

Das CampusGIS der Universität zu Köln
– webgestützte Geodatendienste für
raumbezogene Anwendungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
URSULA VERONIKA BAASER
aus Rüsselsheim

Köln, 2010

Berichterstatter: Prof. Dr. Georg Bareth
PD Dr. Klaus Zehner

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Oktober 2010

Kurzzusammenfassung

Das CampusGIS der Universität zu Köln kann als Pilotprojekt für raumbezogene Anwendungen im universitären Umfeld verstanden werden. Es ist ein webgestütztes Geographisches Informationssystem (GIS), das die Online-Suche nach Personen, Gebäuden und Einrichtungen ermöglicht und die Abfrageergebnisse um raumbezogene Informationen erweitert. Mittels Geodatendiensten verbessert es die Orientierung auf dem Universitätsgelände.

Neben Standard-GIS-Anwendungen wie der Attributabfrage und sowohl inhaltlicher als auch räumlicher Selektion bietet das CampusGIS Routenberechnungen für Fußgänger und Gehbehinderte. In Kombination mit Ortsbestimmungsmethoden kann das CampusGIS-Mobil ortsbezogene Dienste, *location-based services (LBS)*, bereitstellen. Für das CampusGIS ist dies, insbesondere in Hinblick auf die steigende Mobilität unserer Gesellschaft und der Affinität der jüngeren Generation für mobile Endgeräte unverzichtbar. Als ortsbezogenes Dienstleistungsinstrument stellt das CampusGIS außerdem technische Gebäudepläne bereit. Die Anwendung CampusGIS-3D visualisiert die Universitätsgebäude dreidimensional. Das Modul CampusRundgänge präsentiert virtuelle Rundgänge. Sie zeigen an jeweils etwa sieben bis zehn Standorten Hintergrundinformationen zu verschiedenen Themen über die Universität zu Köln.

Um die zahlreichen raumbezogenen Anwendungen anbieten zu können, wurden campusrelevante Geodaten erfasst. Sie ergänzen die amtlichen Geobasisdaten. Zusammen werden sie in einer Geodatenbank verwaltet und gepflegt. Seitens der Universitätsverwaltung werden alphanumerische Daten über Personen, Gebäude und Einrichtungen in relationalen Datenbanken vorgehalten. Das CampusGIS verknüpft diese Daten mit den Geodaten. Das System ist modular konzipiert, um die bestehenden Anwendungen jederzeit erweitern zu können.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Konzeption und Entwicklung des CampusGIS. Diese Dokumentation ist eingebettet in den wissenschaftlichen Kontext webgestützter Geographischer Informationssysteme. Nach einer Einführung werden die Grundlagen von GIS, Internet und des daraus entstehenden WebGIS aufgezeigt. Darauf aufbauend werden die mithilfe von WebGIS angebotenen raumbezogenen Dienste betrachtet. Schwerpunkte sind dabei die Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld. Es folgen Informationen zur Erfassung, Speicherung und Verwaltung von campusrelevanten Geodaten. Anschließend werden die analytischen Methoden und mathematischen Algorithmen diskutiert, die zur Beantwortung der raumbezogenen Fragestellungen herangezogen werden. Außerdem wird aufgezeigt, wie die Ergebnisse visualisiert und webgestützt präsentiert werden. Nach der detaillierten Darstellung der CampusGIS-Entwicklung wird das System mit ähnlichen WebGIS anderer Universitäten verglichen und die inhaltlichen sowie methodischen Ansätze diskutiert. Abschließend erfolgt eine Bewertung des CampusGIS auf Grundlage der Diskussion.

Abstract

The CampusGIS of the University of Cologne can be seen as a pilot application for university campus environment. It is a geographic information system (GIS) that allows the online-search for persons, buildings and facilities. The results of the queries are enhanced with spatial information. It improves the orientation on campus by using geodata services.

In addition to standard GIS applications like „identify“ and „select by attributes“ or „select by location“ CampusGIS also provides routing applications for pedestrians and handicapped persons. In combination with positioning functionalities CampusGIS-Mobile can provide location-based services. This is essential for the CampusGIS, particularly due to the rising mobility of our society and the affinity of the younger generation to mobile devices. As location-based service tool CampusGIS also provides technical building drawings. The extension CampusGIS-3D visualises the university buildings in three dimensions. The module CampusTours provides virtual tours of the University of Cologne with additional thematic background information given at about seven to ten points of interest.

Campus based geodata was surveyed, digitised, and added to the ATKIS-street dataset (ATKIS = authoritative topographic cartographic information system of the Federal Republic of Germany). The combined data is managed and maintained in a geodatabase. Alphanumerical information about persons, facilities and buildings, provided by the university administration in relational databases, is connected to the spatial entities within that online GIS environment. The system is designed modularly, so established applications can be extended at any time.

This thesis describes the design and development of the CampusGIS. After the introduction the basics of GIS, internet and the resulting WebGIS are shown. Based on this the spatial services provided by WebGIS are surveyed, focusing on the capabilities of spatial applications in the campus environment. Collecting, storing and managing of Campus based geodata are described. The methods and mathematical algorithms to determine the answer to spatial requests are discussed. Furthermore it is shown how the results are visualised and presented in a web browser. In addition to that detailed description of the CampusGIS development, the system is compared with similar WebGIS of other universities and their approaches are discussed. Finally the system is evaluated.

Vorwort und Dank

Die Veröffentlichung von Google Earth rückte Geodaten und ihre webgestützte Präsentation ins Interesse der Öffentlichkeit. Mobiltelefone mit GPS-Empfänger, Navigationsgeräte und das „mobile Internet“ mit seinen ortsbezogenen Diensten sind weitere Zeichen für die Bedeutung räumlicher Daten, des Internets und ihrer Kombination in unserem Alltag. Das allgemeine Interesse an Geodaten zeigt sich auch in der gemeinschaftlichen Datensammlung für die freie Weltkarte „OpenStreetMap“ und im gesamten Bereich der Neogeographie sowie in der modernen Art der „Schnitzeljagd“, dem „Geocaching“.

Obwohl ich die zunehmende Virtualisierung unseres Alltags kritisch sehe, faszinieren und begeistern auch mich viele Dienste, die uns das Internet zur Verfügung stellt. Mit der Kombination von Geographischen Informationssystemen (GIS) und dem Internet befasste ich mich bereits 2003 in meiner Diplomarbeit am Geographischen Institut der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Beide Bereiche ließen mich seither nicht mehr los. Das Projekt „CampusGIS der Universität zu Köln“ ermöglichte mir, ein sehr aktuelles Thema an der Schnittstelle zwischen Geographie und Geoinformatik zu bearbeiten, von dem ich hoffe, dass die Arbeit, die in diesem Projekt steckt, nicht nur meiner wissenschaftlichen und beruflichen Qualifikation dient, sondern weitergeführt wird und als Orientierungshilfe im Alltag an der Universität zu Köln zum Einsatz kommt.

Den Impuls zu diesem Projekt sowie die Möglichkeit, es umzusetzen und mit eigenen Ideen zu erweitern, habe ich Herrn Prof. Dr. G. Bareth zu verdanken. Auch wenn ich das von ihm konzipierte Hauptziel aus persönlichen Gründen nur nebenbei umsetzen und nicht zum Hauptinhalt meiner Arbeit machen konnte, wurde ich von ihm hervorragend wissenschaftlich gefördert und unterstützt. Für seine Betreuung, zahlreiche Anregungen und viele Gespräche, auch über die Inhalte der Arbeit hinaus, bin ich sehr dankbar.

Ich danke Herrn PD Dr. habil. Klaus Zehner für sein großes Interesse am Thema und die Erstellung des Zweitgutachtens.

Meinem Kollegen Dr. Rainer Laudien danke ich für seine Hilfestellungen beim Verfassen wissenschaftlicher Aufsätze. Durch seine konstruktive Kritik und Verbesserungsvorschläge habe ich viel gelernt. Den „CampusGISbertas“ und „CampusGISberts“, die im Rahmen ihrer Anstellung als studentische Hilfskräfte großen Anteil am Gelingen des Projekts haben, danke ich für ihre viele, oftmals auch nervenaufreibende Arbeit, die sie in den fünf Jahren für das CampusGIS geleistet haben.

Ein herzliches Dankeschön sage ich den Herren Prof. Dr. Horst Lohnstein und Dr. Haiko Lüpsen für ihre freundliche Kooperationsbereitschaft. Herrn Volker Winkelmann bin ich ganz besonders dankbar für Installation und Pflege der Software-technischen Anforderungen der finalen Online-Version des CampusGIS - und für seine Geduld und beständige Freundlichkeit.

Für jede (karto-)graphische Beratung, Arbeit und Hilfestellung danke ich Dr. Regine Spohner und Udo Beha.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am Geographischen Institut, auch den ehemaligen, bin ich dankbar für ihre ständige Hilfsbereitschaft, das geduldige Beantworten aller Fragen vor allem zu Beginn meiner Arbeit am Institut sowie insbesondere für das angenehme Umfeld. Für diese tolle Zusammenarbeit, aber auch für alle nicht-wissenschaftlichen Gespräche richte ich ein besonderes Dankeschön an meinen ehemaligen Kollegen Wolfgang Koppe sowie an meine Kollegen Dr. Andreas Janotta, Dr. Andreas Bolten und Frau Beracz. Für die angenehme Bürogemeinschaft danke ich allen meinen Zimmerkollegen der letzten fünfeneinhalb Jahre; für jede aufmerksame Hilfe und insbesondere Rücksichtnahme in den vergangenen Monaten ein ganz herzliches Dankeschön an Timo Willershäuser. Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. U. Radtke und Herrn Prof. Dr. H. Brückner, dass sie mir „Asyl“ in ihrem Projektbüro gewährt haben.

Dr. Victoria Lenz-Wiedemann, Dr. Veronika Selbach und Dr. Regine Spohner sage ich ein großes und herzliches Dankeschön für viele Gespräche und ihre Freundschaft, vor allem auch neben der beruflichen Tätigkeit. Ebenfalls dafür sowie für jede wissenschaftliche Hilfestellung und vor allem privaten Rat, für ihr Verständnis, ihre Unterstützung und ihr freundschaftliches Vertrauen danke ich ganz besonders Dr. Dorothee Wiktorin.

Ich danke meinen Brüdern Herbert, Bernhard und Christian und ihren Familien sowie Monika Jakobi, Elke Völker und allen Freunden, dass sie mein privates und persönliches Umfeld geprägt und mitgetragen haben. Ich danke Bernd für die sprachlichen Korrekturen zur vorliegenden Arbeit; vor allem aber für seine Geduld und sein Verständnis, für das Vertrauen, den Halt und die „Sicherheit“. Der allergrößte Dank geht an meine Eltern, die immer für mich da waren und sind und auf deren Liebe, Vertrauen und Unterstützung ich mich in jeder Lebenslage verlassen kann.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	v
Abstract	vii
Vorwort und Dank	ix
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xvii
Abkürzungsverzeichnis	xix
1 Einleitung	1
1.1 Relevanz	1
1.2 Ziele	4
1.3 Zum Aufbau der Arbeit	6
2 Grundlagen	11
2.1 Die Universität zu Köln – Ein Überblick	12
2.1.1 600 Jahre Universität zu Köln	12
2.1.2 Die Universität heute – eine Raumbeschreibung	13
2.2 GIS – Eine Einführung	16
2.2.1 Hardware	18
2.2.2 Software	19
2.2.3 Daten	19
2.2.4 Anwendung	23
2.3 Internet-Technologien	24
2.3.1 Client-Server-Architektur	25
2.3.2 Schnittstellen	31
2.3.3 Standards	32
2.3.4 Webservices	34
2.4 Internet und GIS: WebGIS	34
2.5 Webgestützte Geodatendienste	35
2.5.1 Definition: Geodatendienste	38
2.5.2 Geodateninfrastruktur	39
2.5.3 Geodaten-Zugangsgesetze: GeoZG NRW, GeoZG und INSPIRE	40
2.5.4 Weitere Gesetze, Normen und Richtlinien	41
2.5.5 Geodatenportale	43

