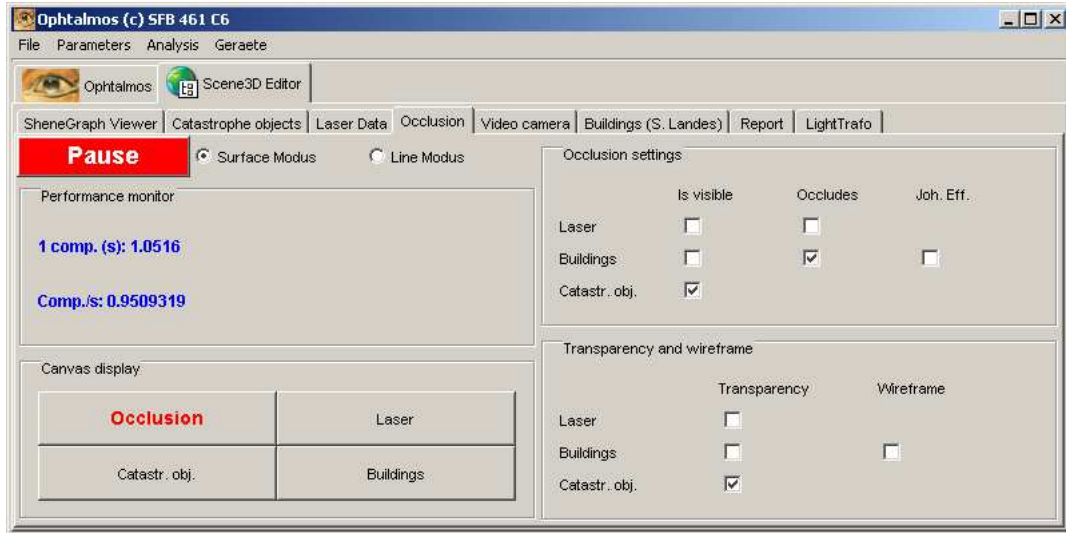
Die vom System generierte Dokumentation ist gebäudeorientiert: Aufnahmen werden für einzelne Gebäude gemacht und werden in individuellen Berichten organisiert.

Die Informationen, die zu den Aufnahmen gehören, sind eine ID-Nummer, die ID-Nummer des bezogenen Gebäudes, ein Bild aus dem Visualisierungsfenster mit der visualisierten Szene, Textinformation mit Anmerkungen über die Szene, Datum und Uhrzeit der Aufnahme. Für die Organisation dieser Informationen in der Datenbank wurde die Klasse *Aufnahme* eingerichtet. Diese Klasse wird in Abbildung 4.14 (Seite 43) in Beziehung mit der Klasse *Gebäude* dargestellt. Für jedes Gebäude kann eine beliebige Zahl von Aufnahmen gemacht werden.

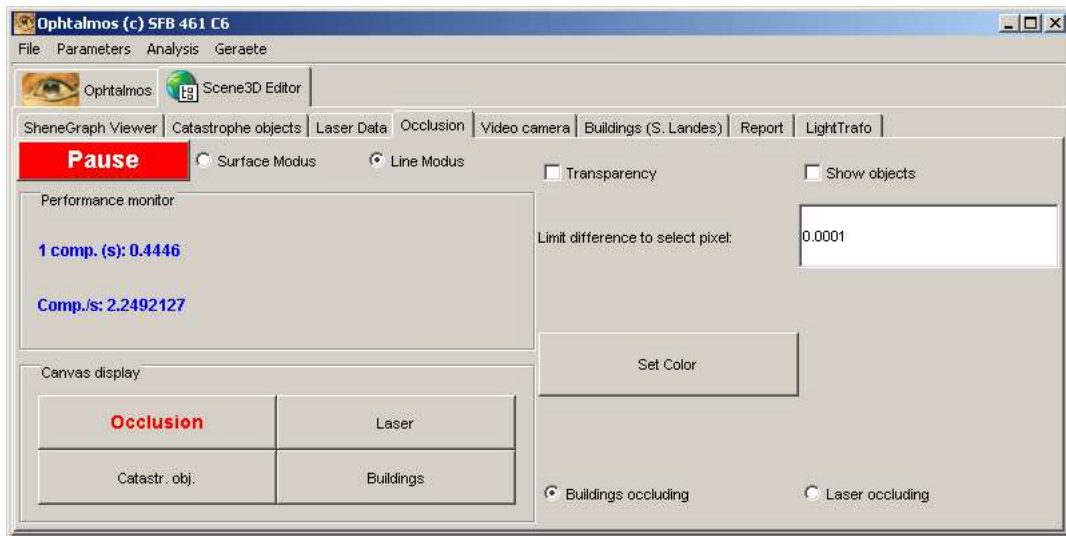
Die Aufnahmen werden im Freien während der Nutzung des Systems gemacht. Der Nutzer des Systems wählt mit der Maus das gewünschte reale Gebäude in der Szene auf dem Bildschirm des Laptops aus. Die 2D-Koordinaten des Visualisierungsfensters werden an der Stelle gelesen und in der virtuellen Szene markiert, an der sich das Phantom dieses Gebäudes befindet. Das jeweilige Phantom zum realen Gebäude wird folglich ausgewählt und die entsprechende Instanz der Klasse *Gebäude* zurückgegeben. Die Informationen dieser Instanz erscheinen auf der graphischen Schnittstelle, wie in Abbildung 4.24 (Seite 56) dargestellt. Der Gebäudename wird im linken Bereich der Schnittstelle automatisch angegeben und eine Liste mit bereits vorhandenen Aufnahmen wird im rechten Bereich dargestellt.

Neue Aufnahmen werden für das ausgewählte Gebäude mittels dieser graphischen Schnittstelle gemacht. Die Schnittstelle bietet zudem die Möglichkeit, Informationen zu ändern und zu löschen.

Im Anschluss an den Einsatz im Gelände werden mit den aufgenommenen Bildern und Texten automatisch Berichte erzeugt, die sich ausdrucken oder als Dateien in den gängigen Austauschformaten abspeichern lassen. Die graphische Schnittstelle des Programms, welche den Bericht generiert, ist in Abbildung 4.25 (Seite 57) dargestellt. Wie Abbildung 4.25 (a) zeigt, wird dabei eine Liste mit allen Gebäuden generiert, die sich in der Datenbank befinden. Bei der Auswahl eines bestimmten Gebäudes kann daraufhin der dazugehörige Bericht generiert und angezeigt werden, wie in Abbildung 4.25 (b) dargestellt. Der Bericht, der nur teilweise in dieser Abbildung sichtbar ist, ist vollständig Anhang A (Seite 79) zu entnehmen.

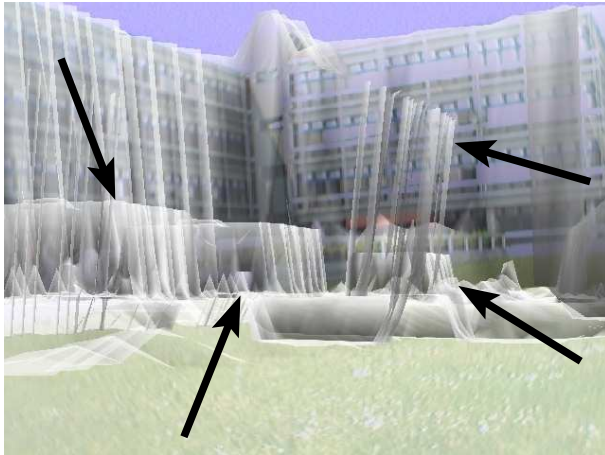


(a) Steuerung Flächenmodus



(b) Steuerung Linienmodus

Abbildung 4.22: Graphische Schnittstelle für die Steuerung der Verdeckungsverarbeitung



(a) Reales Gebäude und Laserscannerdaten als Phantom mit Transparenz dargestellt: Ohne Verdeckungsverarbeitung sind Laserscannerdaten von anderen Gebäuden zu sehen, die in der Szene unerwünscht sind.



(b) Mittels Verdeckungsverarbeitung werden die unerwünschte Objekte aus der Szene gelöscht.

Abbildung 4.23: Darstellung der Phantome in der erweiterte Szene: Hilfe der Verdeckungsverarbeitung beim Einsatz von Transparenz

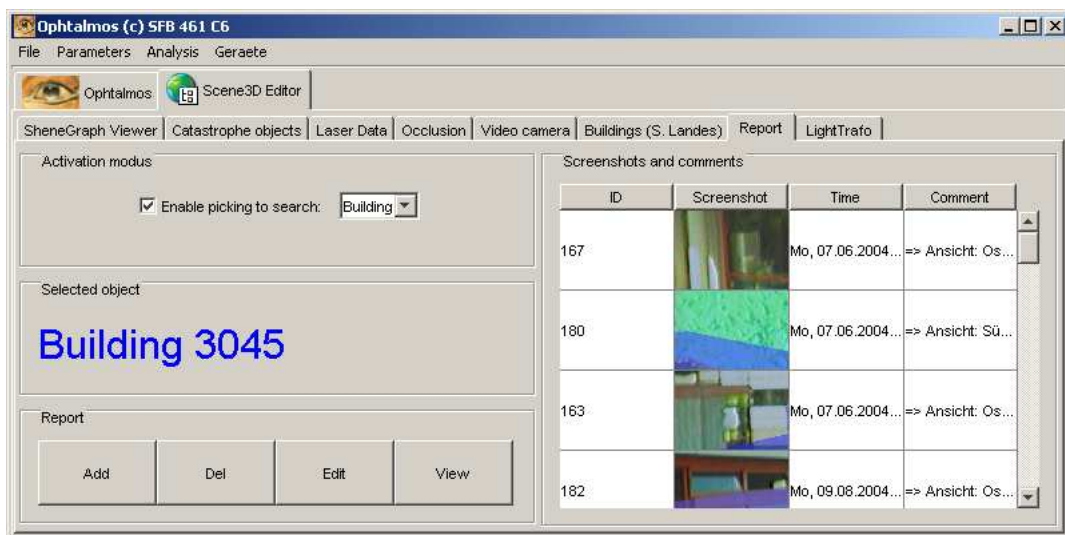
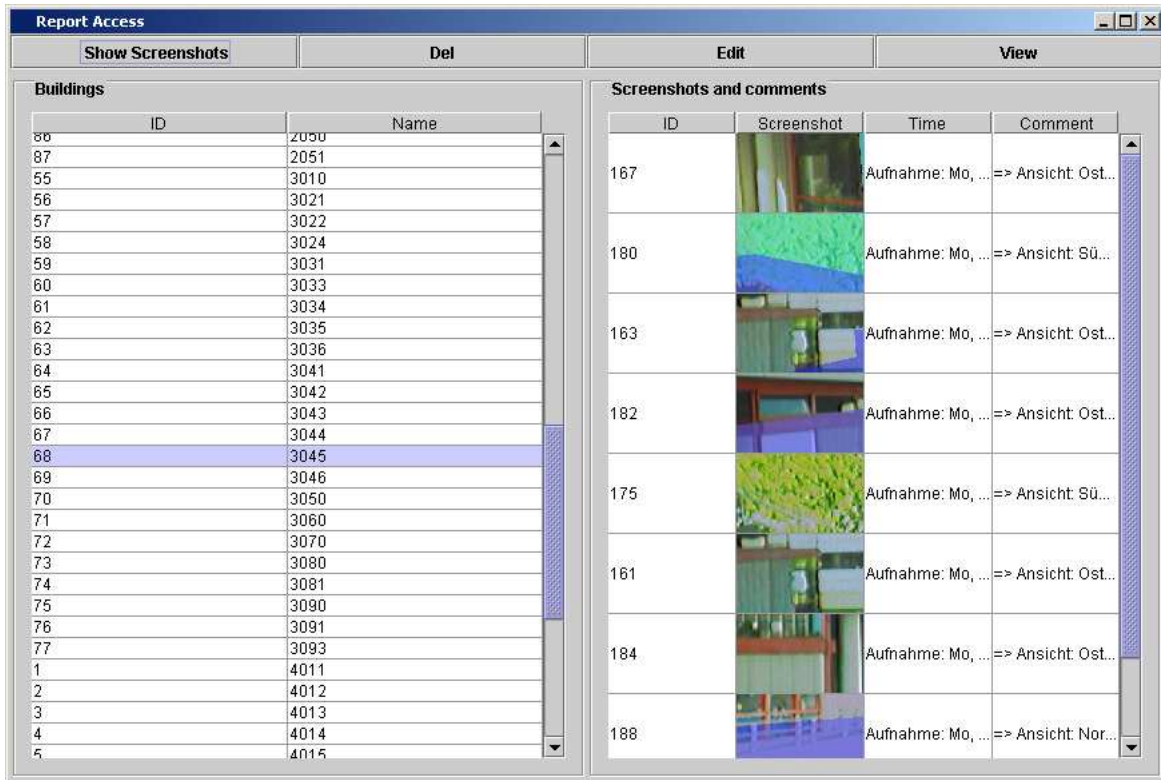


Abbildung 4.24: Graphische Schnittstelle für die direkte Eingabe von Informationen



(a) Ein Gebäude wird in der Liste (links) ausgewählt, die entsprechende Aufnahme der Tabelle (rechts) angezeigt.