2.6	Location-based Services	48
2.6.1	Definition	49
2.6.2	Räumliche Orientierung, Routing und Navigation	52
2.6.3	Anwenderschnittstellen ausgewählter webgestützter Routingdienste	54
2.7	Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld	58
3	Daten und Methoden	63
3.1	Datenerfassung	64
3.1.1	Trigonometrische Festpunktnetz-Erfassung	65
3.1.2	Tachymetrie	66
3.1.3	Globale satellitengestützte Positionierungssysteme: GPS und Galileo	67
3.1.4	Photogrammetrische Erfassung	71
3.1.5	Fernerkundung	72
3.2	Geodaten	74
3.2.1	ATKIS	75
3.2.2	DGK5	79
3.2.3	DHM	80
3.2.4	Fernerkundungs- und Photogrammetrische Daten	81
3.2.5	3D-Daten	84
3.3	Campusrelevante Daten	86
3.3.1	Gebäudedaten	87
3.3.2	CAD-Daten	87
3.3.3	Personendaten	88
3.4	Datenspeicherung und -organisation	90
3.4.1	OGC-Datenmodelle	91
3.4.2	Relationale und objektrationale Datenbanken	91
3.4.3	ESRI-Datenformate	92
3.4.4	CAD-Zeichnungen und GIS	95
3.5	Raumbezogene Anwendungen	95
3.5.1	Attributabfragen und attributive Selektion	96
3.5.2	Ortsbestimmung	97
3.5.3	Netzwerkanalyse: Das Kürzeste-Wege-Problem	98
3.6	WebGIS – das webgestützte Werkzeug für raumbezogene Anwendungen	103
3.6.1	Implementierung	103
3.6.2	Kartendienste	104
3.6.3	Kartographische Visualisierung	106
3.6.4	Webdesign	107
4	CampusGIS: Aufbau, Entwicklung, Anwendungen	111
4.1	Allgemeine Systemumgebung des CampusGIS	112
4.2	Die CampusGIS-Geodateninfrastruktur	113
4.2.1	Datenerfassung	118
4.2.2	Datenspeicherung	120

4.3	Das GIS im CampusGIS	122
4.3.1	Kartographische Visualisierung	123
4.3.2	Entwicklung der Routing-Funktionalität	124
4.4	Das webgestützte CampusGIS Version 1 auf Basis des ArcIMS	134
4.4.1	Kartendienst	134
4.4.2	Systemarchitektur	135
4.4.3	Webdesign	139
4.5	Das webgestützte CampusGIS Version 2 auf Basis des ArcGIS Server	141
4.5.1	Kartendienst	142
4.5.2	Systemarchitektur	142
4.5.3	Webdesign	148
4.6	Die webgestützten CampusGIS-Anwendungen	149
4.6.1	GIS-Standardanwendungen	149
4.6.2	Attributabfragen	151
4.6.3	Attributive Selektion	152
4.6.4	Routing	154
4.6.5	CampusRundgänge	155
4.6.6	Mobiles CampusGIS	158
4.6.7	Gebäude- und Liegenschaftsverwaltung	161
4.6.8	CampusGIS-3D	164
5	Diskussion und Bewertung	167
5.1	WebGIS-Angebote anderer Universitäten – ein Überblick	167
5.1.1	Universitäre WebGIS mit Standard-Funktionalitäten	169
5.1.2	Universitäre WebGIS mit speziellen Funktionalitäten	172
5.2	Kritische Bewertung des CampusGIS	178
5.3	Bewertung der technischen und methodischen Ansätze des CampusGIS	184
5.4	Aktuelle Entwicklungen raumbezogener Anwendungen und ihr Potential für das universitäre Umfeld	195
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	197
	Quellenverzeichnis	201

Abbildungsverzeichnis

1.1	Entwicklungsstufen webbasierter Geodatendienste	2
2.1	Die Universität zu Köln im Stadtgebiet	14
2.2	Bereiche der Gebädenummern	16
2.3	Aufbau und ausgewählte Komponenten eines Computersystems	18
2.4	Liniennetzplan Köln	21
2.5	Client-Server-Architektur	25
2.6	Das traditionelle Modell einer Webapplikation im Vergleich zum AJAX-Modell	28
2.7	WebGIS	36
2.8	Komponenten einer Geodateninfrastruktur	39
2.9	Stadtmodell Hamburg in Google Earth	44
2.10	Schrägluftaufnahme Mainz in Bing Maps	45
2.11	Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld .	59
3.1	Messtischaufnahme	66
3.2	Polares Anhängen	67
3.3	Trigonometrische Höhenmessung	67
3.4	Positionsbestimmung über einen, zwei und drei Satelliten	69
3.5	Aufbau des ATKIS-Objektartenkatalogs	77
3.6	Transformationsansatz BeTA2007	78
3.7	DGK5 – Hauptgebäude der Universität zu Köln	79
3.8	DGM – Universität zu Köln	81
3.9	Luftbild – Hauptgebäude der Universität zu Köln	82
3.10	Aufnahme des Satellitensensors IKONOS – Universität zu Köln	83
3.11	Detailstufen in der 3D-Stadtmodellierung nach SIG 3D	86
3.12	File-Geodatabase - Dateistruktur	94
3.13	Graphen-Typen	100
3.14	WebGIS-Implementierung	104
4.1	Serverarchitektur des CampusGIS	114
4.2	ER-Modell CampusRundgänge	121
4.3	Kartographische Visualisierung variierend in drei Maßstabsbereichen	125
4.4	Modell zur Berechnung des kürzesten Fußwegs	131
4.5	Erweiterungen des Modells zur Berechnung des kürzesten Fußwegs um Barriere-Datensätze Treppen und Rampen	133
4.6	Baumstruktur der AXL-Kartenkonfiguration	135
4.7	Webserver- und ArcIMS-Architektur	136
4.8	Systemarchitektur CampusGIS V. 1 mit PHP	137

4.9	Systemarchitektur CampusGIS V. 1 mit AJAX	138
4.10	CampusGIS V. 1 (PHP) – Farbgebung angelehnt an DTK10	139
4.11	CampusGIS V. 1 (AJAX) – Gestaltung angelehnt an das CD der Universität	140
4.12	Webserver- und ArcGIS Server-Architektur	144
4.13	Systemarchitektur CampusGIS V. 2	146
4.14	CampusGIS V. 1 – Werkzeuge	150
4.15	CampusGIS V. 2 – Standard-Werkzeuge	150
4.16	CampusGIS V. 1 – Werkzeugmenü Abfrage	151
4.17	CampusGIS V. 1 – Werkzeugmenü attributive Selektion	152
4.18	CampusGIS V. 2 – Werkzeuge zur attributiven Selektion	153
4.19	CampusGIS V. 1 (AJAX) – Ergebnisausgabe zur Personensuche	153
4.20	CampusGIS V. 2 – Werkzeuge zum Routing	154
4.21	CampusGIS V. 2 – Bester Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau	155
4.22	CampusRundgang 1 – Geschichte der Universität zu Köln	157
4.23	Schaltfläche CampusRundgänge	157
4.24	Schaltfläche Standortbeschreibung	157
4.25	CampusRundgang 1, Standort 8	158
4.26	CampusGIS-Mobil – Startansicht	159
4.27	CampusGIS-Mobil – Benutzerschnittstelle Routing	160
4.28	CampusGIS-Mobil – Berechnete Route	161
4.29	CampusGIS – Darstellung der CAD-Zeichnung Geographie/Rundbau	163
4.30	CampusGIS-3D	165
4.31	CampusGIS-3D – Klötzchenmodell in Google Earth	165
4.32	CampusGIS-3D – Klötzchenmodell in Google Earth mit Themenebene 3D-Ge- bäude, fotorealistisch	165
5.1	TerpNav Pedestrian Mapping System der University of Maryland	173
5.2	Campus Navigator der Universität Dresden	174
5.3	Planèt UNIL der Université de Lausanne	176
5.4	Campus GIS der Technischen Universität Bergakademie Freiberg	177
5.5	Google Maps – Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau	186
5.6	Bing Maps – Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau	187
5.7	Nokia Ovi Karten – Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau	188

Tabellenverzeichnis

2.1	Ausgewählte Parameter und Optionen ausgewählter Routenplaner im Vergleich	55
3.1	Unterschiedliche Funktionen von CAD- und GI-Systemen	88
4.1	Verbindungsregeln und Netzwerkgruppen des KoelnMultiNet	128
5.1	Ausgewählte Themenebenen und Funktionalitäten US-amerikanischer, universitärer WebGIS im Vergleich	170
5.2	Ausgewählte Themenebenen und Funktionalitäten europäischer, universitärer WebGIS im Vergleich	171

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional, zwei Dimensionen
3D	dreidimensional, drei Dimensionen
AAA (auch 3A)	ATKIS, ALKIS, AFIS
ADF	Application Developer Framework
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
AGS	ArcGIS Server
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ALS	Airborne Laserscanning-System
API	Application Programming Interface
ASP	Active Server Pages
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
ATKIS-OK	ATKIS-Objektartenkatalog
Basis-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
BeTA	Bundeseinheitliche Transformation für ATKIS
BGG	Behindertengleichstellungsgesetz
BGG NRW	Behindertengleichstellungsgesetz Nordrhein-Westfalen
BITV	Barrierefreie Informationstechnik-Verordnung
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
CAAD	Computer-Aided Architectural Design
CAD	Computer-Aided Design
CAFM	Computer-Aided Facility Management
CD	Corporate Design
CEN	Comité Européen de Normalisation
CGI	Common Gateway Interface
CPU	Central Processing Unit
CSS	Cascading Style Sheets
DB	Datenbank
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DBS	Datenbanksystem
DCM	Database Content Management
DGK5	Deutsche Grundkarte 1:5 000
DGM2	Digitales Geländemodell 1:2 000
DGM2L	Digitales Geländemodell 1:2 000 – Laserscanning
DGM5L	Digitales Geländemodell 1:5 000 – Laserscanning

DGPS	Differential Global Positioning System
DHDN90	Deutsches Hauptdreiecksnetz 1990
DHM	Digitales Höhenmodell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	(1) Digitales Oberflächenmodell (2) Document Object Model
DOM5L	Digitales Oberflächenmodell 1:5 000 – Laserscanning
DOP	Digitales Orthophoto
DSM	Digital Surface Model
DTK10	Digitale Topographische Karte 1:10 000
DTM	Digital Terrain Model
E911	Enhanced-911
EJB	Enterprise JavaBeans
ER	Entitäten-Relationen
ESA	European Space Agency
ESDI	European Spatial Data Infrastructure
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
EVAP	Erfassung, Verarbeitung, Analyse, Präsentation
FGDC	Federal Geographic Data Committee
FM	Facility Management
GDB	Geodatenbank bzw. geodatabase
GDI	Geodateninfrastruktur
GDI-DE	Geodateninfrastruktur Deutschland
GeoZG	Geodaten-Zugangsgesetz
GeoZG NRW	Geodaten-Zugangsgesetz Nordrhein-Westfalen
GES	Geographic Exploration System
GIS	Geographisches Informationssystem
GIW-Kommission	Kommission für Geoinformationswirtschaft
GK	Gauß-Krüger-Koordinatensystem
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GML	Geographic Markup Language
GNSS	Global Navigation Satellite System
GP	Geoprozessierung
GPS	Global Positioning System
GSDI	Global Spatial Data Infrastructure
GSM	Global System for Mobile Communications
GUI	Graphical User Interface
HNF	Hauptnutzfläche
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol

ICA	International Cartographic Association
IMAGI	Interministerieller Ausschuss für Geoinformationswesen
IMAP	Input, Management, Analysis, Presentation
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
J2EE	Java 2 Platform Enterprise Edition
Java EE	Java Enterprise Edition
JDK	Java Developer Kit
JRE	Java Runtime Environment
JSF	Java Server Faces
JSP	Java Server Pages
JVM	Java Virtual Maschine
KLIPS	Kölner Lehr-, Informations- und Prüfungs-Service
LB13	Luftbild 1:13 000
LB20	Luftbild 1:20 000
LBS	Location-based Services
LiDAR	Light Detection And Ranging
LoD	Level of Detail
LVermA	Landesvermessungsamt
MAC	Media Access Control
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NAS	Normbasierte Austauschschnittstelle
NAVSTAR-GPS	Navigation System with Time And Ranging-Global Positioning System
NRW	Nordrhein-Westfalen
NSDI	National Spatial Data Infrastructure
NTv2	Nationale Transformation Version 2
OGC	Open Geospatial Consortium, Inc.
OODB	Objektorientierte Datenbank
OP5	Orthophoto 1:5 000
ORDB	Objektrelationale Datenbank
ORDBMS	Objektrelationales Datenbankmanagementsystem
ORDBS	Objektrelationales Datenbanksystem
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PDA	Personal Digital Assistant
PGIS	Participatory Geographic Information System
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
PPGIS	Public Participation Geographic Information System
Radar	Radio Detection and Ranging
RAM	Random-Access Memory
RDB	Relationale Datenbank

RDBMS	relationales Datenbankmanagementsystem
RFID	Radio Frequenz Identifikation
RRZK	Regionales Rechenzentrum der Universität zu Köln
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SAR	Synthetic Aperture Radar
SDC	Smart Data Compression
SDI	Spatial Data Infrastructure
SDK	Software Development Kit
SGML	Standard Generalized Markup Language
SIG 3D	Special Interest Group 3D
SOA	Service-Oriented Architecture
SOAP	Simple Object Access Protocol
SQL	Structured Query Language
TCP	Transmission Control Protocol
TK	Topographische Karte
TLS	Terrestrisches Laserscanning-System
TOC	Table Of Contents
TP	Trigonometrischer Punkt
TU	Technische Universität
UML	Unified Modeling Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNC	Universal Naming Convention
URL	Uniform Resource Locator
UTM	Universale Transversale Mercator Abbildung
UzK	Universität zu Köln
VGI	Volunteered Geographic Information
VM	Virtual Machine
W-LAN	Wireless Local Area Network
W3C	World Wide Web Consortium
WAI	Web Accessibility Initiative
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service
WPS	Web Processing Service
WSDL	Web Services Description Language
WWW	World Wide Web
XHTML	Extensible Hypertext Markup Language
XML	Extensible Markup Language
XSL	Extensible Stylesheet Language

1 Einleitung

1.1 Relevanz

Angefangen bei der Herstellung von Karten mithilfe kartographischer Zeichenprogramme bis hin zu den Abfrage- und Analysefunktionen in Geographischen Informationssystemen (GIS) faszinieren die Möglichkeiten und Vorteile, die die elektronische Datenverarbeitung auch im Bereich der Geographie und angrenzender Wissenschaften bietet. GIS und Fernerkundung stellen Methoden bereit, die sowohl in der Humangeographie als auch in der Physischen Geographie als Hilfsmittel und Werkzeuge angewendet werden, um raumbezogene Entwicklungen zu erkennen und sichtbar zu machen. Auf Grundlage dieser Methoden entwickelte sich bis zur Mitte der 1990er Jahre eine eigene Fachrichtung, die Geoinformatik, die sich der Forschung und Entwicklung von Datenmodellen und Software zur Verarbeitung raumbezogener Daten widmet (BARTELME, 2005). Ihre Bedeutung spiegelt sich darin wider, dass in zahlreichen Geographischen Instituten in den letzten Jahren Geoinformatik-Professuren und -Lehrstühle eingerichtet wurden.

Ist die Geoinformatik für sich genommen bereits ein innovatives Arbeits- und Forschungsfeld, so entsteht in Verbindung mit dem Internet eine geradezu revolutionäre Kombination. Das Internet ist die sichtbarste und bekannteste weltweite Vernetzung vieler Computersysteme. Der Alltag ist ohne das World Wide Web (WWW) und Internetdienste wie E-Mail heute kaum mehr vorstellbar. In Verknüpfung mit GIS entwickelt sich ein spannender und mit großen Zukunftschancen versehener Bereich: Oftmals werden die Informationen, die vermittelt werden sollen, durch einen Raumbezug deutlicher, ergänzt oder allein dadurch erst sinnvoll. Die mühsame und aufwendige Herstellung analoger Karten ist durch den Einsatz von GIS einer vergleichsweise schnellen und unaufwendigen Methode gewichen. Heute ist es möglich, mit wenigen Mausklicks eine digitale Karte zu erstellen. So werden aktuelle Nachrichten und Wettervorhersagen sowohl in den Zeitungen als auch im Fernsehen mit aus digitalen Daten generierten Karten illustriert; aus digitalen Daten abgeleitete schematische Pläne stellen die Linien des öffentlichen Personennahverkehrs dar, digitale Straßenkarten im Navigationssystem dienen der Orientierung im täglichen Leben usw.

Die Entwicklung schreitet fort (Abb. 1.1): Immer häufiger werden statische Kartenansichten von dynamischen und animierten Darstellungen abgelöst. Kartographische Web-Angebote stehen im öffentlichen Interesse und die Bereitstellung virtueller Karten wird als selbstverständlich vorausgesetzt (BAASER et al., 2006). Ein weites Anwendungsfeld finden raumbezogene Daten, die digitalen Geodaten, und daraus generierte Karten in den Routingdiensten wie map24.de, falk.de oder viamichelin.de sowie in den bereits erwähnten Navigationssystemen, die in den letzten Jahren – beginnend in den Kraftfahrzeugen – den Massenmarkt erobert haben (GI Geoinformatik GmbH, 2007).

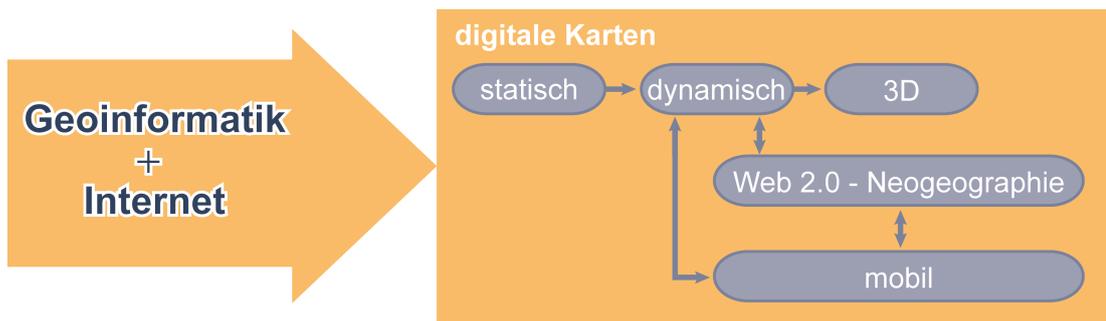


Abb. 1.1: Entwicklungsstufen webbasierter Geodatendienste (eigene Darstellung)

Als weiteres und bedeutendstes Beispiel ist hier insbesondere der digitale, animierte Globus Google Earth zu nennen. Neben Karten, Luft- und Satellitenbildern kann er Geodaten auch dreidimensional präsentieren. Er wird mittlerweile wie selbstverständlich in den Medien zur Visualisierung verwendet. Weil damit bereits vorhandene, aber bisher nicht gewürdigte Technologien genutzt, evtl. mit anderen kombiniert und auf dieser Grundlage neuartige und revolutionäre Anwendungen kreiert werden, wird er in der Presse als „Killerapplikation“¹ und in der Fachliteratur als Zugpferd eines neuen Umbruchs in der Informationstechnologie bezeichnet (KORDUAN und ZEHNER, 2008).

Webgestützte Stadtportale und virtuelle 3D-Stadtmodelle werden basierend auf Geodatendiensten von vielen Städten und Gemeinden angeboten. Neben der Bereitstellung von aktuellen Informationen für die ansässigen Bürger sowie als Planungsgrundlage und Analysewerkzeug für die Stadtverwaltung dienen sie auch z. B. in der Werbung für die Ansiedlung von Wirtschaftsunternehmen oder als Informationsmittel in der Tourismusbranche. Interessenten, Entscheidungsträger und Besucher können über diese Angebote umfangreiche Informationen abrufen und sich einen ersten Eindruck über die Stadt verschaffen. Der virtuelle Besuch touristischer Attraktionen oder virtuelle Stadtrundgänge sind zwei weitere Beispiele für die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Visualisierung.

Die Bereitstellung der in Anwendungen wie Google Earth gezeigten Ansichten wird durch die Kombination der Technologien GIS und Internet und den damit erzeugten Geodatendiensten ermöglicht. Mit Geodatendiensten wird im Internet auf Nutzeranfragen mit raumbezogenem Kontext geantwortet. Der Raumbezug wird über digitale Geodaten hergestellt, die die Situationen in unserem Lebensraum abbilden. Um sich von diesen kommerziellen Daten unabhängig zu machen bzw. um sie zu ergänzen, wurde im Jahr 2004 das Projekt OpenStreetMap² ins Leben gerufen, das die Erstellung einer freien Weltkarte mit kollektiv erfassten räumlichen Daten nach Wikipedia-Vorbild zum Ziel hat. Die Daten werden von Nicht-Experten mithilfe von GPS-Empfängern erstellt und in einem webgestützten GIS (WebGIS) gesammelt. Diese freiwillig erstellten geographischen Informationen bezeichnet GOODCHILD (2007) als Volunteered Geographic Information (VGI). Gemeinsam mit kommerziellen und amtlichen Geodaten sowie mit

¹ Redaktion derStandard.at: *Google Earth, die Killerapplikation*. In: <http://derstandard.at/2230147>
— Zugriffsdatum: 12.05.2010

² <http://www.openstreetmap.org>

den Technologien des Web 2.0, dessen Kennzeichen Dynamik und Interaktion sind, bilden VGI eine neue Form der Geographie, die Neogeographie (HUDSON-SMITH et al., 2009). Es wird spannend bleiben, diese Strömungen und Entwicklungen zu beobachten bzw. daran mitzuwirken.

Die stark gesunkenen Preise der GPS-Empfänger ermöglichen die Teilnahme der Bevölkerung an Projekten wie OpenStreetMap. Zugleich hat der Einzug der satellitengestützten Positionierungs- und Ortungsverfahren in der Geodäsie die Landesaufnahme revolutioniert. Die Aufnahmetechnik der globalen Satellitenvermessung steht im Widerspruch zu den bisherigen nationalen und noch kleinräumigeren Referenzsystemen und verlangt nach einem europaweit gültigen Bezugssystem. Deshalb und mit Blick auf das Zusammenwachsen der europäischen Staaten wurde das Lagebezugssystem im amtlichen Vermessungswesen zum 01. Januar 2009 mit der Einführung von ETRS89/UTM vereinheitlicht.

Aktuell werben verschiedene Routenplanungsdienste und Telekommunikationsfirmen mit Navigationsanwendungen für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen. Dabei sind mobile Endgeräte wie Handys und PDAs sowie die Kombination aus beiden, die sogenannten Smartphones, die technische Plattform, über die räumliche Informationen übermittelt werden.

„Das Handy ist zum Multifunktionsgerät geworden und hilft als ständiger Begleiter bei alltäglichen Aufgaben“, sagte [BITKOM-Hauptvorstand] Merz. Die Fahrplanauskunft zeigt die Abfahrt des nächsten Zuges, das Übersetzungsprogramm hilft bei Sprachproblemen und die Navigationsfunktion führt den Nutzer zur nächsten Bank oder Apotheke. Für diese Zwecke laden Smartphone-Besitzer einfach eine ‚App‘ (kurz für mobile Application) auf ihr Gerät“ (BITKOM, 2010b). Wird dabei über Positionierungsverfahren wie z. B. GPS der Aufenthaltsort des Nutzers ermittelt, können ihm zusätzliche ortsbezogene Informationen bereitgestellt werden.

Diese ortsbezogenen Dienste, Location-based Services, sind ein hochaktuelles Forschungs- und Entwicklungsfeld in der Geoinformatik. Während im Jahr 2008 Karten- und Navigationsdienste die verbreitetsten aller ortsbezogenen Dienste waren, wird prognostiziert, dass ortsbezogene lokale Such- und Informationsdienste spätestens im Jahr 2011 die noch vor den Navigationsanwendungen erfolgreichsten Dienste sein werden (MALM und FAGERBERG, 2008) und damit den Durchbruch zum Massenmarkt schaffen. Begründet wird diese Einschätzung mit einer höheren Bandbreite des mobilen Internets, einer verbesserten Flächenabdeckung und attraktiveren Preismodellen (FISCHER, 2008b). Die Kernidee des in dieser Arbeit vorgestellten CampusGIS der Universität zu Köln besteht darin, ortsbezogene Dienste zur Nutzung im universitären Umfeld bereitzustellen.

Dabei ist anzumerken, dass die Akzeptanz für die mobile Nutzung des Internet bereits heute sehr hoch ist: Eine Umfrage des Marktforschungsinstituts Aris im Auftrag des Bundesverbands Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM) ergab, dass jeder fünfte Nutzer mit mobilen Computern online geht und schon jeder zehnte dafür ein Mobiltelefon benutzt. Bei den unter 30-Jährigen geht bereits jeder Sechste mit dem Handy ins Netz. Als Gründe werden die Leistungsfähigkeit und Funktionalität der neuen Geräte, die im Vergleich zur Vergangenheit günstigen Datentarife und die attraktiven Anwendungen des Massenmarktes genannt (BITKOM, 2010a,d; SCHEER, 2010e).

Die Arbeitsgruppe „GIS & Fernerkundung“ unter Leitung von Prof. Dr. Georg Bareth am Geographischen Institut der Universität zu Köln befindet sich mit ihren Aufgaben in Forschung, Entwicklung und als Dienstleister am Schnittpunkt von Human- und Physischer Geographie sowie der Geoinformatik. Ein wesentlicher Impuls für das Projekt ging im Jahr 2004 von der Feststellung vorwiegend ortsfremder Mitarbeiter aus, dass die Universität zu Köln über verschiedene Dienste wie Lagepläne, Personenverzeichnisse und Gebäudelisten verfügt, die die Orientierung auf dem Campus erleichtern sollen. Eine sinnvolle Verknüpfung bzw. gemeinsame Internetpräsentation der verschiedenen Informations- und Orientierungsangebote existiert aber nicht. So liegt es nahe, die vorhandenen Ressourcen in einem webgestützten, räumlichen Informationssystem zu integrieren und die Informationen gesammelt in einem Internet-Angebot, auch für den mobilen Nutzer, zur Verfügung zu stellen. Aufgrund dieser Überlegungen entstand das Konzept für das Projekt „CampusGIS der Universität zu Köln“. Dieses Geographische Informationssystem stellt webgestützte Geodatendienste für auf den Raum der Universität zu Köln bezogene Anwendungen zur Verfügung. Es befindet sich seit 2005 im Aufbau und ist seit März 2006 in der ersten Version unter der Subdomain <http://www.campusgis.uni-koeln.de> sowie seit Dezember des gleichen Jahres auch unter eigener Domain <http://www.campusgis.de> erreichbar. Vorliegende Arbeit dokumentiert die Entwicklung, den Aufbau und die Anwendungen des CampusGIS und positioniert das Projekt im aktuellen wissenschaftlichen Kontext.