(b) Bericht-Visualisator

Abbildung 4.25: Die *Report Access* Programm-Bericht-Generator

Kapitel 5

Anwendungen des entwickelten Systems

In diesem Kapitel werden Anwendungen des Systems und Beispiele von Aufnahmen dargestellt. Desweiteren werden die dabei auftauchenden Probleme sowie die vorgeschlagenen Lösungsmöglichkeiten diskutiert. Die Beurteilung erfolgt dabei hauptsächlich mittels einer Analyse der Aufnahmequalitäten.

Dazu wurde das System in jedem Testgebiet mit unterschiedlichen Situationen konfrontiert.

5.1 Referenzierung

Vor der Nutzung des Systems im Außenbereich muss die Referenzierung korrekt eingestellt sein. Dabei ist der erste Schritt die Vorbereitung der Transformationen zwischen GPS-Koordinaten und Projektionszentrum der Kamera, wie in Kapitel 4.7 beschrieben wurde. Die Transformationen zwischen Projektionszentrum und Visualisierungsfenster werden bereits im Büro durch die Kamerakalibrierung bestimmt.

Die Installation der Referenzstation des GPS innerhalb des Campus der Universität Karlsruhe erfolgte durch das Anbringen einer Antenne auf dem Dach eines Gebäudes, die während der gesamten Entwicklungsphase des Systems betriebsbereit war. Für das Testgebiet Obereisesheim (siehe Abbildung 4.6, Seite 37) waren geographische Koordinaten eines offiziellen Festpunktes der Landesvermessung im Testgebiet vorhanden, über dem die Referenzstation aufgestellt werden konnte. Abbildung 5.1 (Seite 60) zeigt die Referenzstation, die auf einem solchen Punkt aufgestellt wurde sowie ihre Position bezüglich der Laserscannerdaten.

Im Testgebiet Obereisesheim soll der simulierte Wasserspiegel zusammen mit den Laserscannerdaten dargestellt werden (siehe Abbildung 5.1). Hierbei ist es wichtig, die richtigen Kacheln zu laden, die als Phantome für die vom Wasserspiegel abgedeckte Fläche benutzt werden.

Die Visualisierung der Laserscannerdaten unterstützt die Auswahl der Punkte, die mit GPS-Messungen verglichen werden sollen. Eine gute Punktverteilung soll zur Bestimmung der Transformation den ganzen Bereich abdecken, in der die Aufnahme mit dem System erfolgen. Das macht die Referenzierung stabiler. Die Messungen müssen jedoch im Freien gemacht werden auf Punkten, die gut auf die Laserscannerdaten zu erkennen sind. Mit Berücksichtigung dieser zwei Faktoren wurden GPS-Koordinaten im Freien gemessen, sowie die entsprechenden Punkte in den Laserscannerdaten. In Abbildung 5.1 sind die gewählten Punkte auf den *last pulse*-Daten des Testgebietes Obereisesheim mit Kreuzen markiert.

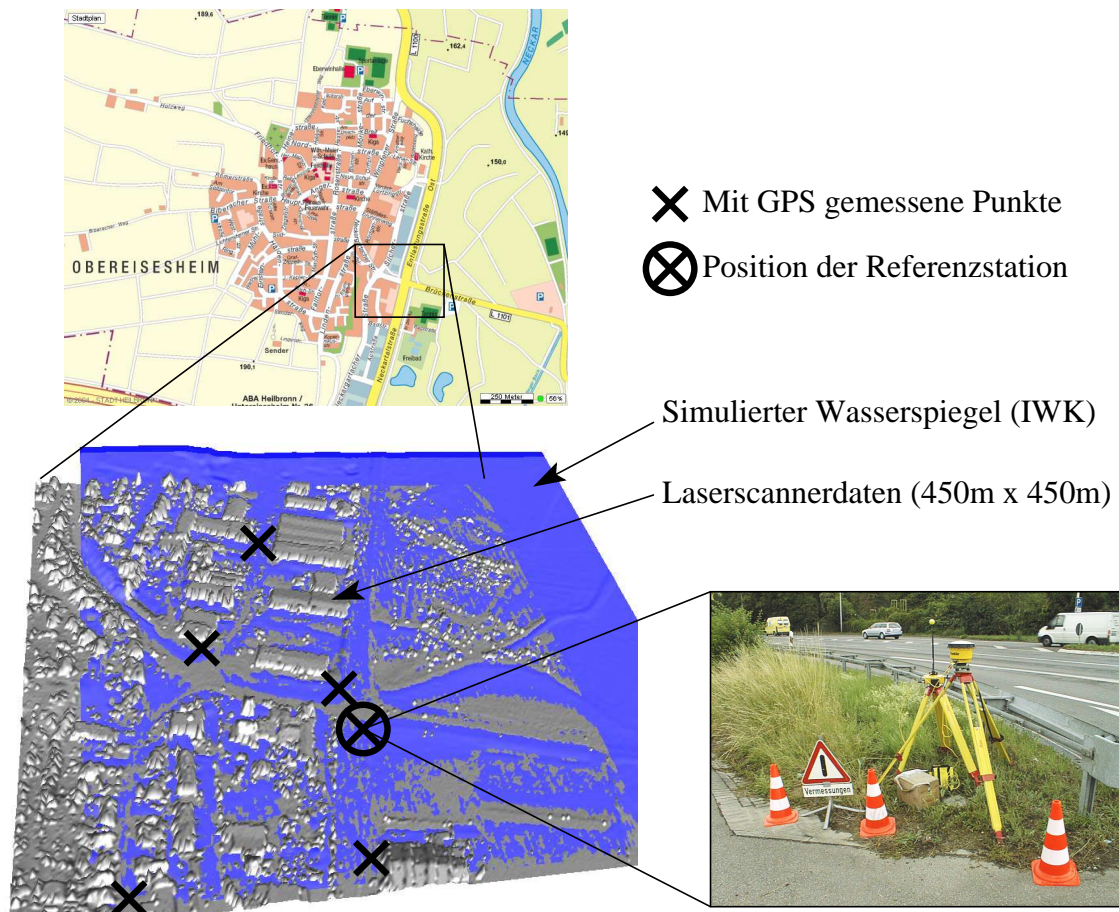


Abbildung 5.1: Skizze des Testgebietes Obereisesheim: 3D Visualisierung der Laserscannerdaten und des Wasserspiegels mit der Markierung der gemessenen Punkte und Positionierung der Referenzstation

Durch die Auswertung der *first pulse*-Daten werden beispielsweise die durch Bäume verdeckten Plätze ausgeschlossen, da unter Bäumen das GPS-Signal schwer geortet werden kann. Aus den *last pulse*-Daten können diejenigen Stellen besser identifiziert werden, an denen sich Gebäude und andere statische Objekte der realen Welt befinden (siehe Abbildung 4.7, Seite 38). Diese Daten wurden deshalb bei der Markierung dieser Punkte in der virtuellen Welt verwendet.

Punkte können im Freien mit dem GPS mit einer Genauigkeit von 1 Zentimeter gemessen werden - im Gegensatz zu den Messungen anhand von Laserscannerdaten, die auf einem Raster von 1 Meter basieren.

Die Genauigkeit bei der Identifizierung und Messung der Punkte anhand von Laserscannerdaten erreichte in den besten Fälle etwa 1 Pixel in einem Visualisierungsfenster mit SVGA Größe. Ein verbessertes System könnte die Möglichkeit bieten, die Entfernung zwischen den benutzten Ecken und den gemessenen Punkten während der Messung sichtbar zu machen: Wenn die Messung nicht erfolgreich wäre, könnte sie gelöscht werden.

Für die Bestimmung der Transformationen zwischen IMU und Projektionszentrum der Kamera werden ebenfalls in Ecken und Kanten von Gebäuden Kontrollpunkte gesucht. Diese Punkte müssen sowohl in den Bildern der realen Welt als auch im Visualisierungsfenster mit den Laserscannerdaten angezeigt werden, so dass erforderliche Messungen vorgenommen werden

können.

5.2 Aufnahmebeispiele

Die Beispiele in den Abbildungen 5.2, 5.3 und 5.5 stammen aus dem Testgebiet an der Universität Karlsruhe. Dabei wird der Wasserspiegel durch eine horizontale Ebene vereinfacht dargestellt (siehe Kapitel 4.5.3, Seite 44).

Beispiel 1 in Abbildung 5.2 (Seite 62) wurde vom Dach des Gebäudes 20.40 aufgenommen. In Abbildung 5.2 (a) sind einige Gebäudemodelle als Phantome transparent dargestellt auf einem Bild der realen Welt dargestellt. In Abbildung 5.2 (b) sind die Phantome nicht sichtbar, der Wasserspiegel wurde in die Szene eingefügt. An der Stelle der Phantome werden hierbei direkt die realen Gebäude gezeigt und der Wasserspiegel an dieser Stelle geschnitten. Vom Aufstellungsort wurde jedoch kein Phantom aktiviert, auch wird der Wasserspiegel an dieser Stelle nicht geschnitten. Abbildung 5.2 (c) zeigt ebenfalls den Wasserspiegel, in dieser Szene werden die Laserscannerdaten jedoch als Phantome benutzt. Der Wasserspiegel wird hierbei unregelmäßig und außerhalb des Gebäudes geschnitten, da die Auflösung der ursprünglichen Laserscannerdaten nur 1 Meter beträgt.

Durch den Vergleich der Abbildungen 5.2 (a) und (b) wird deutlich, dass die Phantome der Bäume fehlen und so der Realitätsgrad der visualisierten Szene reduziert wird. In Abbildung 5.2 (a) stehen die Bäume komplett vor den Gebäudemodellen und werden somit korrekt dargestellt. In Abbildung 5.2 (b) sollte jedoch ein Teil der Bäume durch den Wasserspiegel verdeckt werden. Dies wird durch die fehlende Tiefeninformation über die Bäume verhindert.

Abbildung 5.3 (Seite 63) zeigt Bilder eines zweites Beispiels, die ebenfalls vom Dach des Gebäudes 20.40 gemacht wurden, die Blickrichtung war dabei aber in Richtung des Innenhofes. Hierbei wurden nur Laserscannerdaten als Phantome benutzt und es wird wiederum sichtbar, dass der Wasserspiegel nicht parallel entlang der Wänden des realen Gebäudes geschnitten wird. In Abbildung 5.3 (c) wird die Wasserhöhe anhand einer roten Linie dargestellt, die dem Rand des Wasserspiegels in Abbildung 5.3 (b) genau entspricht.

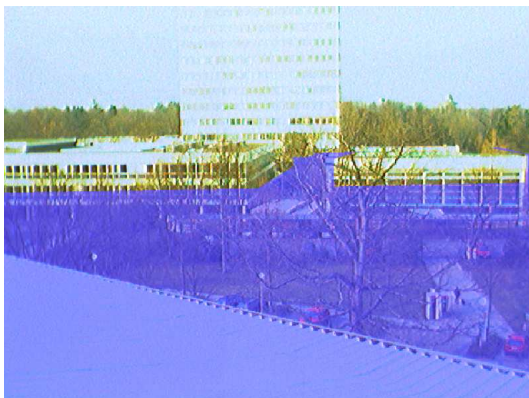
In den Abbildungen 5.4 (a), (b) und (c) (Seite 64) wird ein drittes Beispiel gezeigt, bei dem ein Gebäudemodell als Phantom verwendet wird. In den Abbildungen 5.4 (d), (e) und (f) werden Laserscannerdaten als Phantom benutzt. Diese Aufnahmen entstanden im Gegensatz zu Beispiel 1 und 2 im Abstand von nur etwa 5 - 10 Metern vom Gebäude. Damit wird deutlich, dass auch die verwendeten Gebäudemodelle die Form der realen Gebäuden nur beschränkt beschreiben können, da die Gebäudemodelle keine Vor- und Rücksprünge der Fassaden enthalten. Wenn für einige Objekte keine Phantome vorliegen, dann wird der Realitätsgrad der Szene verringert. In diesem Beispiel ist dies der Fall für Menschen, niedrigere Vegetation und Straßenmobiliar.

Auch in Beispiel 4 (Abbildung 5.5, Seite 65) sind die bereits beschriebenen Defizite zu erkennen. Hier taucht noch eine zusätzliche Fehlerquelle auf: der Schnitt des Wasserspiegels durch die vordere Schnittfläche der virtuellen Welt. Dieser Effekt kann durch die Annäherung der vorderen Schnittfläche an das Projektionszentrum vermieden werden.

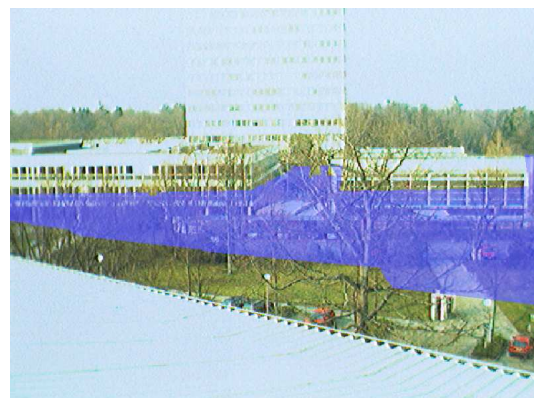
Abbildung 5.6 (Seite 66) zeigt drei Beispiele von Aufnahmen (5, 6 und 7), die im Testgebiet von Obereisesheim gemacht wurden. Hierbei stammt der gezeigte Wasserspiegel aus einer Simulation des IWKs und erscheint so in einer realistischeren Darstellung als beim Testgebiet Universität Karlsruhe. Als Phantome werden hier *first pulse*- und *last pulse*-Laserscannerdaten verwendet.



(a) Gebäudemodelle als Phantome



(b) Durch die Gebäudemodelle geschnittener Wasserspiegel



(c) Durch Laserscannerdaten geschnittener Wasserspiegel

Abbildung 5.2: Beispiel 1: Testgebiet Campus der Universität Karlsruhe. Aufnahmen vom Dach des Gebäudes 20.40

Die realen Objekte werden durch die Laserscannerdaten jedoch ungenauer beschrieben, da die Auflösung dieser Daten in diesem Testgebiet 2 Meter betrug.

Beispiel 5 (Abbildung 5.6 (a) und (b)) zeigt eine Sporthalle in der visualisierten Szene. Die *first pulse*-Daten, die die realen Objekte in dieser Szene besser beschreiben, wurden dabei aktiviert. In dieser Szene befindet sich das Wasserniveau nahe der Laserscannerdaten, an einigen Stellen mit kleinen Geländeerhöhungen liegen die Laserscannerdaten sogar höher als der Wasserspiegel.

Beispiel 6 (Abbildung 5.6 (c) und (d)) zeigt einen Baum in der Mitte der Szene, sowie weitere Bäume im Hintergrund. In diesem Beispiel wurden *first pulse*-Daten verwendet, die die Vegetation besser als *last pulse*-Daten beschreiben. In der Szene wird der Wasserspiegel nicht von der Erdoberfläche, sondern nur durch die Bäume aus den Laserscannerdaten geschnitten. Damit liegt das Wasserniveau höher als im Beispiel 5. Die vordere Schnittfläche der virtuellen Welt schneidet ebenfalls den Wasserspiegel.

Die Form des Hauses in Beispiel 7 (Abbildung 5.6 (e) und (f)) wird durch *last pulse*-Daten beschrieben. In diesem Beispiel liegen die Laserscannerdaten jedoch teilweise deutlich außerhalb der Gebäudekanten. Außerdem liegen die Laserscannerdaten schräg in der Szene. Gründe für



(a) Laserscannerdaten als Phantom und geschnittener Wasserspiegel



(b) Ergebnis ohne die Darstellung von Phantome



(c) Darstellung des Wasserniveaus mit Hilfe einer Linie

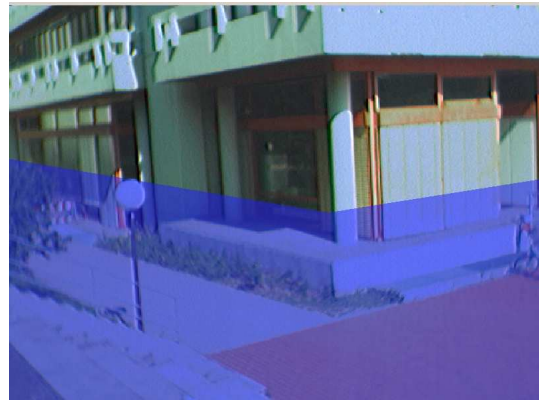
Abbildung 5.3: Beispiel 2: Testgebiet Campus der Universität Karlsruhe. Aufnahmen vom Dach des Gebäudes 20.40

diese Probleme sind die ungenaue Referenzierung. Es ist auch zu erkennen, dass die Form des Wasserspiegels in beiden Szenen unterschiedlich ist, was bei der Ausschaltung der Laserscannerdaten nicht passieren sollte. Das asynchrone Rendering der virtuellen Welten der Phantome und des Wasserspiegels verursacht dieses Problem.

In all diesen Beispielen kann beobachtet werden, dass die Visualisierung der Phantome zusammen mit den realen Objekten eine visuelle Kontrolle der korrekten Anpassung der virtuellen und realen Welten ermöglicht.



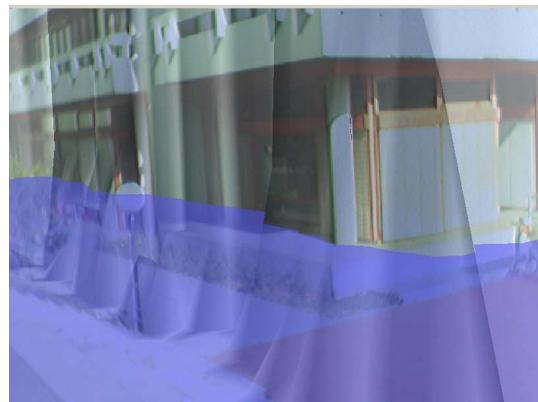
(a) Beispiel 3: Gebäudemodell als Phantom



(b) Beispiel 3: Durch das Gebäudemodell geschnittener Wasserspiegel



(c) Beispiel 3: Darstellung des Wasserniveaus mit Hilfe einer Linie - Gebäudemodell als Phantom



(d) Beispiel 3: Laserscannerdaten als Phantom und geschnittener Wasserspiegel

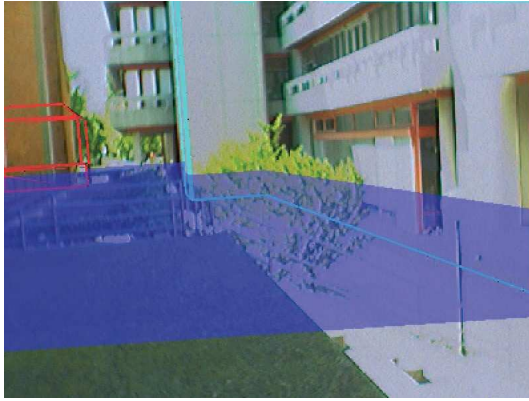


(e) Beispiel 3: Ergebnis ohne die Darstellung von Phantom

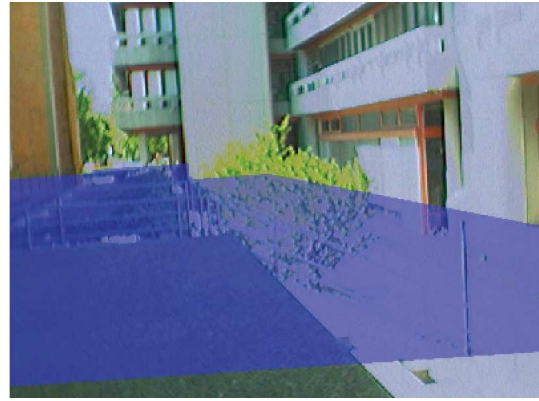


(f) Beispiel 3: Darstellung des Wasserniveaus mit Hilfe einer Linie - Laserscannerdaten als Phantom

Abbildung 5.4: Beispiel 3: Testgebiet Campus der Universität Karlsruhe. Aufnahme eines Eckes des Gebäudes 30.45



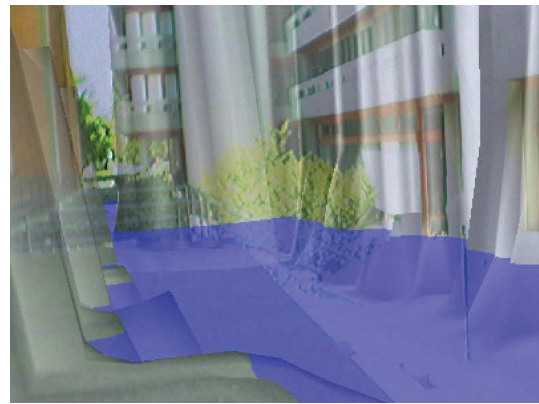
(a) Beispiel 4: Gebäudemodell als Phantom - Darstellung mit Drahtstruktur



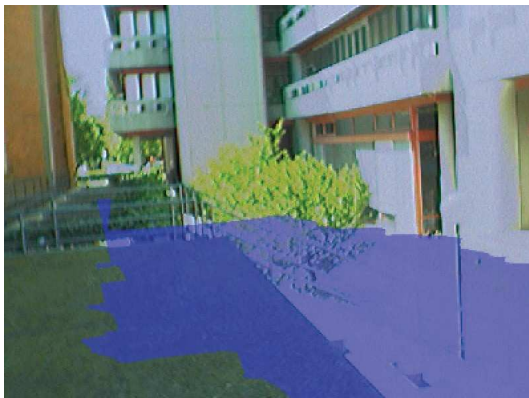
(b) Beispiel 4: Ergebnis ohne die Darstellung des Phantom



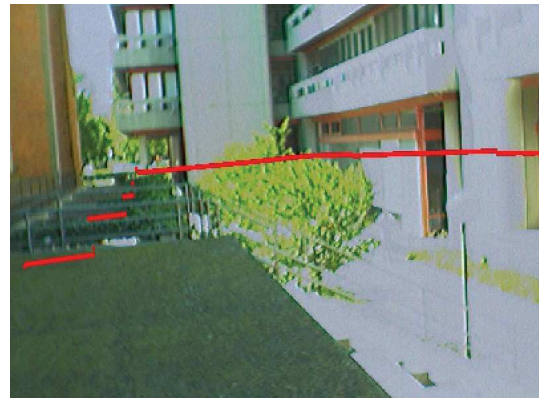
(c) Beispiel 4: Darstellung des Wasserniveaus mit Hilfe einer Linie - Gebäudemodell als Phantom



(d) Beispiel 4: Laserscannerdaten als Phantom und geschnittener Wasserspiegel



(e) Beispiel 4: Ergebnis ohne die Darstellung des Phantom



(f) Beispiel 4: Darstellung des Wasserniveaus mit Hilfe einer Linie - Laserscannerdaten als Phantom

Abbildung 5.5: Beispiel 4: Testgebiet Campus der Universität Karlsruhe. Aufnahme einer Fassade des Gebäudes 30.45



(a) Beispiel 5: Visualisierung einer Sporthalle - Laserscannerdaten als Phantom und geschnittener Wasserspiegel



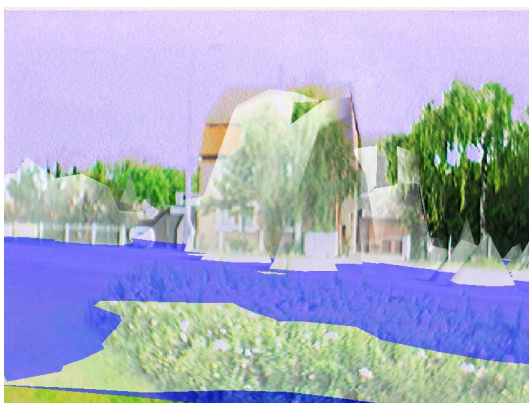
(b) Beispiel 5: Visualisierung einer Sporthalle - Ergebnis ohne die Darstellung des Phantoms



(c) Beispiel 6: Visualisierung eines Baumes inmitten eines Feldes - Laserscannerdaten als Phantom und geschnittener Wasserspiegel



(d) Beispiel 6: Visualisierung eines Baumes inmitten eines Feldes - Ergebnis ohne die Darstellung des Phantom



(e) Beispiel 7: Visualisierung eines Hauses im Dorf - Laserscannerdaten als Phantom und geschnittener Wasserspiegel



(f) Beispiel 7: Visualisierung eines Hauses im Dorf - Ergebnis ohne die Darstellung des Phantom

Abbildung 5.6: Beispiele 5, 6 und 7: Testgebiet Obereisesheim

5.3 Generierung von Berichten

Im Testgebiet der Universität Karlsruhe ist die Generierung von Berichten möglich, da sie auf einzelnen Gebäudemodellen basieren und die Informationen über die Gebäudemodelle mit der Datenbank verbunden sind (siehe Kapitel 4.9, Seite 53).