1.2 Ziele

Bezugnehmend auf die in Kap. 1.1 dargelegte Bedeutung raumbezogener Anwendungen, deren Verfügbarkeit über das Internet und die Bedeutung der Mobilität für unsere Gesellschaft widmet sich dieses Kapitel nun den Zielen der vorliegenden Arbeit. Im Zusammenhang mit Geodaten im Internet dürfen die verbreiteten Anwendungen wie Google Earth oder Microsoft Bing Maps nicht außer Acht gelassen werden. Die meist relativ hohe Auflösung der dort dargestellten Satelliten- und Luftbilder ist beeindruckend, diesen Diensten fehlen jedoch oftmals kleinräumige und unternehmensinterne Informationen. Das ist hinsichtlich datenschutzrechtlicher Belange und der Fülle an Informationen verständlich. Sie stehen an anderer Stelle jedoch durchaus zur Verfügung. Es mangelt aber an einer Verknüpfung mit raumbezogenen Anwendungen und damit an einer raumbezogenen Darstellung.

Das übergreifende Ziel des universitätsinternen Projekts CampusGIS ist daher der Aufbau eines WebGIS mit Geodatendiensten für raumbezogene Anwendungen. Auch andere Universitäten und Hochschulen sowie große Wirtschaftsunternehmen haben Bedarf an internen Informationen, die in einen räumlichen Bezug gestellt werden und so die Orientierung verbessern können.

Die Universität zu Köln ist eine der größten Universitäten Deutschlands. Dies zeigt sich sowohl in der Anzahl der Studierenden und Mitarbeiter als auch in der Fläche und der Anzahl der Gebäude, die sich im Besitz der Universität befinden oder von universitären Einrichtungen genutzt werden. Das System soll die an der Universität vorhandenen Daten über Personen, Gebäude und Einrichtungen untereinander und zusätzlich mit Geodaten verknüpfen. Dadurch werden sach- und raumbezogene Abfragen möglich, die die Orientierung für Studierende, Mitarbeiter und Besucher der Universität verbessern.

Die grundlegenden Forderungen an das System sind ein modularer Aufbau sowie:

- Basisinhalte:
 - Orientierung,
 - Online-Suche von Einrichtungen, Gebäuden und Mitarbeitern,
- erweiterte Inhalte:
 - Routing für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen,
 - Liegenschaftsverwaltung,
 - 3D-Visualisierung,
 - CampusRundgänge,
- technische Forderungen:
 - mobil,
 - GPS-gestützt,
 - passwortgeschützte Zugriffsberechtigung.

Der Struktur des Systems soll ein modularer Aufbau zugrunde liegen. Damit wird gewährleistet, dass die Module einzeln funktionsfähig sind und unabhängig voneinander gepflegt werden können. So wäre es offen für ergänzende Module. Außerdem könnten nicht mehr aktuelle Module aktualisiert oder bei Bedarf entfernt werden, ohne das gesamte System außer Betrieb nehmen zu müssen. Der grundlegende Ansatz für die Module selbst soll ebenfalls berücksichtigen, dass sich Informationen im Laufe der Zeit ändern können. Der Einsatz von Datenbanksystemen soll dabei gewährleisten, dass diese Änderungen zeitnah eingepflegt werden können und dem Nutzer dann sofort zur Verfügung stehen.

Den Akteuren in der Universität, ob Studierenden, Mitarbeitern oder auch Besuchern, stellen sich neben der Fragen zur Lokalisierung von Personen, Einrichtungen oder Gebäuden auch immer wieder Fragen der Art „Wie finde ich zu ... ?“. Auskünfte dazu können kontext- und nutzerspezifisch sein. Dem soll das CampusGIS Rechnung tragen und Routingangebote für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen anbieten. Damit werden aktuelle Forschungsbereiche der Geoinformatik tangiert. Gleichzeitig zeigt sich der Bezug zu gegenwärtigen kommerziellen Neuentwicklungen, denn die Fußgängernavigation befindet sich bei den traditionellen Routenberechnungs- und Navigationsanbietern momentan noch im Anfangsstadium. Zunächst auf den Campus beschränkt sollen deshalb fußgängerspezifische Daten erfasst werden, die in den bekannten Diensten wie Google Earth nicht vorhanden sind.

In der Routinganwendung soll der Nutzer entsprechend seiner persönlichen Bedürfnisse zwischen normalen Fußwegen, Wegen ohne Treppen und zusätzlich Wegen ohne Rampen mit einer Steigung über 6% (ausgewählte Merkmale der Barrierefreiheit lt. DIN 18024 und 18025) wählen können. Dies erfordert eine detaillierte Datenerfassung der Fußwege mit Informationen über den Oberflächenbelag, die Wegbreite, Steigung und ggf. Quergefälle. Daraus ergibt sich als weiteres Ziel der Aufbau einer detaillierten Geodateninfrastruktur.

Das webgestützte raumbezogene Informationssystem soll die Daten der Gebäude- und Liegenschaftsverwaltung integrieren. Die Liegenschaftsinformationen inklusive der Gebäude- und Raumpläne werden mit diesem System in einen räumlichen Bezug gestellt. Neben einer Orien-

tierungshilfe für die Verwaltungsangestellten sollen diese Daten auch zur Ableitung von Rauminformationen genutzt werden. Damit wird eine räumliche Datengrundlage für die Innenbereiche der Gebäude geschaffen. Sie soll dann die Basis von Routinganwendungen auch innerhalb der Gebäude darstellen. Die der Verwaltung vorliegenden detaillierten Gebäudedaten können außerdem der Erstellung von 3D-Modellen dienen. Im Gegenzug sollen die 3D-Modelle über das zu erstellende WebGIS wiederum der Verwaltung zur Verfügung gestellt werden. Die Visualisierung von 3D-Modellen kann Planungsvorhaben unterstützen und Entscheidungsfindungsprozesse beschleunigen. In Kombination mit den Routinganwendungen sollen sie zudem die Orientierung im Gelände verbessern.

Eine zusätzliche Anwendung des CampusGIS stellen die CampusRundgänge dar. Als modulares Subsystem des CampusGIS konzipiert, sollen verschiedene die Universität betreffende Themen an jeweils etwa sieben bis zehn Standpunkten aufgegriffen werden. Die Standpunkte sollen in einer digitalen Karte markiert und mit Informationen zum Thema hinterlegt werden. Die Universität kann so virtuell, d. h. am Computer, erkundet werden. Zusätzlich soll die Möglichkeit bestehen, die Hintergrundinformationen aus einem PDF-Dokument auszudrucken, die Standpunkte zu besuchen und die passenden Informationen vor Ort zu lesen.

Die Anwendungen sollen sowohl zur webgestützten Planung eines Besuchs als auch zur Echtzeit mit mobilen Endgeräten nutzbar sein. Bei einer Echtzeitanwendung kann die Nutzerposition über Funkzellenortung oder mittels GPS bestimmt und als Startparameter einer Routenberechnung angenommen werden. Die Berücksichtigung der Position eines mobilen Nutzers soll die Bereitstellung weiterer ortsbezogener Dienste ermöglichen.

Nutzergruppenspezifische Zugangsberechtigungen sollen das System und seine Inhalte vor dem Zugriff Unautorisierter schützen: Neben für alle Internetnutzer offenen Modulen, wie z. B. der Suche nach universitären Gebäuden und Einrichtungen, soll es zwei weitere Stufen der Zugriffsberechtigung geben. Universitätsinterne Informationen, die nur von Studierenden und Mitarbeitern gesehen werden sollen, sollen nur den Nutzern innerhalb des lokalen Netzes der Universität zugänglich sein. Zusätzlich soll ein passwortgeschützter Zugriff integriert werden, der innerhalb dieses lokalen Netzes nur denen den Zugriff gewährt, die über die entsprechenden Zugangsdaten informiert sind. So können beispielsweise sensible Daten der Verwaltung wie detaillierte Gebäudeinformationen und Leitungspläne der Ver- und Entsorgungsnetze nur den entsprechenden Verwaltungsangehörigen bereitgestellt werden.

Die Umsetzung der vorgenannten Ziele wird in der vorliegenden Arbeit dokumentiert. Dafür werden mögliche Daten und Methoden vorgestellt, mit denen die genannten raumbezogenen Anwendungen erstellt und zur Verfügung gestellt werden können. Die zur Entwicklung des WebGIS eingesetzten Daten und Methoden werden kritisch hinterfragt und diskutiert. In Verbindung damit sollen die Chancen, aber auch die Grenzen des aufgebauten Systems erörtert werden.

1.3 Zum Aufbau der Arbeit

Um die in Kap. 1.2 genannten Ziele zu erreichen und das CampusGIS als ortsbezogenes Dienstleistungsinstrument bereitstellen zu können, müssen zunächst digitale Geodaten akquiriert und

auf ihre Tauglichkeit für die raumbezogenen Anwendungen geprüft werden. Fehlende Daten sind digital zu erfassen. Die gesammelten Daten müssen dauerhaft und sicher gespeichert und verwaltet werden. Mithilfe von Algorithmen werden sie analysiert. Das CampusGIS integriert Geodaten und Algorithmen in einem System, um auf den Raum der Universität bezogene Fragestellungen zu erörtern. Die Geodaten und daraus abgeleitete Informationen werden kartographisch visualisiert und präsentiert.

Die Aktualität des Themas erforderte während der gesamten Projektphase von etwa fünf Jahren einen andauernden Blick auf die Entwicklungen in den beiden Kernbereichen GIS und Internet. Eine chronologische Beschreibung der Entwicklungsprozesse kann sich deshalb nur in Teilbereichen der vorliegenden Arbeit widerspiegeln. Die Komponenten Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation werden in dieser Arbeit daher in den wissenschaftlichen und die aktuellen Entwicklungen betrachtenden Kontext gesetzt, so dass sich die folgende Gliederung ergibt:

Grundlagen

Das in die Thematik einführende Kapitel 2 wird von einer einleitenden Raumbeschreibung der Universität zu Köln und einer abschließenden Darstellung der Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld eingerahmt. In der Konzeptionsphase des Projekts wurden Ideen für die Inhalte des aufzubauenden Systems gesammelt sowie die Möglichkeiten zur Umsetzung erörtert. Dies ging mit einer intensiven Betrachtung der GIS- und Internet-Grundlagen sowie deren Verknüpfung zu WebGIS einher, die theoretisch dargestellt werden. Die Verbreitung und Bereitstellung von Geodaten wurde während des Projektzeitraums durch den Eingriff der Politik und die Verabschiedung von Richtlinien und Gesetzen neu geregelt. Hier wird eine Zusammenfassung dieser Thematik gegeben. Zugleich entwickelten sich raum- und ortsbezogene Dienste für mobile Nutzer zu hochaktuellen Anwendungen, die anschließend grundlegend betrachtet und in einen aktuellen, wissenschaftlichen Kontext gebracht werden.

Daten und Methoden

Kapitel 3 basiert auf einer Darstellung der zentralen funktionalen Komponenten eines GIS: Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation. Bedingt durch die elektronische Datenverarbeitung kam es in den letzten Jahren zu grundlegenden Änderungen in den Bereichen der Datenerfassung und -verwaltung. Nach und nach wurden analoge Daten in digitale überführt, während neue Aufnahmen heute in der Regel direkt digital vorgenommen werden. In dieser Zeit des Umbruchs werden analoge und digitale Geodaten kombiniert, so dass dieses Kapitel einen Einblick sowohl in die historischen als auch aktuellen Methoden der Datenerfassung gibt. Die Speicherung, Organisation und Verarbeitung erfolgt dann entsprechend den gegenwärtigen und zukünftigen Anforderungen digital, so dass hierfür aktuelle Methoden dargestellt werden. Abschließend behandelt das Kapitel die Methoden der Analyse und Präsentation raumbezogener Daten. Dabei nimmt in vorliegender Arbeit das WebGIS eine zentrale Stellung als Werkzeug für raumbezogene Anwendungen ein.

Ergebnisse

Kapitel 4 beschreibt den modularen Aufbau, die Entwicklung und die Anwendungen des CampusGIS. Um die in Kap. 1.2 vorgestellten Ziele, die mit diesem Projekt erreicht werden sollen, umzusetzen, sind zunächst eine Geodateninfrastruktur aufzubauen sowie die Daten und Methoden in einem GIS zu integrieren. Im zweiten Teil des Kapitels wird die Umsetzung und Implementierung des GIS in webgestützte Systeme beschrieben. Dabei sind zwei Entwicklungsphasen zu unterscheiden, die den jeweils aktuellen Fortschritt widerspiegeln. Bei der Entwicklung der raumbezogenen Anwendungen sind die potentiellen Nutzergruppen zu berücksichtigen. Das Kapitel wird durch eine Beschreibung der umgesetzten raumbezogenen Anwendungen abgeschlossen.

Der Projektverlauf wurde von zwei zentralen Fragestellungen begleitet:

- Was sind die aktuellen Entwicklungen im Bereich WebGIS?
- Welche Techniken und Programmiersprachen werden zur Umsetzung aktueller WebGIS-Projekte verwendet?

Auf dieser Grundlage wurde die Entwicklung immer wieder an Zwischenziele angepasst, die im zeitlichen Ablauf des Projekts dokumentiert werden:

- Sommer 2005
 - Beschaffung der Geobasisdaten ATKIS und Luftbilder
 - Digitalisierung der Universitätsgebäude auf Grundlage der Luftbilder
 - Kooperationsanfragen an die Verantwortlichen der Gebäudedatenbank und der Personendatenbank uk-online
- Spätsommer 2005
 - Erfassung der Gebäudeeingänge, Fußwege und Trampelpfade
 - CampusGIS Version 1 mit ersten GIS-Standardanwendungen
 - Programmierung eines ArcIMS-HTML-Viewers unter Berücksichtigung der Richtlinien zur Barrierefreien Informationstechnik-Verordnung (BITV)
 - Attributierung der Fußwege
 - Anbindung von uk-online und der Gebäudedatenbank an die Geodaten
- Herbst 2006
 - Erfassung der campusnahen Einzelhandels- und Dienstleistungsunternehmen
- Winter 2006
 - Anpassung des Webdesigns an die graphischen Gestaltungsvorgaben der Universität
- Sommer 2007
 - Implementierung von AJAX als Basis einer neuen Systemarchitektur
- Sommer 2008
 - Aktualisierung der Einzelhandels- und Dienstleistungsunternehmen

- Sommer 2009
 - Erstellung des CampusGIS-3D im Rahmen einer Diplomarbeit
 - CampusGIS Version 2 als Java-Webapplikation auf Basis des ArcGIS Server
 - Implementierung der Routing-Anwendungen
- Winter 2009
 - Erstellung des CampusGIS-Mobil im Rahmen einer Diplomarbeit

Diskussion

Nachdem das Projekt von den theoretischen Grundlagen über methodische Möglichkeiten bis hin zur praktischen Umsetzung beschrieben wurde, wird es in diesem Kapitel diskutiert. Dafür wird es ähnlichen Systemen vergleichend gegenübergestellt, um daraus Aspekte abzuleiten, die für eine Bewertung einbezogen werden müssen. Ein direkter Vergleich der Systeme ist aufgrund der verschiedenen Ziele, der unterschiedlichen Umsetzungen und der ungleichen zugrunde liegenden Daten und Software nicht sinnvoll. Es ist aber möglich, im Hinblick auf die in den anderen Systemen eingesetzten Komponenten, die bei der Umsetzung des CampusGIS verwendeten Daten und Methoden kritisch zu hinterfragen.

In Hinblick auf die Schlussbetrachtung und den Ausblick werden aktuelle raumbezogene Anwendungen vorgestellt. Dabei sind insbesondere die Entwicklungen des Internet und der mobilen Anwendungen ausschlaggebend. Aber auch die Möglichkeiten, GIS-Analysen webgestützt durchzuführen und damit weitere raumbezogene Anwendungen über das Internet zur Verfügung zu stellen, sind in ihrer Entwicklung nicht abgeschlossen. Es soll versucht werden, Aspekte der zukünftigen Entwicklungen in diesem Kapitel aufzuzeigen und ihr Potential für den Einsatz im universitären Umfeld zu erörtern.

Schlussbetrachtung und Ausblick

Abschließend wird ein Fazit gezogen. In einem Ausblick werden Ideen zu geplanten Erweiterungen und Entwicklungen der webgestützten Geodatendienste für raumbezogene Anwendungen des CampusGIS aufgezeigt.

2 Grundlagen

Das Internet und die drahtlose Kommunikation stellen in den letzten Jahren markante Entwicklungsschritte der Informationstechnologie dar. Sie erlauben einer Vielzahl von Nutzern an nahezu jedem Ort und zu jeder Zeit das Suchen, Auffinden und Abfragen aktueller Informationen. Dafür müssen Computer miteinander kommunizieren und Daten über einheitliche Schnittstellen, Protokolle und Dienste austauschen. Auch raumbezogene Informationen können über sogenannte Geodatendienste im Internet abgerufen werden.

Insbesondere seit der Veröffentlichung von **Google Earth**¹ im Jahr 2005, haben kartographische Web-Angebote das öffentliche Interesse erobert; seither wird die Bereitstellung virtueller Karten als selbstverständlich vorausgesetzt. Zur Nutzung genügt es oftmals, einen Webbrowser bedienen zu können; Kenntnisse über die zugrunde liegenden technischen Details werden nicht benötigt. Gleichwohl basiert das Internet auf komplexen Netzwerktechnologien. Für die Bereitstellung von Geodaten bedarf es eines Geographischen Informationssystems (GIS) in Form eines strukturierten Systems aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen. Ein WebGIS, auch Online-, Hyper- oder Internet-GIS genannt, stellt sämtliche GIS-Funktionalitäten über das Internet bereit.

Unterschiedlichen Positionierungsverfahren wie GPS oder Mobilfunk-Zellenidentifikation ermöglichen eine Lokalisierung mobiler Endgeräte und damit auch ihrer Nutzer. Im Zusammenhang mit GIS und Internet können ortsbezogene Dienste zur Verfügung gestellt werden, durch die der mobile Nutzer seinem aktuellen Aufenthaltsort entsprechende Informationen erhält.

Die Nutzer sind immer Akteure in einem Raum. Studierende und Mitarbeiter sind die Akteure innerhalb einer Universität. Dieser Raum lässt sich über die Standorte der Gebäude und damit über den Arbeitsort der Akteure beschreiben. Gleichzeitig ist eine Universität immer auch ein „sozialer Raum“, in dem Forscher, Lehrende und Studierende unabhängig von ihrem Standort interagieren. Insbesondere im Fach der Geographie sind die Akteure oft unterwegs, forschen global und oft in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern aus aller Welt. Aber dennoch ist die eigene Universität auch ein „Containerraum“, ein abgrenzbares – oft unübersichtliches – Gelände, in dem Menschen lehren, forschen und lernen. Die Universität ist also mehr als eine Ansammlung von Gebäuden, und doch müssen die Personen und Gebäude auffindbar sein.

Befinden sich die Universitätsgebäude nah beieinander und sind durch ihre Funktion von Gebäuden anderer Nutzung klar abzutrennen, kann das Universitätsgelände als Campus bezeichnet werden. Insbesondere im amerikanischen Sprachraum bezeichnet der Begriff Universitäten, bei denen sich die Lehr- und Forschungsgebäude sowie der Wohnraum der Studierenden und die gesamte universitätsnahe Infrastruktur auf einem abgegrenzten Areal befinden. In Deutschland sind die Johannes Gutenberg-Universität Mainz und die Universität Hohenheim Beispiele für

¹ <http://earth.google.de>

klassische Campusuniversitäten. Die Universität zu Köln ist kein Campus im klassischen Sinn, bildet aber zusammen mit dem Universitätsklinikum doch eine Einheit, aufgrund dessen das Gelände als innerstädtischer Campus bezeichnet werden kann. Dieser Campus ist der Raum, für den das in dieser Arbeit beschriebene CampusGIS entwickelt wurde.

Das CampusGIS ist ein WebGIS, mit dem raumbezogene Daten und Dienste für Studierende, Mitarbeiter und Besucher der Universität zu Köln zur Verfügung gestellt werden. Die Informationen sind mit einem Webbrowser abrufbar, so dass jeder Internetbenutzer darauf zugreifen kann. Ergänzend werden Schnittstellen und graphische Benutzeroberflächen für mobile Endgeräte bereitgehalten und die Positionierungsverfahren dieser Geräte genutzt, um den mobilen Anwender entsprechend seines Aufenthaltsorts informieren zu können. Zusätzlich wird Mitarbeitern der Universitätsverwaltung ermöglicht, universitätsinterne Daten wie CAD-Pläne der Gebäude über einen passwortgeschützten Zugang am eigenen Arbeitsplatzrechner, aber auch ortsbezogen mithilfe mobiler Endgeräte aufzurufen. So können diese Daten in ihrem räumlichen Kontext zum Universitätsgelände dargestellt und genutzt werden.

In diesem Kapitel wird der Bogen geschlagen von einer Raumbeschreibung (Kap. 2.1) der Universität zu Köln hin zur Darstellung von Ideen zu den Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld (Kap. 2.7). In diesem Rahmen werden die Grundlagen beschrieben, die für ein WebGIS von Bedeutung sind. So führen Kap. 2.2 und 2.3 in die Grundlagen von GIS und Internet ein, bevor Kap. 2.4 die Verknüpfung beider Technologien zu WebGIS thematisiert. Ein WebGIS ermöglicht die Bereitstellung webgestützter Geodatendienste (Kap. 2.5), die die Basis für ortsbezogene Anwendungen sind (Kap. 2.6).

2.1 Die Universität zu Köln – Ein Überblick

Die Universität zu Köln gehört zu den ältesten Universitäten Deutschlands. Von den Bürgern der Stadt gegründet, befindet sie sich seit jeher im Stadtgebiet, wodurch eine enge Verflechtung sowohl zwischen Universität und Stadt als auch Studierenden, Mitarbeitern und den Bewohnern Kölns begründet ist. Einen Einblick in die gesamte historische Entwicklung gibt Kap. 2.1.1.

Das Kap. 2.1.2 stellt einen Überblick dar über die wechselnden Standorte der Universität im Stadtgebiet und eine Raumbeschreibung des heutigen Universitätsgeländes. Grundlegende Informationen werden zu den Gebäuden gegeben, die als Wirkungsstätten der Studierenden und Mitarbeiter sowie Ziele von Besuchern die wesentlichen Geoobjekte des Campus darstellen.

2.1.1 600 Jahre Universität zu Köln

Die Universität zu Köln ist nach der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg die zweitälteste und die älteste bürgerliche Universität Deutschlands. Sie blickt auf eine mehrere Jahrhunderte dauernde Entwicklung zurück: Gegründet 1388, nahm die „universitas“, die körperschaftliche Gemeinschaft von Lehrenden und Lernenden, am Tag der Stadtpatrone, der Heiligen Drei Könige, am 6. Januar 1389, den Vorlesungsbetrieb auf. Die Universität wurde nicht, wie sonst üblich, durch ein religiöses oder politisches Oberhaupt, sondern von Kölner Bürgern ins Leben geru-

fen, was durch die Bezeichnung „Universität **zu** Köln“ zum Ausdruck gebracht wird. Die „alte“ Universität wurde von Theologen geführt und hatte ihre Blütezeit im 15. Jahrhundert.

Unter französischer Besatzung erlebte die Universität 1798 ein vorläufiges Ende, weil die gesamtfranzösische Unterrichtsorganisation keine Universitäten mehr vorsah. Als Kölner Zentralschule für das Roer-Département behielt sie jedoch den Namen „L'Université de Cologne organisée en école centrale“.

1919 wurde unter Federführung des damaligen Oberbürgermeisters Konrad Adenauer (1917–1933 und 1945; *1876–†1967; 1949–1963 erster Bundeskanzler der Bundesrepublik Deutschland) durch den Zusammenschluß der Handelshochschule, der Hochschule für kommunale und soziale Verwaltung und der Akademie für praktische Medizin die „neue“ Universität gegründet. Mit einem Kuratorium aus sieben Stadtverordneten, drei Universitätsangehörigen (Geschäftsführender Vorsitzender, Rektor und Prorektor) und unter dem Vorsitz des Oberbürgermeisters, wurde sie als städtische Universität aufgestellt (MEUTHEN, 1998).

Bereits wenige Monate nach der Machtergreifung Hitlers 1933 war die gesamte „demokratische Organisation (Kölns) ausgeschaltet und die Bürokratie allerorts ‚gleichgeschaltet‘, d. h. von nicht genehmen Personen befreit und mit Parteimitgliedern durchsetzt sowie nach dem Führerprinzip ausgerichtet“ (JANSEN et al., 2003, S. 150). So wurde auch der damalige Rektor zum Rücktritt gezwungen und seine Stelle von einem Vertrauensmann der NSDAP besetzt. Die Universität zu Köln war die erste, die sich „gleichschalten“ ließ. Die NS-Studentenschaft organisierte im Mai 1933 auf dem Vorplatz der Universität in der Claudiusstraße die Bücherverbrennung, an der auch andere Studentenverbände, der neue Rektor und viele Professoren teilnahmen (ROESELING, 1999).