Für die Generierung eines Berichtes sind sowohl Aufnahmen, wie in den gezeigten Beispielen, als auch eingetragene Textinformationen zu diesen jeweiligen Aufnahmen erforderlich. Dies geschieht durch die Speicherung der Aufnahmen und der Textinformation in der Datenbank sowie durch die Generierung der formatierten Berichte.

Anhang A (Seite 79) zeigt ein Beispiel eines solchermaßen formatierten Berichtes. Dabei werden Bilder von verschiedenen Fassaden eines Gebäudes mit der Darstellung des Wasserspiegels in verschiedenen Höhen aufgenommen. Die Textinformation enthält einige strukturierte Informationen, beispielsweise: Ansicht, Wasserhöhe über N.N., Art der Darstellung des Wasserspiegels und der Gebäudemodelle sowie eine kurze Anmerkung über das Gefahrenpotential.

Kapitel 6

Bewertung des neuen Systems: Diskussion

In diesem Kapitel werden die mit dem entwickelten System erzielten Ergebnisse diskutiert. Grundlage der Bewertung ist dabei einerseits die Erfüllung der Grundforderungen an die Anwendung eines ER-Systems als auch die Qualität der Visualisierung des Wasserspiegels.

6.1 Portabilität

Der Prototyp (Abbildung 4.3, Seite 34) konnte ohne Schwierigkeit in den Testgebieten bewegt werden - dies trifft jedoch nicht auf den dabei benutzten Laptop zu. In dieser Hinsicht können *wearable computers* und Palm-Geräte das System portabler gestalten. Dabei kann auch die visualisierte Szene auf einem verkleinerten Bildschirm dargestellt werden. Die Kontrolle der Programmeigenschaften über die graphische Oberfläche konnte in einem solchen Fall nur im Wechsel mit dem Visualisierungsfenster erfolgen. Durch die Anwendung von HMDs kann dieser Umstand vermieden werden: Die Szene wird mittels HMD visualisiert, die Kontrolle erfolgt durch das Palm-Gerät. Für die Generierung von Berichten musste das mit HMD unterstützte System eine aufgebaute Videokamera haben, die die Bilder der realen Welt aufnehmen bzw. speichern kann. So entsteht ein System, das sowohl optisch als auch videobasiert ist.

Das System konnte in einigen Fällen mit dem Laptopbildschirm keine gute Sichtbarkeit der Szene anbieten. Wenn Sonnenstrahlen direkt auf den Bildschirm fallen, war die Sichtbarkeit manchmal sogar so stark herabgesetzt, dass die Szene nicht mehr zu erkennen war. Mit einem gewöhnlichen Laptopbildschirm als angenommene Lösung für die Visualisierung ist mit diesem Problem nicht umzugehen. Hierbei könnten HMDs ebenfalls eine Lösung darstellen, da die Projektion der virtuellen Objekte direkt in das menschliche Auge mit HMDs intensiver gemacht werden kann. Das gilt jedoch nicht für jedes HMD: [FEINER et al. 1997] berichtet über Schwierigkeiten bei der Visualisierung mit einigen HMDs, die nicht intensiv genug in das Auge strahlen können.

Die Portabilität des aufgebauten Systems wurde auch durch die Nutzung von GPS in manchen Fällen eingeschränkt. In der Nähe von Gebäuden oder unter Bäumen geht das Satellitensignal häufig verloren. Das Problem verschärft sich mit steigender Anzahl und Höhe der Bäume und der Gebäude, wie es häufig in städtischen Gebieten der Fall ist. Dieses Problem hat bei der Nutzung des Systems Schwierigkeiten bereitet, wenn die Kamera bei der Aufnahme nur wenige Meter (3m - 8m) von Gebäude entfernt war, oder wenn die Gebäude von dichten und hohen Bäumen umgeben waren. In dieser Situation ging das Satellitensignal entweder ganz verloren

oder verschlechterte sich so, dass die Referenzierung des Systems unbrauchbar wurde. Das Problem des Verlustes des Satellitensignals könnte durch die Kombination der sich ergänzenden Eigenschaften von IMU und GPS gelöst werden, wie in Kapitel 3.2.1 diskutiert wurde.

Anwendung des Systems im Testgebiet Obereisesheim

Der Einsatz des Systems im Testgebiet Obereisesheim stellte eine neue Herausforderung dar, da im Vorfeld keinerlei Messungen oder sonstige Vorbereitungen bezüglich dieses Ortes erfolgt waren. Die Gebietserkennung, der Aufbau der GPS-Referenzstation und die Bestimmung der Parameter für die Transformationen zwischen den Koordinatensystemen waren dabei, wie im Testgebiet Campus Universität Karlsruhe, die ersten Schritte zur Aufnahmebereitschaft des Systems. Diese Situation entspricht dem normalen Einsatz des Systems in der Praxis, da die gesamte Gebietserkennung und Vorbereitung des Systems in kurzer Zeit geschehen muss, bevor das System überhaupt benutzt werden kann. Die Vorbereitungszeit bis zur Aufnahmebereitschaft in diesem Testgebiet betrug dabei 7 Stunden.

6.2 Realitätsgrad in der visualisierten Szene

Der Realitätsgrad, der mit den Eigenschaften (Auflösung, Bildrate und Farbtiefe) der verwendeten Videokamera erreicht werden kann, ist für das Ziel des entwickelten Systems ausreichend: Die realen und virtuellen Objekte auf den generierten Aufnahmen können dabei gut visualisiert werden. Während der Visualisierung ist die Auflösung der Szene natürlich durch die Auflösung der Kamera eingeschränkt, was die Menge an Informationen aus der realen Welt reduziert. Sie ist aber für die Aufnahmen, die auf den Berichten dargestellt werden, ausreichend. Die Nutzung eines optischen Systems würde bei der Visualisierung nicht zu Informationsverlusten führen, für die Dokumentation werden jedoch ER-Systeme immer durch die Auflösung der Videokamera begrenzt sein.

Die grundsätzlichen Faktoren, die zu keinen guten Realitätsgrad beigetragen haben, waren die Referenzierung des Systems und die beschränkte Weise, wie die verfügbaren Phantome die reale Objekte beschreiben. Diese Faktoren sind beim Verlust an Realitätsgrad wesentlicher als die beschränkte Auflösung der Videokamera.

Idealerweise muss die Helligkeit der realen und virtuellen Bilder so weit einander angenähert werden, dass die gleiche Sichtbarkeit gewährleistet ist. Das hier aufgebaute System bietet zwar die Kontrolle über die Position der Lichtquelle in der virtuellen Welt, aber nicht über die Intensität des Lichtes. Für die in dieser Arbeit dargestellten Aufnahmen wurde die Position der Lichtquelle in der virtuellen Welt manuell eingerichtet, so dass die Ergebnisszene realistischer wirkt.

Fähigkeit zur Szenenkomposition in Echtzeit

Das hier aufgebaute System leistet eine Updaterate von ungefähr 10Hz ohne bzw. 1Hz mit Verdeckungsverarbeitung. Diese Frequenz lässt sich auf der graphischen Schnittstelle in Abbildung 4.22 (Seite 55) überwachen.

Die Definition von *bewegten Bildern* in [WIKIPEDIA 2004]¹ spezifiziert für eine ruckelfreie Illusion von Bewegung aus mehreren statischen Bildern eine Frequenz von 12 Bildern pro Sekunde oder mehr. Nach [NETTELBECK 2003] liegt die Frequenz, bei der ein Mensch eine kontinuierliche Bewegung wahrnimmt, bei etwa 20Hz – 30Hz. Trotz der unterschiedlichen Werte bei beiden Autoren liegt der mit dem entwickelten System erreichte Wert niedriger, besonders beim Einsatz von Verdeckungsverarbeitung.

In diesem Sinne würde, streng genommen, die Updaterate der GPS Positionsbestimmung (1 – 10Hz) ebenfalls die Frequenz der Szenekomposition beschränken, wenn der Nutzer des Systems in Bewegung ist.

Die wichtige Eigenschaft der Visualisierung in *Echtzeit*, die mit ER-Systemen verbunden ist, ist in den Berichten natürlich verloren. Trotzdem spielt diese Eigenschaft bei der Generierung der Aufnahme eine entscheidende Rolle: Der Wasserspiegel ist dadurch in der Szene immer korrekt positioniert und der Nutzer des Systems kann so die Szenen immer realistisch analysieren. Die generierten Bildern können so schnell und realistisch generiert werden, wie es bei der Anwendung keiner anderen Technik möglich wäre.

6.2.1 Qualität der Referenzierung

Die Genauigkeit der Positionierung der virtuellen Objekte in der realen Welt wurde in dieser Arbeit nicht untersucht. Obwohl diese Genauigkeit beim Realitätsgrad eine wichtige Rolle spielt, wurde sie in dieser Arbeit nur qualitativ ausgewertet. Eine quantitative Bewertung der Genauigkeit verlangt eine ausführlichere Untersuchung, die nicht im Zielbereich dieser Arbeit liegt.

Die Referenzierung mit GPS und IMU hat sich als ein geeignetes Verfahren erwiesen, obwohl es durch den Einsatz von zusätzlichen Techniken, wie z.B. Bildzuordnungsverfahren, verfeinert werden könnte. Die eingesetzten Phantome und der Wasserspiegel sind relativ große Objekte, so dass die erreichte Qualität bei der Referenzierung zu keiner Einschränkung in der Anwendung führt. Die Anwendung digitaler Bildzuordnungsverfahren² kann die Referenzierung des Systems verbessern. Durch die GPS- und IMU-Messungen ist die Referenzierung gewissermaßen genähert und durch die Bildzuordnungsverfahren wird sie verfeinert.

Erweiternde Objekte haben keine entsprechenden Objekte in der realen Welt, wie bei Phantomen der Fall ist. Die Referenzierung kann deshalb in der visualisierten Szene nicht kontrolliert werden, wenn nur erweiternde Objekte sichtbar gemacht werden. Für die Phantome existieren aber entsprechende Objekte in der realen Welt. Durch die Visualisierung von Phantomen in der Szene kann also kontrolliert werden, ob sich die virtuellen Objekte in der Szene an der richtigen Stelle befinden. Die virtuellen Modelle der Gebäude können beim entwickelten System bei der Kontrolle der Referenzierung behilflich sein, wenn sie zusammen mit dem Wasserspiegel in der Szene sichtbar gemacht werden. Laserscannerdaten können ebenfalls dafür benutzt werden, aber die Form der Gebäudemodelle nähert sich mehr an die Form der realen Objekte an als die Laserscannerdaten. Daher sind sie geeigneter.

¹Mit bewegten Bildern bezeichnet man Bilder, die sich zeitlich verändern und so Abläufe der realen Welt darstellen können. Technisch wird die Illusion bewegter Bilder durch dichte Abfolge von statischen Bildern (Momentaufnahmen) erzeugt. Beim Menschen entsteht eine ruckelfreie Illusion schon ab ungefähr 12 Bildern pro Sekunde, falls die dargestellten Objekte langsam bewegt sind. Ab 16 Bildern pro Sekunde ist auch für schnellere Bewegungen eine ruckelfreie Illusion möglich.

²Digitale Bildzuordnung ist die rechnerische Zuordnung digitaler Bilder. Quelle: <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/woerterbuch.asp>

6.2.2 Analyse der Verdeckung

Bereits bei den ersten Aufnahmen mit dem System verursachte das Fehlen von Phantome dynamischer Objekte wie Vegetation, Automobile und Menschen eine Minderung des Realitätsgrades bei der Visualisierung. Ein hoher Grad an realitätsnaher Visualisierung bedeutet folglich, dass auch für diese Objekte Phantome zur Verfügung stehen müssen, die möglichst exakte Information über ihre Position und Form enthalten.

Dieses Problem soll beispielhaft an Bäumen erläutert werden. Während des Winters verlieren Bäume in manchen Ländern einen großen Teil ihrer Blätter, im Sommer sind sie wieder völlig belaubt. Dynamische Objekte wie Bäume verlangen daher eine periodische Modellierung. Für Gebiete, in denen die Vegetation jahreszeitenbedingt starken Veränderung unterworfen ist, können mehrere Modellsätze für die entsprechend unterschiedlichen Perioden entwickelt und gespeichert werden. Unter diesen Modellen werden dann die spezifisch gültigen Phantome ausgewählt.

Wasser am Rand der Gebäude

Laserscannerdaten liefern keine glatten Oberflächen für die Wände der Gebäude, sondern unebene Flächen. Grund dafür ist die Erfassung von Daten in einem Raster von 1 Meter Auflösung. Die durch terrestrische Photogrammetrie gewonnenen Gebäudemodelle sind somit zur Nutzung als Phantome besser geeignet, da sie die Wände als vertikale Ebenen modellieren und der Wasserspiegel realitätsnaher geschnitten wird.

Die Gebäudemodelle besitzen einen ausreichenden Detaillierungsgrad, um bei größeren Entfernungen (> 20 Meter) zwischen Kamera und Gebäude einen realistischen Eindruck zu erzeugen (siehe beispielsweise Abbildung 5.2, Seite 62). Bei Aufnahmen mit kleineren Entfernungen konnten jedoch Unterschiede zwischen dem realen Gebäude und dem virtuellen Modell erkannt werden. Beispiele dazu zeigen die Abbildungen 5.2 (a) und 5.4 (a) (Seiten 62 und 64).

6.3 Bezeichnung von Hochwasserschäden und Aufbereitung der Dokumentation

Die Nutzung von Zeigergeräten ist für die Auswahl eines Gebäudes auf dem Bildschirm zwar praktikabel, eine Automatisierung ist jedoch möglich und stellt eine Vereinfachung im Prozessablauf dar: Das von [FEINER et al. 1997] entwickelte System wählt automatisch das Gebäude aus, das sich momentan direkt vor der Kamera befindet. Dies ist bei der Nutzung von HMDs eine ebenfalls denkbare Lösung, da hierbei Bildschirm und Zeigergeräte ohnehin entfallen.

Die Erkennung von Hochwassergefahren hängt vom Realitätsgrad der visualisierten Szene und von der Menge an Informationen ab, die dargestellt werden. Je realistischer die Darstellung nicht nur des Wasserspiegels, sondern auch der sehr dynamischen Strömung des Wassers ist, desto besser sind die Bedingungen für eine sinnvolle Aufnahme bei der Identifizierung von Hochwassergefahren. Eine horizontale Ebene als Wasserspiegel ist nur eine sehr grobe und entfernt realistische Darstellung. Der bei IWK simulierte Wasserspiegel entspricht in gewissem Sinne einer realen Situation, aber die statische Darstellung unterscheidet sich noch erheblich von der Realität: Der Wasserspiegel ist bei einem realen Überschwemmungsszenario potenziell dynamisch und die Gefahrenanalyse hängt stark von eben dieser Dynamik ab.

Kapitel 7

Schlussbetrachtung und Ausblick

7.1 Beitrag der Arbeit

Das in dieser Arbeit entwickelte System demonstriert eine neue Möglichkeit zur Visualisierung von Hochwasserereignissen als ein komplementäres Werkzeug im Bereich des Hochwassermanagements. Die realistische Darstellungsebene sowie die dazugehörige Dokumentation kann die Ermittlung von relevanten Informationen bei der Gefährdungsanalyse wesentlich vereinfachen und erweitern.

Durch die dabei generierten Dokumentationen werden gebäudeorientierte Informationsquellen zur Verfügung gestellt. Die in Kapitel 4.9 behandelte automatische Generierung von Berichten kann somit dazu beitragen, potentielle Gefahrenquellen im Gebäude zu identifizieren. Die ebenfalls erzeugten Bilder lassen im Gegensatz zu anderen Visualisierungstechniken realistische Szenen erkennen, die eine visuelle Identifikation im Bewußtsein der Gefahrenlage vermitteln können.

Die Anwendung des ERS kann jedoch nicht isoliert von herkömmlichen Visualisierungstechniken des Hochwassermanagements betrachtet werden, da sie durch das vorgestellte System nicht ersetzt, sondern ergänzt werden sollen. Analoges Kartenmaterial, Luft- und Satellitenbilder sowie Geo-Informationssysteme bleiben bei der Ermittlung, Organisation und Visualisierung von Informationen nach wie vor unverzichtbar.

Zwar kann die Qualität der realistischen Darstellung durch das vorgestellte System teilweise als noch unzureichend betrachtet werden, durch Verbesserungen im Bereich der Referenzierung, des Detaillierungsgrades der Phantome, der Verdeckung sowie bei der Geschwindigkeit der Szenenkompositionen sind entscheidende Fortschritte bereits absehbar, ebenso wie in der exakten Darstellung des Wasserspiegels im Toleranzbereich von wenigen Zentimetern. Da nicht nur die Höhe des Wasserspiegels, sondern auch die Dynamik der Flutbewegung entscheidenden Anteil an der Bewertung von Gefahrensituationen besitzt, kann die Weiterentwicklung von ER-Systemen gerade in diesem Bereich als ein vordringliches Ziel formuliert werden.

Es wird angenommen, dass im praktischen Anwendungsszenario die Nutzung von ERS zwar durch autorisierte Stellen erfolgen wird, die mit dem System generierten Informationen in Form von Berichten jedoch allen interessierten Beteiligten und Betroffenen zur Verfügung gestellt werden können. Dies hat den Vorteil, dass der Informationsfluss spezifisch den Interessenslagen angepasst werden kann. So können beispielsweise bei Bedarf rein gebäudebezogene Daten abgerufen werden.

7.2 Ausblick

Bereits jetzt ist abzusehen, dass mit der schnellen Weiterentwicklung der ER-Technik einerseits und einer steigenden Anzahl von katastrophalen Hochwasserereignissen andererseits in bereits wenigen Jahren der Bedarf an modernen und routinemäßigen Möglichkeiten der Risikoschätzung ansteigen wird.

Zwei zentrale Punkte spielen bei der Verbesserung von ER-Systemen und bei den daraus resultierenden Neuentwicklungen eine entscheidende Rolle: die Entwicklung neuer Methoden zur Modellierung der dynamischen Objekte der realen Welt sowie die Verbesserung der Sensoren bzw. der Referenzierungsverfahren.

Mögliche Weiterentwicklungen des hier vorgestellten ER-Systems sind:

- **Beschaffung von Phantomen dynamischer Objekte:** Bei dem Problem der Bäume hat [VOSSELMAN 2003] eine Alternative für das Modellieren in städtischen Gebieten mit Informationen aus flugzeuggetragenen Laserscannern präsentiert. Ziel dieser zitierten Arbeit ist die Komplementierung von städtischen virtuellen Welten mit Straßen und Bäumen. Die erzeugten Modelle der Bäume können auch als Phantome in ER-Systemen dienen. Mit den Laserscannerdaten im Rasterformat mit Pixeln von 2 Metern Auflösung am Boden gelang es, bei einer Trefferquote von 97%, auch kleinere Bäume zu lokalisieren. Für größere Bäume, die in den Laserscannerdaten durch eine größere Menge von Punkten (einigen hundert) abgebildet werden, war die Bestimmung sowohl der Position als auch ihrer Form möglich. Für kleinere Bäume (mit 10 oder weniger Punkten) konnte jedoch kein anwendbares Resultat erzielt werden. Als Lösung wurde dann ein festgelegtes Modell für das Format *aller* Bäume benutzt und die Größe dieser Modelle in Abhängigkeit der maximalen Höhe angepasst. Die aus dieser Verarbeitung resultierenden Modelle können bei ER-Systemen mit dem Vorteil der relativ schnellen und einfachen Verfügbarkeit verwendet werden. Jedoch kann nur dann ein brauchbares Resultat erzielt werden, wenn die Bäume jeweils eine ähnliche Form besitzen. Dies ist in vielen Fällen eine ausreichende Lösung.

Detailliertere Gebäudemodelle können bei der Visualisierung in geringeren Entfernungen den Grad an realistischer Darstellung verbessern. Bei neu gebauten Gebäude werden heutzutage normalerweise digitale Modelle bereits in der Projektphase erzeugt. Diese Modelle können direkt in einem ER-System verwendet werden. Wenn diese Modelle nicht existieren, stellen die Nahbereichsphotogrammetrie und terrestrisches Laserscanning die besten Lösungen zur Erzeugung neuer Modelle. Die Modelle könnten in verschiedenen Layern mit unterschiedlichen Detailabstufungen organisiert werden, die in Abhängigkeit von der Entfernung geladen werden.

Andere Objekte wie Menschen oder Automobile, deren Form oder Position schwer zu modellieren sind, können beispielsweise durch Bewegungsanalyse, Wahrscheinlichkeitsmodelle zur Form und Position, Stereoanalyse oder photogrammetrische Verfahren realisiert werden, wie in Kapiten 3.3 diskutiert wurde.

- **Erhöhung des Realitätsgrades des Wasserspiegels:** Das besprochene System könnte in der Form weiterentwickelt und so verbessert werden, dass eine Darstellung auch dynamischer Wasserspiegel möglich wird. Dies bedeutet eine Änderung der Form des Wasserspiegels abhängig vom Zeitverlauf. Eine Voraussetzung dafür wäre dann eine viel komplexere Beschreibung dieser Objekte.

In diesem Sinne wäre auch die Darstellung dreidimensionaler Geschwindigkeitsvektoren eine denkbare Variante. So könnte nicht nur das Wasserniveau in der visualisierten Szene dargestellt werden, sondern auch dreidimensionale visualisierte Vektoren könnten über die Geschwindigkeit des Wassers an jeder Stelle informieren.

- **Anwendung von Bildzuordnungsverfahren:** Eine Möglichkeit dafür wäre, beispielsweise, Fenster und Türen realer Gebäude auf phototexturierten virtuellen Modellen durch merkmalsbasierte Bildzuordnung¹ zu referenzieren. Bildkoordinaten werden automatisch als Ergebnis der Bildzuordnung abgeleitet und mit diesen Koordinaten lassen sich die bereits mit GPS+INS genäherten äußeren Parameter durch räumlichen Rückwertsschnitt verbessern.
- **Steigerung der Geschwindigkeit bei der Szenenkomposition:** Eine Verbesserung des Systems schließt die Fähigkeit der Szenenkomposition in Echtzeit ein, damit die Analyse von Probleme im Freien besser durchgeführt werden kann.

Die Geschwindigkeit der Szenenkomposition kann voraussichtlich durch eine Optimierung des Ladeprozesses von virtuellen Objekten in die virtuelle Welt erhöht werden. Eine Möglichkeit dabei ist, beim Einlesen der Laserscannerdaten die vor der Videokamera liegenden Kacheln zu berücksichtigen. Die dahinter liegenden Kacheln würden dabei in der virtuellen Welt nicht geladen und die notwendige Rechenleistung würde damit verringert werden. Das gleiche Verfahren lässt sich ebenfalls auf den Wasserspiegel und die Gebäudemodelle anwenden. Das automatische Laden von Gebäudemodellen mit Bezug zur jeweiligen Blickrichtung wurde bereits von [FEINER et al. 1997] demonstriert.