Unter Führung der Philosophischen Fakultät kam es nach 1945 zu einer Rückbesinnung auf die Ideale der alten Universität des 19. Jahrhunderts. In der Folge gewannen die naturwissenschaftlichen Fächer an Einfluß, zusätzlich wuchs auch die internationale Anerkennung der Universität zu Köln. In den 1990er Jahren sind es die Fachgebiete, „die sich mit der Welt der Rechner und ihrem Zauber ‚virtueller‘ Wirklichkeiten befassen“ (MEINCKE, 1998), die die Universität bis heute prägen.

Aktuelle Forschungsprojekte wie das Exzellenzcluster für Alternsforschung (Cologne Excellence Cluster on Cellular Stress Responses in Aging-Associated Diseases) oder der interdisziplinäre Sonderforschungsbereich zur Geoarchäologie bringen die heutige herausragende Stellung der Universität zu Köln zum Ausdruck. Als ein Standort der ABC-Region (Aachen, Bonn und Colonia) wurde auch Köln für exzellente Forschung ausgezeichnet. Darüber hinaus sind die Geowissenschaften der Region im Geoverbund ABC/J (Jülich) vernetzt, um die wissenschaftlichen Kompetenzen und Kapazitäten zu bündeln.

2.1.2 Die Universität heute – eine Raumbeschreibung

In der 600-jährigen Geschichte veränderte sich der Standort der Universität mehrmals. Zu Anfang war die Juristenschule in der Nähe des Doms. Noch heute erinnert der Straßename „An der Rechtschule“ an diesen Standort. Die Handelshochschule befand sich am Römerpark. Das

Gelände der Lindenburg ist seit Beginn des 20. Jahrhunderts zentraler Ort der medizinischen Fakultät (Klinikum Lindenburg). Der heutige, innerstädtische Campus zieht sich von dort nach Norden bis zur Aachener Straße und in Richtung Osten bis über den Inneren Grüngürtel hinweg. Das Gelände wird im Westen durch den Lindenthal- bzw. Stadtwaldgürtel und im Süden durch die Luxemburger Straße begrenzt (Abb. 2.1). Die zentralen Einrichtungen wie Universitätshauptgebäude, Hörsaalgebäude und die Universitäts- und Stadtbibliothek konzentrieren sich auf das Gebiet um den Albertus-Magnus-Platz.

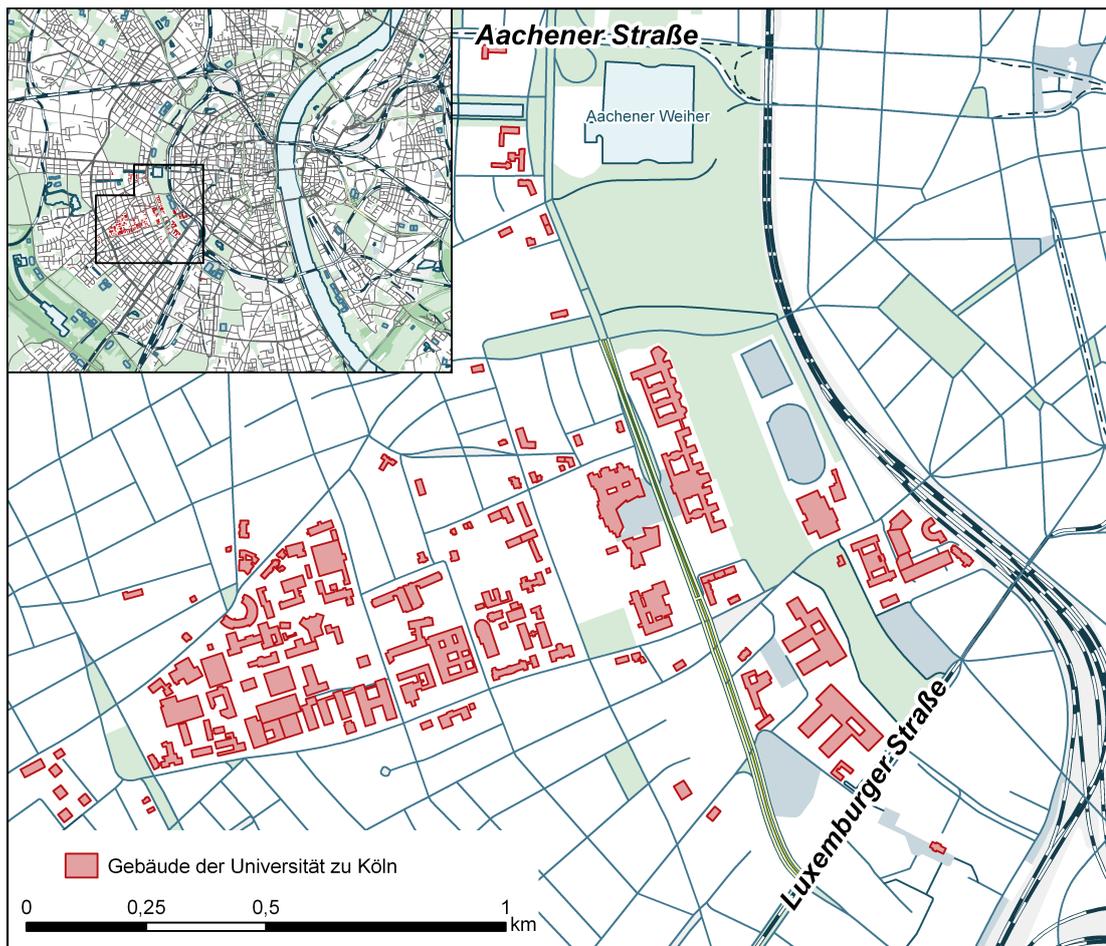


Abb. 2.1: Die Universität zu Köln im Stadtgebiet (eigene Darstellung auf Basis von ATKIS (LVerMA NRW, 2005))

2004 war die Universität zu Köln mit ca. 50 000 Studierenden und 5 000 Angestellten die größte Universität Deutschlands (UZK, 2004a). Derzeit (Wintersemester 2009/10) sind etwa 44 700 Studierende eingeschrieben (UZK, 2009b). Die Einrichtungen befinden sich in 134 universitätseigenen Gebäuden mit einer Hauptnutzfläche (HNF) von ca. 220 000 m². Zusätzlich sind Räume mit einer HNF von etwa 24 000 m² angemietet. Der derzeitige Flächenmehrbedarf wird auf ca. 40 000 m² geschätzt (UZK, 2009a). Für eine bessere Strukturierung des Campus, Synergien bei der Gebäudenutzung und eine verdichtete Nutzung mit kürzeren Wegen sieht das Dezer-

nat 5 – Gebäude- und Liegenschaftsmanagement – Handlungsbedarf für verschiedene Neu- und Umbaumaßnahmen (UZK, 2008b).

Als Bauten einer historisch gewachsenen Universität stammen die Gebäude aus verschiedenen Epochen und sind heute in unterschiedlichem baulichen Zustand. Immer wieder werden Gebäude komplett oder teilweise abgerissen, renoviert und auch neu gebaut. Von Neu- und Umbauten geprägt ist z. B. das Augustagelände zwischen Zülpicher Straße und Südbahnhof: der Südbau, in dem sich eigentlich Teile des Geographischen Instituts befinden, wird zur Zeit modernisiert und aufgestockt. Die Büros der Mitarbeiter und ein Seminarraum sind deswegen in einem Containergebäude untergebracht. Ein neues Zentrum für Biowissenschaften befindet sich in der letzten Bauphase. Der Bau eines neuen Seminargebäudes in direkter Nachbarschaft zum Hörsaalgebäude ist in Planung. Hauptgebäude und Philosophikum werden derzeit saniert. Die Masterplanung zur Strukturierung des Campus zeigt einen Überblick über die Bauprojekte und weist auch Grundstücke aus, die zur Erweiterung des Gebäudebestands zur Verfügung stehen (UZK, 2008b).

Mit dem Aufbau, der Einführung und der Installation eines Wegeleit- und Gebäudekennzeichnungssystems im Jahr 2001, mit denen die Orientierung im Bereich der Universität verbessert werden sollte, wurde eine einfache Systematik entwickelt, um die Gebäudenummern nach einem kodierten System in räumlich zusammenhängende Bereiche einzuteilen.

- 0 – westlicher Bereich (u. a. Medizin) – Nr. 1-99
- 1 – zentraler Bereich (um das Hauptgebäude) – Nr. 100-199
- 2 – nördlicher Bereich (u.a. Humanwissenschaften) – Nr. 200-299
- 3 – östlicher Bereich (u.a. Naturwissenschaften) – Nr. 300-399
- 4 – südlicher Bereich (u. a. Informatik) – Nr. 400-499
- 8 – entfernter Bereich – Nr. 800-899

Aus den Gebäudenummern lässt sich deren ungefähre Lage abschätzen (Abb. 2.2). Die Bereiche 0-4 bilden eine Fläche von etwa 2 km², auf der die meisten Gebäude zur Universität gehören.

Gebäude werden dann in Gebäudeteile mit eigenen Gebäudenummern aufgeteilt, wenn ihre Eingänge und damit die in den Gebäudeteilen untergebrachten Einrichtungen unterschiedliche postalische Adressen haben. Verfügt ein Gebäude über mehrere Eingänge aber nur eine Adresse, so erhält das Gebäude eine Nummer, die Eingänge werden aber zusätzlich alphabetisch gekennzeichnet. Dabei erhält der für Besucher relevante Eingang den Zusatz a (UZK, o. J. a).

Die Abschätzung der ungefähren Lage von Gebäuden nach ihren Gebäudenummern ist allerdings nur Personen möglich, die sowohl über die Nummerierung als auch die Aufteilung in Bereiche informiert sind. Das sind jedoch nur die Personen, die sich ohnehin auf dem Gelände auskennen. Auch die Unterteilung von Gebäuden in Trakte sowie die Buchstabenbezeichnungen für die Eingänge sind nicht nutzerfreundlich und keine gute Hilfe bei der Orientierung.

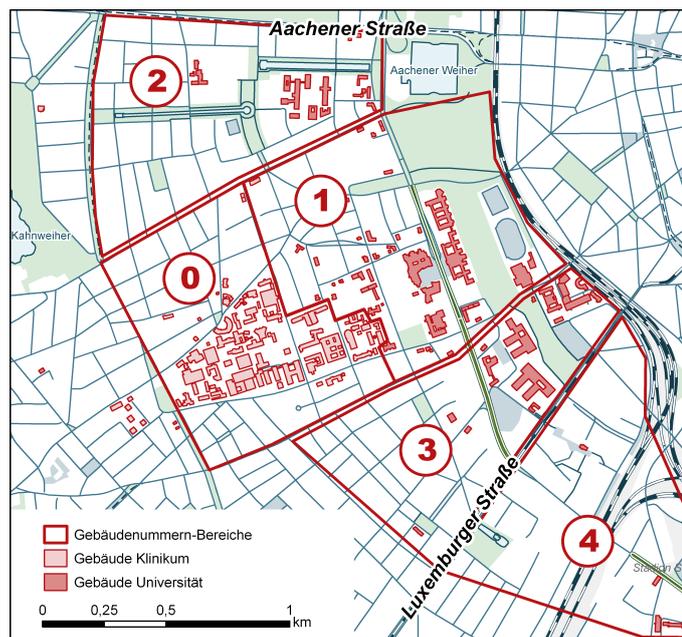


Abb. 2.2: Bereiche der Gebäudenummern (Entwurf: <http://www.uni-koeln.de/uni/plan/#standard> – Zugriffsdatum: 19.05.2010; eigene Darstellung auf Basis von ATKIS (LVerMA NRW, 2005))

Die Beschreibung von Räumen kann durch ein GIS unterstützt werden. Es dient der Visualisierung – auch im Internet – und der Analyse räumlicher Daten und Beziehungen. Die technischen Grundlagen dafür sollen im Folgenden erläutert werden, bevor in Kap. 2.7 konkret Bezug auf den Einsatz eines GIS im universitären Umfeld genommen wird.

2.2 GIS – Eine Einführung

Im Englischen steht GIS meist als Abkürzung für Geographic(al) Information System, während im deutschen Sprachgebrauch sowohl „Geographisches Informationssystem“ als auch die Kurzform „Geo-Informationssystem“ verwendet werden. Letztere soll eine von rein geographischen Fragestellungen abgekoppelte Sicht auch auf andere Einsatzgebiete mit räumlichem Bezug erlauben (vgl. TOMLINSON, 2007; MELNIKOV und MAXIMOV, 2008; BARTELME, 2005). Geographen bevorzugen oftmals die ausführliche Bezeichnung (vgl. ZIPF und STROBL, 2002; KAPPAS, 2001). Im Folgenden wird GIS als Synonym für beide Formen verwendet. Auch bei der Definition eines GIS setzen die Autoren verschiedener Fachrichtungen unterschiedliche Schwerpunkte. Eine mittlerweile schon klassische und oft zitierte Definition vergleicht ein GIS mit einem „leistungsstarken Werkzeugkasten zur Erfassung, Speicherung, Bereitstellung im Bedarfsfall, Transformation und Darstellung räumlicher Daten der realen Welt für spezielle Anwendungen“ (BURROUGH, 1994, S. 6).