Die Anwendung eines optischen Systems könnte auch die Frequenz erhöhen: Bei videobasierten Systemen gibt es zwei Bildeingänge, sowohl aus der realen Welt als auch aus der virtuellen Szene. Bei einem optischen System dagegen gibt es nur einen Bildeingang aus der virtuellen Szene, womit die Gesamtleistung gesteigert werden kann. Das System kann optisch- und videobasiert aufgebaut werden. Die Videoaufnahme wird dann nur eingeschaltet, wenn eine Aufnahme gemacht werden muss.

- **Einsatz von HMD:** Der Einsatz von HMDs statt Laptopbildschirmen stellt einen unvermeidbaren nächsten Schritt für die Verbesserung des Systems dar. HMD-gestützte Systeme sind im Vergleich zu monitorbasierten Systemen tragbarer und so für *outdoor* Anwendungen geeigneter. Die Eigenschaften eines videobasierten Systems müssen aber im System integriert sein, damit Bilder und Berichte immer noch erzeugt werden können.
- **Indoor-Nutzung:** Im Kontext von Hochwassermanagement kann die Identifikation von Gefahren auch innerhalb von Gebäuden von Bedeutung sein. Das System kann dafür auch für die *indoor*-Nutzung ausgebaut werden. In diesem Fall werden Bildanalyseverfahren zur Referenzierung eingesetzt, da die Anwendung von GPS ausfällt.
- **Assoziierte Nutzung von IMU und GPS zur Positionsbestimmung:** Die Möglichkeit, die das IMU zur Positionbestimmung bietet, kann eine Lösung in Situationen sein, in denen das GPS keine Koordinaten liefern kann, wie in Kapitel 3.2.1 erläutert wurde.

¹Merkmalsbasierte Bildzuordnung ist die digitale Bildzuordnung mittels korrespondierender, aus den Bildern extrahierter, ausgeprägter Merkmale. Quelle: <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/woerterbuch.asp>

- **Automatische Anpassung der Helligkeit in der virtuellen Welt:** Eine automatische Einrichtung wäre über die Berücksichtigung der Position der Sonne am Himmel möglich. Die Intensität des Lichtes könnte durch die Anwendung von Objektiv mit Blende oder durch Bildverarbeitungsverfahren ausgeglichen werden.
- **Automatisierung einiger Funktionen zur Gefährdungsanalyse:** Das System kann die Eigenschaften einer virtuellen 3D-Umgebung in dem Sinne ausnutzen, dass die 3D-Information der Objekte und ihre geometrische Beziehung zueinander automatisch analysiert werden kann. Eine Möglichkeit stellt beispielsweise die Automation der Gefährdungsanalyse anhand der Gebäudegeometrien dar, wobei die Volumina der überschwemmten Teile des Gebäudes automatisch berechnet und angezeigt werden.
- **Fernkontrolle beim Einsatz des Systems im Freien:** Eine andere Erweiterung des Systems beim Hochwasserschutz ist die Realisierung eines Moduls, bei dem die mit dem System generierte Hochwasserszene gleichzeitig auf einen Rechner, z.B. in einem Büro, übertragen wird. So ist es möglich, dass mehrere Personen Gefahren identifizieren oder über weitere Maßnahmen entscheiden können. Eine andere Möglichkeit ist, nur die Messungen der Sensoren zu übertragen und nicht der generierten Szene, wobei die Visualisierung im Büro mit VR durchgeführt wird. Ein Beispiel dafür wurde bereits von [FEINER et al. 1997] implementiert.

7.3 Anwendung des Systems in anderen Bereichen

Im Zuge der Entwicklung des Systems zur Visualisierung eines Wasserspiegels werden Laserscannerdaten sowie Gebäudemodelle verwendet. Diese werden sowohl im Bereich der Verdeckungsverfahren als auch bei der visuellen Kontrolle der Referenzierung benötigt. Diese Objekte können jedoch, wie auch der Wasserspiegel, direkt als sichtbare Objekte visualisiert werden, was die Anwendungsmöglichkeiten des System erweitert.

Das System kann beispielsweise bei folgenden Aufgaben benutzt werden:

- Bei der Verifizierung der Qualität von Daten kann das System auch helfen: Durch die Visualisierung von Laserscannerdaten oder Gebäudemodellen in der realen Welt kann die Qualität dieser Daten kontrolliert werden.
- Da die Gebäudemodelle mit einer Datenbank verknüpft sind, in der unter anderem Bilder und Textinformationen gespeichert werden, wird die Überprüfung und Anpassung von Katasterplänen wesentlich erleichtert: Größe, Form und Position der realen Gebäude werden anhand von Gebäudemodellen kontrolliert, die von den zuständigen Verwaltungen zur Verfügung gestellt werden.
- Ein mögliches zukünftiges Szenario bei hydraulischen Baumaßnahmen kann ebenfalls mit diesem System visualisiert werden. Bei der Planung von beispielsweise Stauseen können virtuelle Mauern und Wasserspiegel in das System geladen werden und in der realen Welt visualisiert werden.

7.4 Anwendung des Systems in Brasilien

Hochwasserereignisse aufgrund menschlicher Fehleinschätzung wie der Besiedlung von Überschwemmungsgebieten, Begradigung von Flüssen und Damnbrüchen, aber auch extreme klimatische Störungen verursachen in Brasilien schwere Schäden.

Die Bevölkerung kennt bereits die Schäden, die mit Hochwasserereignissen verbunden sind. Die Regierung und die Stadtverwaltungen tragen Sorge dafür. Hochwasserprognosen werden mit Hilfe von Niederschlagsmessungen ermittelt [FRANK 1995]. Schutzmaßnahmen werden in Broschüren und im Internet bekannt gegeben². Gefahrenanalysen mit Hilfe von Hochwassersimulationen und Visualisierungstechniken sind jedoch nicht häufig zu finden.

Wie in dieser Arbeit festgestellt wurde, kann die Anwendung von ER bei der Gefahrenanalyse helfen. Das kann auf alle Länder als eine Ergänzung beim lokalen Hochwassermanagement übertragen werden, die Probleme mit Hochwasser haben, obwohl die Hochwasserszenarien sehr unterschiedlich sein können. Geographische Position, Form und Größe des Einzugsgebiets und der Flüsse, Temperatur, Niederschlagsintensität und -häufigkeit sind Beispiele von geographischen Faktoren, die das Szenario sehr unterschiedlich gestalten können.

Die Anwendung von ER-Systemen im brasilianischen Kontext schließt weitere Schwierigkeiten ein, als die, die bei der Durchführung dieser Arbeit in Deutschland aufgetaucht sind: Hochwasserszenarien werden in Brasilien durch weitere Faktoren verschärft. In Ballungsräumen wird der Boden stark versiegelt, ohne dass entsprechende Entwässerungssysteme bereitgestellt werden. Müll und erodierte Erde verstopfen die unterdimensionierten Entwässerungssysteme.

Der Aufbau eines ER-Systems für die Visualisierung von Hochwasserereignissen verlangt verschiedene Daten. Bei Hochwassersimulationen gelten unter anderem dreidimensionale Modelle der Erdoberfläche und Informationen über die Bodendeckung als sehr wichtige Daten. Gebäudemodelle liegen als zentrale Daten in der gebäudebasierten Datenbank vor. Eine Schwierigkeit stellt in Brasilien jedoch die Verfügbarkeit solcher Daten dar. Nach [LOCH 2001] ist der große Anteil der brasilianischen kartographischen Produkte (z.B. Karten) von schlechter Qualität, sowohl geometrisch als auch inhaltlich. Außerdem werden sie in der Regel nicht aktualisiert und sind als Grundlage für aktuelle Projekte oder Bauten nicht geeignet, wie beispielsweise Straßen, Wasser- oder Stromleitungen. Die Anwendung dieser Daten als Grundlage für Kataster ist kaum praktikabel.

Daten aus flugzeuggetragenem Laserscanner, die für digitale Geländemodelle geeignet sind, werden bereits von einigen brasilianischen Firmen verkauft. Diese Daten sind aber relativ teuer. Satelliten- und auch Luftbilder können bei der Analyse der Bodendeckung verwendet werden. Diese Daten können zwar relativ einfach gewonnen werden, die Klassifizierung der Information wird jedoch hauptsächlich durch zwei Faktoren erschwert:

- Die Vegetation ist durch ein größeres Vorkommen von Spezies und einen dichteren Bewuchs charakterisiert;
- Städtische Gebiete werden häufig dicht und ungeordnet bebaut.

Ein anderes Problem besteht in der Aktualisierung der Daten für die Simulationen. Hierbei spielen zwei Faktoren eine Rolle: Informationen über die Erdoberfläche sind relativ schwer zu finden und die Veränderungen in den Szenarien geschehen schneller als in Deutschland. Die Städte

²Siehe beispielsweise in <http://www.blumenau.sc.gov.br/defesa/enchantes.htm>

wachsen schneller, große Flächen werden abgeholzt. [LOCH 2002] betrachtet in seiner Arbeit das schnelle Wachstum der Städte in Brasilien: 2000 betrug die durchschnittliche Bevölkerungszunahme in Städten mit 100.000 bis 500.000 Einwohner 4,8% im Jahr, was normalerweise mit sozio-ökonomischen und ökologischen Problemen verbunden ist.

Zum Aufbau eines ER-Systems ist es nötig, dass Daten für die Phantome zur Verfügung stehen. Dafür sollten am besten Gebäudemodelle benutzt werden, da diese besser als Laserscannerdaten die Gebäude beschreiben und die Generierung von Dokumentationen bei dem hier entwickelten ER-System auf einzelnen Gebäudemodellen basiert. Die bereits zitierten Gründe für die Schwierigkeiten bei der Gewinnung von (aktualisierten) Daten gelten auch für diese Daten.

Weitere Faktoren, die bei dem Einsatz der ER-Technik beim Hochwassermanagement in Brasilien beachtet werden müssen, sind:

- Potenzielle Behörden, Stadtverwaltungen oder Institutionen, die das System entwickeln oder benutzen wollen, brauchen spezialisierte Personen in ihrem Team. Kenntnisse in Informatik, Photogrammetrie und Geodäsie werden besonders gefordert. Außerdem gibt es nur wenig Literatur über diese Technik auf Portugiesisch, was eine Kenntnis von Fremdsprachen erforderlich macht.
- Einige Gebiete, wie beispielsweise Regenwälder, sind schwer zugänglich und modellierbar. Die Anwendung eines ER-Systems beispielsweise für die Untersuchung eines Gebietes in Amazonien, wo Bodenschätze abgebaut werden sollen, wird dadurch erschwert.

Anhang A

Bericht Beispiel: Testgebiet Campus Universität Karlsruhe

Augmented Reality System für Hochwasservisualisierung - BERICHT

Gebäude: 3045

Engesserstr. 15 - 76131 Karlsruhe



167

Aufnahme: Mo, 07.06.2004 - 02:34:25 PM

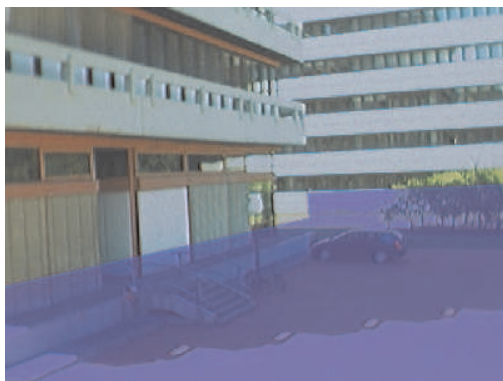
- => Ansicht: Ostfassade / Südfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 116m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Geschnittene horizontale Fläche
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Drahtmodell
- => Anmerkung: Das Wasser tritt bereits in das Erdgeschoß ein.



180

Aufnahme: Mo, 07.06.2004 - 03:09:25 PM

- => Ansicht: Südfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 116m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Geschnittene horizontale Fläche
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Flächenmodell
- => Anmerkung: Siehe Bild Nr. 167



163

Aufnahme: Mo, 07.06.2004 - 02:30:26 PM

- => Ansicht: Ostfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 116,5m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Geschnittene horizontale Fläche
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Nicht dargestellt
- => Anmerkung: Fussboden des Erdgeschoßes bereits überflutet.



182

Aufnahme: Mo, 09.08.2004 - 03:52:49 PM

- => Ansicht: Ostfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 118m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Geschnittene horizontale Fläche
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Drahtmodell
- => Anmerkung: Wasser bis zu den Oberlichtfenster.



175

Aufnahme: Mo, 07.06.2004 - 03:07:12 PM

- => Ansicht: Südfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 118m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Linie
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Nicht dargestellt
- => Anmerkung: Siehe Bild Nr. 182



161

Aufnahme: Mo, 07.06.2004 - 02:27:13 PM

- => Ansicht: Ostfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 118,5m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Linie
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Nicht dargestellt
- => Anmerkung: Erdgeschoß völlig überflutet.



184

Aufnahme: Mo, 09.08.2004 - 04:00:40 PM

- => Ansicht: Ostfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 119m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Linie
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Nicht dargestellt
- => Anmerkung: Wasseranstieg bis zum Fussboden des ersten Geschößes.



188

Aufnahme: Mo, 09.08.2004 - 04:06:25 PM

- => Ansicht: Nordfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 119,5m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Geschnittene horizontale Fläche
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Drahtmodell
- => Anmerkung: Detail des überfluteten Lichtschachtes.



189

Aufnahme: Mo, 09.08.2004 - 04:12:14 PM

- => Ansicht: Nordfassade
- => Wasserhöhe (über N.N.): 124m
- => Darstellung der Wasserspiegel: Linie
- => Darstellung des Gebäudemodelles: Nicht dargestellt
- => Anmerkung: Das Wasserniveau könnte in dieser Höhe einer neue Gefährdungsstufe auslösen.

Literaturverzeichnis

- [ASCENSION TECHNOLOGY CORPORATION 1995] ASCENSION TECHNOLOGY CORPORATION (1995). *The Flock of Birds Installation and Operation Guide*. Burlington, VT.
- [ASENDORPF und KAMLAGE 2004] ASENDORPF, DIRK und C. KAMLAGE (2004). *Hochwasserschutz in Nord und Süd*. E+Z Entwicklung und Zusammenarbeit, S. 42–43. InWEnt - Internationale Weiterbildung und Entwicklung GmbH, Bonn.
- [AZUMA 1997] AZUMA, RONALD (1997). *A Survey of Augmented Reality*. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Bd. 6, S. 355 – 385.
- [AZUMA et al. 2001] AZUMA, RONALD, Y. BAILLOT, R. BEHRINGER, S. FEINER, S. JULIER und B. MACINTYRE (2001). *Recent Advances in Augmented Reality*. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, Bd. 25 (6), S. 24–35.
- [AZUMA et al. 1999] AZUMA, RONALD, J. W. LEE, B. JIANG, J. PARK, S. YOU und U. NEUMANN (1999). *Tracking in unprepared environments for augmented reality systems*. In: *Computers & Graphics*, Bd. 23, 6, S. 787–793.
- [BAJURA et al. 1992] BAJURA, MIKE, H. FUCHS und R. OHBUCHI (1992). *Merging Virtual Reality with the Real World: Seeing Ultrasound Imagery Within the Patient*. In: *Proceedings of SIGGRAPH'92*, Bd. Computer Graphics 26 - 2, S. 203 – 210.
- [BALTSAVIAS 1999a] BALTSAVIAS, E. P. (1999a). *Airborne laser scanning: basic relations and formulas*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54 (2-3):199–214.
- [BALTSAVIAS 1999b] BALTSAVIAS, E. P. (1999b). *Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54 (2-3):164–198.
- [BATTY 2003] BATTY, MICHAEL (2003). *Integrated Land Use and Environmental Models - A Survey of Current Applications and Research*, Kap. New Developments in Urban Modeling: Simulation, Representation and Visualization, S. 13 – 43. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg - Germany.
- [BEHRINGER 1999] BEHRINGER, REINHOLD (1999). *Registration for Outdoor Augmented Reality Applications Using Computer Vision Techniques and Hybrid Sensors*. In: *Proceedings of the IEEE Virtual Reality*, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- [BEHRINGER et al. 2002] BEHRINGER, REINHOLD, J. PARK und V. SUNDARESWARAN (2002). *Model-Based Visual Tracking for Outdoor Augmented Reality Applications*. Poster. ISMAR, Darmstadt, Germany.
- [BENDER und OBERLE 2003] BENDER, J. und P. OBERLE (2003). *Werkzeuge zur 3D-Visualisierung (Echtzeitnavigation) der Ergebnisse numerischer Hochwassersimulationen am Neckar*. In: *Schlussbericht zu Phase I „Prototyp“ im Auftrag des Landes B.-W., Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik*. Institut für Betriebs- und Dialogsysteme, Universität Karlsruhe.
- [BOBRICH und OTTO 2002] BOBRICH, J. und S. OTTO (2002). *Augmented Maps*. In: *Geospatial Theory, Processing and Applications*, Bd. 34, Ottawa, Canada. IAPRS.
- [BOOMGAARD et al. 1999] BOOMGAARD, M. E., R. PETTER, H. R. VERMEULEN, R. H. BOEKELMAN, M. J. VAN DIJK und T. H. M. RIJNTJES (1999). *GIS for Environmental Monitoring*, Kap. Hydrological Modelling of Floods, S. 321–328. Schweizerbart, Stuttgart - Germany.
- [BRIESE et al. 2001] BRIESE, CH., K. KRAUS, G. MANDLBURGER und N. PFEIFER (2001).

- Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner*. Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche in Obergurgl. Institutsmitteilungen 19, Institut für Geodäsie der Universität Innsbruck (Hrsg.). S. 17 - 26.
- [BÄHR 1999a] BÄHR, HANS-PETER (1999a). *GIS for Environmental Monitoring*, Kap. Imagery, S. 53–66. Schweizerbart, Stuttgart - Germany.
- [BÄHR 1999b] BÄHR, HANS-PETER (1999b). *GIS for Environmental Monitoring*, Kap. GIS Introduction, S. 1–9. Schweizerbart, Stuttgart - Germany.
- [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.
- [BÄHR und MÜLLER 2004] BÄHR, HANS-PETER und M. MÜLLER (2004). *Graphics and Language as Complementary Formal Representations for Geospatial Descriptions*. In: *XXth ISPRS Congress*, Commission 4, Istanbul, Turkey.
- [CASPER und IHRINGER 1998] CASPER, M. und J. IHRINGER (1998). *GIS-gestützte Regionalisierung von Abflüssen in Gewässern Baden-Württembergs unter Einsatz von ArcInfo und ArcView*. URL <http://www-ihw.bau-vern.uni-karlsruhe.de/members/casper/region.htm>.
- [CENTENO 2000] CENTENO, JORGE ANTONIO SILVA (2000). *Integrierte Verarbeitung von Satellitenbild- und gescannter Karteninformation*. Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH) - Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Karlsruhe - Deutschland.
- [CENTENO et al. 2000] CENTENO, JORGE SILVA, E. STEINLE und T. VÖGTLE (2000). *Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano*. In: *Proceedings of COBRAC 2000 Congress*, Florianópolis, Brazil.
- [COBZAS und JAGERSAND 2003] COBZAS, DANA und M. JAGERSAND (2003). *A comparison of Viewing Geometries for Augmented Reality*. In: *Proceedings of Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA)*.
- [COELHO et al. 2002] COELHO, A. H., T. VÖGTLE, M. WEINDORF und H.-P. BÄHR (2002). *Utilização do método de pirâmide de imagens para a extração de modelos digitais de terreno de imagens geradas por dados de laser scanner*. In: *V Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, Florianópolis - SC - Brasil. Kongressberichte auf CD.
- [DUDEN 2001] DUDEN (2001). *Deutsches Universalwörterbuch*. Bibliographisches Institut & F. A. Bockhaus AG, Mannheim, Deutschland, 4 Aufl.
- [FAUTH 2004] FAUTH, CHRISTIAN EGLOFF (2004). *Hochwassermanagement am Lago Maggiore*. In: *GeoBit - Geoinformatik für die Praxis*, S. 23–25. abcverlag GmbH.
- [FEINER et al. 1997] FEINER, STEVEN, B. MACINTYRE und T. HÖLLERER (1997). *A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment*. In: *Proceedings ISWC'97*, S. 74 – 81, Cambridge, MA, USA.
- [FISCHER et al. 2003] FISCHER, JAN, H. REGENBRECHT und G. BARATOFF (2003). *Detecting dynamic occlusion in front of static backgrounds for AR scenes*. In: *Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003*, ACM International Conference Proceeding, S. 153–161, Zurich, Switzerland. ACM Press.
- [FOURNIER 1994] FOURNIER, ALAIN (1994). *Illumination Problems in Computer Augmented Reality*. Journée INRIA, Analyse/Synthèse D'Images, S. 1 – 21.
- [FRANK 1995] FRANK, BEATE (1995). *Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Brasil.
- [FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT 2002] FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT (2002). *Augmented Reality Projekt*. <http://www.vibal.de/ar.htm>
- [FUHRMANN et al. 1999a] FUHRMANN, ANTON, G. HESIAN, F. FAURE und M. GERVAUTZ

- (1999a). *Occlusion in collaborative augmented environments*. Computers and graphics, 23(6):809–819. <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/vr/occlusion>.
- [FUHRMANN et al. 1999b] FUHRMANN, ANTON, D. SCHMALSTIEG und W. PURGATHOFER (1999b). *Fast Calibration for Augmented Reality*. In: *Proceedings of ACM Virtual Reality Software & Technology '99 (VRST'99)*, London, UK.
- [HARINGER und REGENBRECHT 2002] HARINGER, MATTHIAS und H. T. REGENBRECHT (2002). *A Pragmatic Approach to Augmented Reality Authoring*. In: *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'02)*, S. 237, Darmstadt, Germany. IEEE Computer Society.
- [HARTMAN und WERNECKE 1996] HARTMAN, JED und J. WERNECKE (1996). *The VRML 2.0 Handbook - Building Moving Worlds on the Web*. Silicon Graphics, Inc., USA.
- [HOFF und NGUYEN 1996] HOFF, WILLIAM A. und K. NGUYEN (1996). *Computer-vision-based registration techniques for augmented reality*. In: CASASANT, DAVID P., Hrsg.: *Proceedings SPIE - Intelligent Robots and Computer Vision XV: Algorithms, Techniques, Active Vision, and Materials Handling*, Bd. 2904, S. 538 – 548.
- [HOLLOWAY 1995] HOLLOWAY, RICHARD L. (1995). *Registration Error Analysis for Augmented Reality*. Technischer Bericht TR95-001, Department of Computer Science University of North Carolina, Chapel Hill, NC.
- [IKSR 1995] IKSR (1995). *Grundlagen und Strategie zum Aktionsplan Hochwasser*. Internationale Kommission zum Schutze des Rheins, Koblenz, Deutschland. 40 p.
- [KAHMEN 1993] KAHMEN, HERIBERT (1993). *Vermessungskunde*. Walter de Gruyter, Berlin; New York, 18., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage Aufl. De Gruyter Lehrbuch.
- [KIYOKAWA et al. 2003] KIYOKAWA, KIYOSHI, M. BILLINGHURST, B. CAMPBELL und E. WOODS (2003). *An Occlusion-Capable Optical See-through Head Mount Display for Supporting Co-located Collaboration*. In: *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Tokyo, Japan.
- [KLINKER et al. 1998] KLINKER, G., D. STRICKER und D. REINERS (1998). *The Use of Reality Models in Augmented Reality Applications*. In: *European Workshop on 3D Structure from Multiple Images of Large-scale Environments (SMILE)*, Freiburg, Germany.
- [KOLLER et al. 1997] KOLLER, DIETER, G. KLINKER, E. ROSE, D. BREEN, R. WHITAKER und M. TUCERYAN (1997). *Real-time Vision-Based Camera Tracking for Augmented Reality Applications*. In: *Proceedings of the Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST-97)*, S. 87 – 94, Lausanne, Switzerland.
- [LANDES 1999] LANDES, STEFFEN (1999). *Funktionalität des internetbasierten 3D-Campus-Informationssystems der Universität Karlsruhe (CISKA)*. Doktorarbeit, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Deutschland.
- [LEEBMANN 2003] LEEBMAN, JOHANNES (2003). *A stochastic analysis of the calibration problem for Augmented Reality systems with see-through head-mounted displays*. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, S. 400–408. ISPRS.
- [LEEBMANN und BÄHR 2004] LEEBMAN, JOHANNES und H.-P. BÄHR (2004). *Wissensrepräsentation für Katastrophenmanagement in einem technischen Informationssystem (TIS)*. Teilprojekt C6 - Arbeitsbericht Phase III, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung - Universität Karlsruhe (TH).
- [LEEBMANN et al. 2004] LEEBMAN, JOHANNES, H.-P. BÄHR, A. H. COELHO, G. STAUB und J. WIESEL (2004). *3D-Geoinformationssysteme, Grundlagen und Anwendungen*, Kap. Augmented Reality in Katastrophenmanagement. H. Wichmann Verlag, Heidelberg. ISBN: 3879074119, Erscheinungsdatum: Oktober 2004.
- [LEPETIT und BERGER 2000] LEPETIT, VINCENT und M.-O. BERGER (2000). *Handling Occlusions in Augmented Reality Systems: A Semi-Automatic Method*. In: *In Proceedings of*