Im deutschen Sprachraum weit verbreitet ist die Definition von BILL (1999a, S. 4):

„Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können räumliche Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.“

Die Entstehungsgeschichte der Geographischen Informationssysteme (GIS) ist eng an die der Informationstechnologie (IT) gekoppelt. Deren stufenweise Entwicklung ist abhängig von sogenannten „Killerapplikationen“, die jeweils einen Entwicklungsschritt kennzeichnen. Als solche können z. B. zunächst Programme für die Tabellenkalkulation, dann die Einführung der Personal Computer, das Internet und schließlich die drahtlose Kommunikationstechnologie angesehen werden. Google Earth markiert einen der jüngsten Entwicklungsschritte (KORDUAN und ZEHNER, 2008). Entsprechend der Fortschritte im IT-Bereich unterscheiden GRANELL et al. (2008a) Systeme aus drei Perioden: (I) monolithische Systeme, (II) das Arbeitsplatz-GIS und schließlich (III) die Modelle, bei denen die Geodaten verteilt vorliegen und über Internetservices in ein Informationssystem eingespeist werden.

In der Informatik werden Computersysteme nach ihrer Leistungsfähigkeit klassifiziert. In den Bereichen der Geoinformatik kommen insbesondere Systeme der Klassen Mikro- und Mini-computer zum Einsatz. Zu den Mikrocomputern sind die Personal Computer (PC) zu zählen. Die leistungsfähigeren Workstations gehören zur Kategorie der Minicomputer (vgl. DE LANGE, 2005). Auf deren Basis konnten in den 1980er und vor allem – bedingt und beschleunigt durch schnellere Prozessoren sowie größere und preisgünstigere Speicherkapazitäten – in den 1990er Jahren leistungsfähige GIS entwickelt werden.

BARTELME (2005) gliedert die Entwicklung der Wissenschaft Geoinformatik und der Anwendung von GIS in fünf sich teilweise überlappende Phasen, die sich vor allem durch unterschiedliche Nutzergruppen auszeichnen:

1955 – 1975: Zeit der Pioniere

1970 – 1985: Zeit der Behörden

1982 – 1990: Zeit der Firmen

seit 1988: Zeit der Nutzer

seit 1995: Zeit des offenen Marktes der Geoinformation

Seit etwa 1993 sind GIS und Internet stark miteinander verflochten. Das Internet ist zunehmend in die GIS-Nutzung integriert und hat sich als Lieferant von GIS-Anwendungen bewährt. Die Zeiten monolithischer Systeme und alleinstehender Arbeitsplatz-GIS sind größtenteils vorüber, so dass die jüngste historische Entwicklung als Zeit des Internet-GIS bezeichnet werden kann (LONGLEY et al., 2005). Mit dem Internet und der Kombination beider Technologien beschäftigen sich die folgenden Kapitel. Entsprechend der vorgenannten Definition von BILL (1999a) untergliedert sich dieses Kapitel jedoch zuvor nach den vier Hauptelementen eines GIS.

2.2.1 Hardware

Die Hardware eines Arbeitsplatzrechners (Desktop-PC) lässt sich in vier Hauptkomponenten einteilen (Abb. 2.3): Die **Zentraleinheit**, bestehend aus der Hauptplatine (Motherboard) mit Prozessor (CPU) und Arbeitsspeicher (RAM), verarbeitet die Daten. Zu den **Speichergeräten** werden z. B. die Festplatte, Disketten-, CD- und DVD-Laufwerke gezählt. Tastatur und Maus sind **Ein-**, Monitor und Drucker die zugehörigen **Ausgabegeräte**. Die Übergänge zwischen diesen Komponenten können fließend sein: Über berührungsempfindliche Bildschirme (touchscreens) lassen sich Daten sowohl ein- als auch ausgeben, CDs und DVDs sind sowohl Ein- und Ausgabe- als auch Speichergeräte. Die Daten werden über **Leiterbahnen** zwischen den elektronischen Bauelementen der Hauptplatine (interner Bus) bzw. zwischen der Hauptplatine und den angeschlossenen Geräten übertragen (externer Bus) (DE LANGE, 2005).

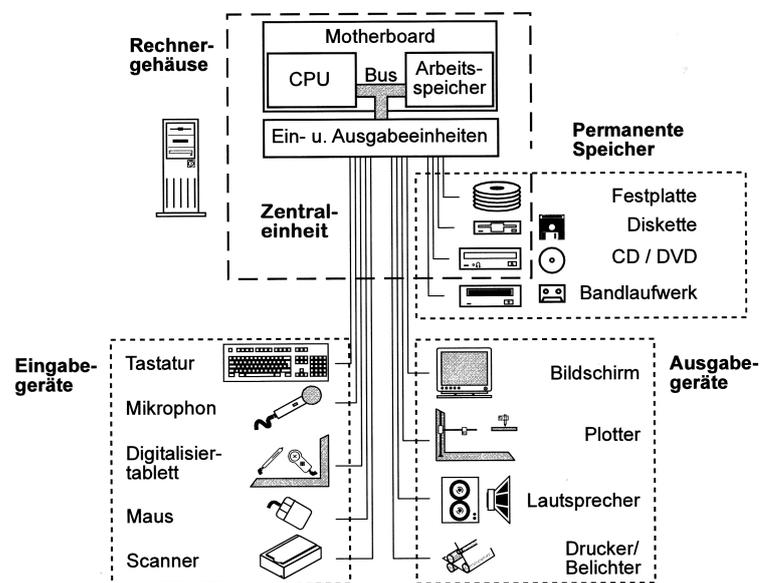


Abb. 2.3: Aufbau und ausgewählte Komponenten eines Computersystems (verändert nach DE LANGE, 2005)

GIS-spezifische Geräte zur Datenerfassung sind Scanner sowie aktive und passive Sensoren, Digitalisiertisch oder -tablett, Vermessungsgeräte wie GPS und elektronischer Tachymeter sowie photogrammetrische Auswertegeräte, vgl. Kap. 3.1. Da die Graphikverarbeitung einen wichtigen Bestandteil bei der Arbeit mit einem GIS ausmacht, muss das Computersystem eine hohe Rechenleistung sowie ausreichend Arbeits- und Festplattenspeicher bieten. Sie benötigt außerdem hochauflösende Bildschirme und Drucker oder Plotter als qualitativ hochwertige Ausgabegeräte (LINDER, 1999).

Die gesamten Hardware-Komponenten dienen einem GIS zur Erfassung, Speicherung, Bearbeitung und Präsentation raumbezogener Daten (BERNHARDSSEN, 2002). Über die Eingabegeräte bedient der Nutzer tippend, zeigend, klickend oder sprechend ein GIS. Am Bildschirm oder mittels Geräuschen werden Informationen ausgegeben. In jüngster Zeit liefern mobile Endgeräte wie Laptops, Notebooks und kleinere handliche Geräte wie PDAs, Smartphones und Han-

dys GIS-Funktionen über Netzwerke (Kap. 2.3 und 2.4) ortsunabhängig zum Nutzer (LONGLEY et al., 2005).

2.2.2 Software

In einem Computersystem ist zwischen zwei Arten von Software zu unterscheiden: Zur **System- und systemnahen Software** zählen insbesondere das Betriebssystem sowie alle Programme, die die Hardware-Komponenten steuern und zwischen diesen kommunizieren. Das sind z. B. Programme zur Verwaltung von Dateien, zum Formatieren von Datenträgern und die Gerätetreiber. Mit seiner graphischen Benutzeroberfläche fungiert das Betriebssystem als Schnittstelle zwischen Computersystem und Benutzer. Die **Anwendungssoftware** dient der Bearbeitung spezieller Aufgabenstellungen. Dazu zählen u. a. Textverarbeitung, Zeichen- und Buchhaltungsprogramme. Die Software, die sowohl für die Geometrie- und Topologiedaten als auch für Sachdaten die „vier funktionalen Komponenten“ Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation von Objekten mit Raumbezug, sogenannten **Geoobjekten**, beherrscht, wird wie das gesamte System als Geographisches Informationssystem (GIS) bezeichnet (BILL, 1999a). Zur Abgrenzung zwischen dem GIS als System und der Software, wird letztere im Folgenden GIS-Software genannt.

Die Aufgabe von GIS-Software ist es, „die Geoobjekte der realen Welt zu modellieren und in ein digitales Informationssystem abzubilden“ (DE LANGE, 2005, S. 323). Sowohl die graphische Benutzeroberfläche als auch das Vorgehen bei der Arbeit mit GIS-Software ist in der Regel stark kartenorientiert. So enthält jedes GIS ein Subsystem zur kartographischen Visualisierung (MACEACHREN und TAYLOR, 1994). Für die graphische Darstellung der raumbezogenen Daten, zunächst vor allem am Monitor, stehen verschiedene Funktionen zur Verfügung: das Kartenbild oder -ausschnitte können vergrößert, verkleinert und verschoben werden. Durch Selektion werden einzelne Geoobjekte hervorgehoben, thematische Informationsebenen können im Vordergrund angezeigt oder auch komplett ausgeblendet werden usw.

GIS-Software ist bezüglich ihrer Unterstützung der Datenformate Vektor und Raster zu unterscheiden. Die meisten GIS sind hybride Systeme, sie können sowohl Vektor- als auch Rasterdaten verarbeiten (vgl. BUHMANN und WIESEL, 2007). Die Verwaltung der Sachdaten übernimmt in einem GIS ein relationales Datenbankmanagementsystem (relational database management system, RDBMS), das entweder in die GIS-Software integriert ist oder parallel dazu nutzbar sein muss. Eine Datenbank, in der räumliche Daten gespeichert werden, wird als Geodatenbank (GDB) bezeichnet (Kap. 3.4.3).

2.2.3 Daten

Der wertvollste Bestandteil eines GIS sind die digitalen raumbezogenen Daten. In Form von Geoobjekten und diese beschreibenden Attributen bilden sie nicht nur die Grundlage einer Karte und damit der kartographischen Visualisierung, sondern auch jeglicher Abfrage, Berechnung und Analyse in einem GIS.

Geodaten sind nach BILL (1999a) und DE LANGE (2005) in vier Datentypen zu unterscheiden:

- Geometriedaten
- Topologiedaten
- Sachdaten
- Graphikdaten

Geometriedaten

Geometriedaten geben Auskunft über die Form und die relative Lage von Geoobjekten. Sie sind nach ihrem Datenmodell in Raster- und Vektordaten zu unterscheiden. Vektordaten bilden die Erscheinungen der realen Welt wie Verkehrswege und Gebäude als Geoobjekte ab. Rasterdaten dienen einerseits der digitalen Erfassung von Geoobjekten, andererseits werden sie zur Visualisierung eingesetzt (Kap. 3.2).

Bei **Rasterdaten** werden die Informationen als Grau- oder Farbwert von Bildpunkten (Pixel) gespeichert, die in einfacher Struktur in Reihen und Spalten angeordnet sind. Der Grau- oder Farbwert einer Zelle gibt den Mittelwert einer Messung an, das können z. B. die gemittelte Höhe der Erdoberfläche, Niederschlagsmengen, Schadstoffbelastungen oder Temperaturwerte sein.

Besondere Rasterdaten-Formate verfügen über eine Rasterdaten-Attributtabelle, die es erlaubt, über einen eindeutigen Objektidentifikator (OID: Object Identifier) für jede Zelle zusätzliche Informationen abzuspeichern. Ein Beispiel für dieses Datenformat ist das ESRI-Grid. In der Wertetabelle VAT (Value Attribute Table) werden neben der OID automatisch der Zellenwert (value) und die Anzahl der Zellen mit dem gleichen Wert gespeichert (count). Weitere Werte können ergänzt werden (ESRI, 2009g).