- International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, S. 137 – 146.
- [LOCH 2001] LOCH, CARLOS (2001). *Geração, Integração e Manejo de Informações Físico-Espaciais como Base para a Modernização da Gestão Municipal Apoiadas nas experiências Internacionais*. In: *COBENGE 2001 - XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, Bd. 1, S. 77 – 88, Porto Alegre - Brasil.
- [LOCH 2002] LOCH, CARLOS (2002). *O Estatuto da Cidade: Considerações da Gestão Territorial Urbana*. In: *Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, Bd. 1, S. 1 – 10, Florianópolis - Brasil.
- [LOHR 1999] LOHR, UWE (1999). *High resolution laserscanning, not only for 3D-City Models*. In: *Photogrametric Week'99, Fritsch/Spiller (Eds.)*, S. 133–138, Stuttgart, Germany. Wichmann Verlag.
- [MILGRAM 1994] MILGRAM, PAUL (1994). *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. In: *IEICE Transactions on Information Systems*, Bd. E77-D 12, S. 1321–1329.
- [MÖLLER 2003] MÖLLER, MATTHIAS (2003). *Urbanes Umweltmonitoring mit Digitalen Flugzeugscannerdaten*. Herbert Wichmann Verlag.
- [NETTELBECK 2003] NETTELBECK, BERND (2003). *Zeitlich gesteuerte Änderung von Darstellungsstilen*. Diplom thesis at the Department of Simulation and Graphics, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Germany.
- [OBERLE et al. 2000] OBERLE, PETER, S. THEOBALD und F. NESTMANN (2000). *GIS-gestützte Hochwassermodellierung am Beispiel des Neckars*. In: *Zeitschrift „Wasserwirtschaft“*, S. 368–373.
- [OBERLE et al. 2004] OBERLE, PETER, S. THEOBALD und F. NESTMANN (2004). *Nachhaltiges Hochwassermanagement - Konzepte und Simulationswerkzeuge*. In: *Tagungsband zum Symposium „Lebensraum Fluss Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie“*, Wallgau - Deutschland. Veranstalter TU München.
- [PLATE 2004] PLATE, ERICH J. (2004). *Risk and Decision in Flood Management*. In: *Kolloquium 2004: Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern und Stauanlagen*, Dresden. in print.
- [PORTMANN und GERHARD 1996] PORTMANN, F. und H. GERHARD (1996). *Management and Prevention of Crisis Situations: Floods, Droughts and Institutional Aspects.*, Kap. Country Paper of Germany. European Network of Fresh Water Research Organisations, Rome, Italy. Third Technical Review.
- [POSTGIS 2004] POSTGIS (2004). *PostGIS - Geographic Objects for PostgreSQL* URL <http://www.postgis.org>. Zugang in März 2004.
- [PÖSCHKE 2004] PÖSCHKE, KARL-HEINZ (2004). *GIS-Datenerfassung für den Hochwasserschutz* Technischer Bericht 2, Kartographische Nachrichten - Fachzeitschrift für Geoinformation und Visualisierung - Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V. - 54. Jahrgang, Bonn, Deutschland. Kirschbaum Verlag GmbH.
- [REINERS et al. 1998] REINERS, DIRK, D. STRICKER, G. KLINKER und S. MÜLLER (1998). *Augmented Reality for Construction Tasks: Doorlock Assembly*. In: *Proceedings 1st International Workshop on Augmented Reality (IWAR'98)*, S. 31 – 46, San Francisco, USA.
- [REITMAYR und SCHMALSTIEG 2003] REITMAYR, GERHARD und D. SCHMALSTIEG (2003). *Data Management Strategies for Mobile Augmented Reality*. In: *Proceedings of the International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems (STARS 2003)*, S. 47 – 52, Tokyo, Japan.
- [ROMÃO et al. 2002] ROMÃO, TERESA, N. CORREIA, E. DIAS, A. TRABUCO, C. SANTOS, R. SANTOS, E. NOBRE, A. CÂMARA, J. DANNADO und L. ROMERO (2002). *Augmenting reality with geo-referenced information for environmental management*. In: *Proceedings of the tenth ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, S. 175 – 180, McLean, Virginia, USA. ACM Press. Session: Applications.
- [RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT 2003] RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT, MÜNCHENER (2003). *Jahresrückblick Naturkatastro-*

- phen 2002. http://www.munichre.com/pdf/topics_2002_d.pdf.
- [SCHERZINGER 2001] SCHERZINGER, B. M. (2001). *History of Inertial Navigation Systems in Survey Applications*. In: MOSTAFA, MOHAMED M. R., Hrsg.: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Bd. 67 - 11, S. 1225 - 1227. American Society for Photogrammetry & Remote Sensing.
- [SCHNAIDER et al. 2002] SCHNAIDER, M., H. SEIBERT, B. SCHWALD, T. WELLER, S. WESARG und P. ZOGAL (2002). *Medarpa - Ein Augmented Reality System für Minimal-Invasive Interventionen*. Technischer Bericht, 2. Int. Statustagung "Virtuelle und Erweiterte Realität", Leipzig, Deutschland.
- [SENADO FEDERAL BRASILEIRO 1997] SENADO FEDERAL BRASILEIRO, SUBSECRETARIA DE EDIÇÕES TÉCNICAS (1997). *Agenda 21*. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992: Rio de Janeiro), Brasília, Brasil, 2nd. Aufl.
- [SEO und HONG 2000] SEO, YONGDUEK und K.-S. HONG (2000). *Calibration-Free Augmented Reality in Perspective*. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 6(4):346 - 359.
- [SHEN et al. 2001] SHEN, JIE, Y. WU und H. LIU (2001). *Urban Planning Using Augmented Reality*. Journal of Urban Planning and Development, 127(3):118 - 125.
- [SILVER und BALMORI 2003] SILVER, MIKE und D. BALMORI, Hrsg. (2003). *Mapping in the Age of Digital Media - The Yale Symposium*. Wiley Academy - John Wiley & Sons Ltd.
- [SIMON und BERGER 1999] SIMON, GILLES und M.-O. BERGER (1999). *Registration Methods for Harmonious Integration of Real Worlds and Computer Generated Objects*. In: *Advanced Research Workshop on Confluence of Computer Vision and Computer Graphics*, Ljubljana, Slovenia.
- [SMITH et al. 2004] SMITH, M.J., F. ASAL und G. PRIESTNALL (2004). *The Use of Photogrammetry and Lidar for Landscape Roughness Estimation in Hydrodynamic Studies*. In: *XXth ISPRS Congress - Commission 3*, Istanbul, Turkey.
- [SUTHAU et al. 2002] SUTHAU, TIM, M. VETTER, P. HASSENPFUG, H.-P. MEINZER und O. HELLWICH (2002). *Konzeption zum Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie*. Technischer Bericht, 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Neubrandenburg, Deutschland.
- [SUTHERLAND 1968] SUTHERLAND, IVAN E. (1968). *A head-mounted three-dimensional display*. In: *AFIPS Conference*, Bd. 33, S. 757 - 764.
- [TORTEROTOT et al. 1992] TORTEROTOT, J. P., L. A. KAUARK-LEITE und P. A. ROCHE (1992). *Floods and flood management*, Kap. Analysis of individual real-time responses to flooding and influence on damage to households, S. 363-387. Kluwer Academic Publishers, London.
- [UNESCO 1999] UNESCO (1999). *UNESCO Training Module on GIS-Module H-2*. http://ioc.unesco.org/oceanteacher/resourcekit/Module2/GIS/Module/Modul%e_h/module_h2.html.
- [VLAHAKIS et al. 2001] VLAHAKIS, V., J. KARIANNIS, M. TSOTROS, M. GOUNARIS, L. ALMEIDA, D. STRICKER, T. GLEUE, I. CHRISTOU, R. CARLUCCI und N. IOANNIDIS (2001). *ARCHEOGUIDE: First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites*. In: *Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage International Symposium (VAST01)*, Glyfada, Nr Athens, Greece.
- [VOSSELMAN 2003] VOSSELMAN, GEORGE (2003). *3D Reconstruction of Roads and Trees for City Modelling*. In: H.-G. MAAS, G. VOSSELMAN, A. STREILEIN, Hrsg.: *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Dresden, Germany. ISPRS Commission III, Working group 3.
- [WELCH 1978] WELCH, ROBERT B (1978). *Perceptual Modification: Adapting to Altered Sensory Environments*. Academic Press, New York, USA.

- [WEVER und LINDENBERGER 1999] WEVER, CHRISTIAN und J. LINDENBERGER (1999). *Experiences of 10 years laser scanning*. In: FRITSCH, D. und R. SPILLER, Hrsg.: *Proceedings of Photogrammetric Week'99*, S. 125 – 132, Heidelberg, Germany. H. Wichmann Verlag.
- [WIKIPEDIA 2004] WIKIPEDIA (2004). *Wikipedia - Die freie Enzyklopädie*. <http://de.wikipedia.org>. Zugang in September 2004.
- [WLOKA und ANDERSON 1995] WLOKA, M. M. und B. G. ANDERSON (1995). *Resolving Occlusion in Augmented Reality*. In: *Symposium on Interactive 3D Graphics*, S. 5–12, New York: ACM.
- [WURSTHORN et al. 2004] WURSTHORN, SWEN, A. H. COELHO und G. STAUB (2004). *Applications for Mixed Reality*. In: *XXth ISPRS Congress, Commission 3*, Istanbul, Turkey.

Lebenslauf

- 1992** Schulbildung abgeschlossen am Colégio Geração, Florianópolis (SC), Brasilien.
- 1995** Ein Jahr Untersuchungen im Bereich Baumaterialien an der Bundesuniversität von Santa Catarina.
- 1995 - 1997** Drei Jahre als PET-Stipendiat (Spezielle Training Programm von CAPES) bei der Abteilung Bauingenierwesen an der Bundesuniversität von Santa Catarina.
- 1997 - 1998** Praktikant bei der Firma RK&S Engenharia de Estruturas (Florianópolis - SC), in Projekten über Stahlbetonstrukturen und Mauerwerkstrukturen.
- 1998** Studium Bauingenierwesen abgeschlossen an der Bundesuniversität von Santa Catarina, Florianópolis, Brasilien. Titel der Diplomarbeit: "Architektonisches und strukturelles Projekt eines Hauses mit gemischter Struktur aus Holz und Stahlbeton".
- 1998 - 2000** Zwei Jahre als CNPq-Stipendiat für Forschung im Bereich digitale Nachbereichphotogrammetrie in einem internationalen Projekt zwischen Brasilien (Bundesuniversität von Santa Catarina) und Deutschland (Universität Karlsruhe) / PROBRAL.
- 2000** Mastertitel in Bauingenierwesen in dem Bereich Technisches Kataster an der Bundesuniversität von Santa Catarina, Florianópolis. Thema: "Anwendung von Nachbereichphotogrammetrie bei der Vermessung geometrischer Konfiguration industrieller Anlagen".
- 2001 - 2004** DAAD-Stipendiat im Rahmen einer Doktorarbeit beim Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung - Universität Karlsruhe (TH).