Die Qualität der Rasterdaten hängt von der Anzahl der Bildpunkte pro aufgenommener Fläche und damit von der Größe der Rasterzellen ab. Nur wenn zwei Zellen benachbart sind und daher über eine gemeinsame Kante oder eine gemeinsame Zellecke verfügen, können topologische Beziehungen im Rasterdatenmodell erkannt werden. Beispiele für Rasterdaten sind:

- digitale photogrammetrische Daten: Luftbilder
- Fernerkundungsdaten: Satellitenbilder, Radar- und Lidar-Daten
- gescannte Luftbilder, Karten oder Pläne
- Darstellungen von Messungen und Klassifizierungen (z. B. Höhenmodelle, Schadstoffbelastungskarten)

Das **Vektordatenmodell** unterscheidet zwischen punkt-, linien- und flächenförmigen Objekten. Zu jedem Punkt wird mindestens eine zwei- oder dreidimensionale Lagekoordinate gespeichert. Eine Linie entsteht durch eine Verbindung von zwei oder mehreren Punkten und verfügt über zwei Eigenschaften, die ein Punkt nicht hat: die Länge und die dazugehörige Richtung (CHRISMAN, 2008). Flächenförmige Objekte (Polygone) bestehen aus einem Linienstrang, dessen Start- und Endpunkt identisch ist. Vektordaten bilden die realen Geoobjekte durch die Speicherung der xy(z)-Koordinaten sehr genau ab. Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) und die Datengrundlagen von Navigationssystemen (z. B. NAVTEQ, Tele Atlas) sind Beispiele für Vektordatensätze. Auch CAD-Zeichnungen bestehen aus Vektordaten und können in ein GIS importiert und georeferenziert werden.

Topologiedaten

Topologiedaten geben Auskunft über die Lagebeziehung zwischen Geobjekten. Ein topologisches Modell basiert auf der mathematischen Graphentheorie und betrachtet Punkte als Knoten und Linien als Kanten (BERNHARDSSEN, 2002). Die Netzpläne des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) bilden in der Regel die Topologie des Bus- und Schienennetzes ab (Abb. 2.4): Haltestellen und Bahnhöfe erscheinen als Verkehrsknoten, die durch Kanten in unterschiedlichen Farben verbunden werden. Die Farben markieren die verschiedenen Bus- oder Bahn-Linien und zeigen so, welche Haltestellen von welchen Linien angefahren werden. Die Distanzen zwischen den Haltestellen geben keinen Aufschluss über die wahren Entfernungen. Diese Information kann nur durch Geometriedaten wiedergegeben werden.

Für die Modellierung eines Netzwerks stellt die Topologie (Kap. 3.5.3) eine Schlüsseltechnologie dar. Sie gibt Auskunft über die Nachbarschaften und Verbundenheit von Geobjekten und bildet so die Basis für Routing- und Navigationsanwendungen.

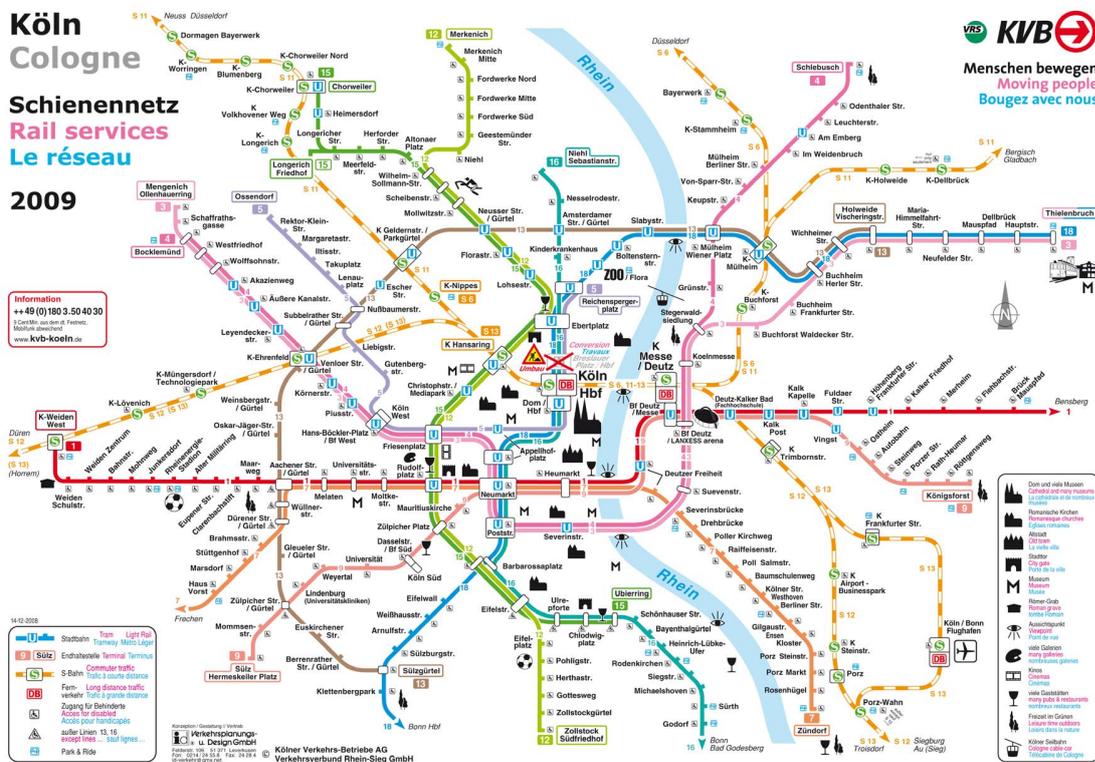


Abb. 2.4: Liniennetzplan Köln (<http://www.kvb-koeln.de> – Zugriffsdatum: 29.09.2009)

Sachdaten

Sachdaten, auch Attribute genannt, geben als quantitative und qualitative Beschreibungen die Eigenschaften raumbezogener Objekte wieder. Es sind nicht-geometrische Daten, die aber aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu Geoobjekten in einem GIS verarbeitet werden müssen (BURROUGH und MCDONNELL, 1998). Dafür werden sie in einer relationalen Datenbank gespeichert und verwaltet. Die Verknüpfung zwischen den Geoobjekten und ihren Attributen in der Datenbank wird dabei über ein eindeutiges Schlüsselattribut, den Objektidentifikator (OID; auch Feature Identifier: FID), realisiert (BILL, 1999a).

Die Kombination vorhandener Datensätze aus unterschiedlichen Quellen in einem Projekt kann Fehlerquellen bergen: Die Daten können sich in der Projektion, dem Maßstab, dem Generalisierungsgrad und der Beschreibung der Attribute unterscheiden. Der Nutzer muss sich vergewissern, dass die Bedeutungen der existierenden Datensätze mit den eigenen übereinstimmen (BURROUGH und MCDONNELL, 1998). Diese Informationen können den **Metadaten** entnommen werden, die ebenfalls in einer relationalen Datenbank abgebildet werden (MALCZEWSKI, 1999). Als eine spezielle Form von Sachdaten geben sie Auskunft über Herkunft, Aktualität und Qualität der Daten. Sie können aber auch Informationen über die räumliche Ausdehnung und das den Daten zugrunde liegende Bezugssystem sowie über die Art der Datenerfassung, der Bearbeitungen und Prozessierungen enthalten. Diese Zusatzinformationen werden in einem Meta-Informationssystem, das auch Bestandteil eines GIS oder des verknüpften Datenbankmanagementsystems sein kann, vorgehalten (BERNHARSEN, 2002).

Graphikdaten

Graphikdaten geben an, wie ein Geoobjekt dargestellt werden soll. Die Darstellung richtet sich nach der gegebenen Thematik und berücksichtigt auch die Art des Ausgabegeräts. Jegliche Eigenschaften der kartographischen Visualisierung (Kap. 3.6.3) können in den Graphikdaten definiert werden (BILL, 1999a). Das sind z. B. bei Vektordaten für

- Punktelemente
 - Größe
 - Farbe
 - Form
 - Symbole
- Linienelemente
 - Strichbreite
 - Strichfarbe
 - Strichgestaltung
- Flächenelemente
 - Flächenfüllung, Schraffur
 - Strichgestaltung der umrandenden Linie

Rastergraphiken beschreiben die graphische Ausgestaltung von Rasterdaten. Dabei kann nur angegeben werden, welche Pixelwerte durch welchen Grau- oder Farbwert repräsentiert werden.

Darüber hinaus gehende Angaben sind nicht möglich, weil die einzelnen Pixel einer Rasterdatei keine logischen Verbindungen untereinander aufweisen (BILL, 1999a).

Ebenfalls in den Graphikdaten wird die kartographische Visualisierung für Text festgelegt. Zu unterscheiden sind z. B.:

- Schriftart
- Schriftgröße
- Schriftauszeichnung
- Textfarbe
- Hintergrundfarbe
- Textpositionierung

2.2.4 Anwendung

GIS dienen der Erfassung (input), Verwaltung (management), Analyse (analysis) und Präsentation (presentation) (EVAP- oder IMAP-Prinzip) raumbezogener digitaler Datenbestände (Kap. 3). Die Kopplung der geometrischen Daten mit einer Sachdatenbank lässt vielfältige Abfrage- und Analysemöglichkeiten zu. Insbesondere auf kommunaler Ebene sollen, Schätzungen zufolge, 80% aller Daten einen Raumbezug besitzen (MÜLLER et al., 2007; TEEGE, 2001; HART und DOLBEAR, 2007). Dieser ist nicht zwingend durch explizite Koordinaten gegeben, es lassen sich stattdessen auch Adressen, Gemarkungsflächen u. ä. verwenden. So kann ein GIS Fragen nach dem Ort („Was befindet sich in/an...?“), der Lage („Wo findet man...?“), dem Trend („Was hat sich verändert seit...?“), der Gesetzmäßigkeit („Welche räumlichen Strukturen gibt es?“) und der Simulation („Was wäre, wenn...?“) beantworten (ESRI, 1992). Von den sich daraus ergebenden Einsatzbereichen soll hier eine Auswahl genannt werden (vgl. BARTELME, 2005):

- Raumordnung und Landesplanung
- Landesverteidigung, öffentliche Sicherheit und Katastrophenschutz
- Topographie
- (Liegenschafts-)Kataster, Kommunalplanung
- Statistik
- Landwirtschaft
- Verkehr und Transportwesen
- Versicherungswesen
- Sozialer Bereich und Gesundheit
- Geomarketing
- Routenberechnung und Navigation

MELNIKOV und MAXIMOV (2008) erweitern die zur Gliederung dieses Kapitels herangezogenen vier GIS-Komponenten zu fünf, in dem sie den Ausdruck „Anwendung“ in „Methoden“ und „Anwender“ differenzieren. Wenngleich sich Anwender aus den genannten Aufgabenbereichen erschließen lassen, scheint eine solche Trennung doch sinnvoll, denn erst durch konkrete Fragestellungen des Nutzers können die Daten mittels Verarbeitung und Analyse in einem GIS zu aussagekräftigen Informationen werden.

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen zum Thema GIS dargestellt. Das nächste Kapitel soll den Blick auf die Grundlagen des Internet lenken. Beide Kapitel stehen in Vorbereitung auf die revolutionäre Verbindung der beiden Technologien, das WebGIS.

2.3 Internet-Technologien

Anwendungen wie E-Commerce², E-Government³ und Online-Banking sowie mobile Informations- und Kommunikations-Technologien haben den Alltag, die Durchführung von Geschäften und die Art der sowohl geschäftlichen als auch privaten Kommunikation in den letzten Jahren stark verändert (LONGLEY et al., 2005). Die Basis dafür ist das als **Internet** bekannte International Network, ein weltumspannendes Computernetz, das dem Datenaustausch dient. Das Internet gewann insbesondere durch das **World Wide Web (WWW)**, aufgrund der Nutzerfreundlichkeit an Ansehen. Auch GIS-Anwendungen nutzen die Möglichkeiten dieser schnellen Kommunikation, um digitale raumbezogene Daten netzwerkbasiert auszutauschen (Kap. 2.4).

In **Hypertext Markup Language (HTML)** geschriebene und mit Hyperlinks versehene Webseiten können von einem **Webserver** abgerufen und beim Nutzer im **Webbrowser** angezeigt werden (BURROUGH und MCDONNELL, 1998). Die Hyperlinks sind Verknüpfungen auf andere Seiten innerhalb des WWW. Das WWW lässt sich als verteiltes System in mehrere Schichten (Tier) aufteilen. Die grundlegende Architektur bildet dabei die in Kap. 2.3.1 beschriebene Client-Server-Struktur, die als **Zweischichtenmodell** (two-tier-model) bezeichnet wird, wenn sie aus einem Client und einem Server besteht, oder als **Mehrschichtenmodell** (multi-tier-model), wenn die Anfragen des Client in mehrschichtigen Anwendungen von mehreren Servern bedient werden (KORDUAN und ZEHNER, 2008). Alle über ein Netzwerk verbundenen Komponenten wie Client und Server aber auch der Nutzer und angeschlossene Geräte kommunizieren über einheitliche Schnittstellen miteinander (Kap. 2.3.2). Die Netzwerkkomponenten sind nicht zwingend ständig und physisch miteinander verbunden, vielmehr beruht die Vernetzung auf vereinbarten, einheitlichen Kommunikationsformen (Kap. 2.3.3). Webservices, thematisiert in Kap. 2.3.4, ermöglichen die Kommunikation und Kopplung verschiedener webgestützter Anwendungsprogramme auf Grundlage der einheitlichen Schnittstellen und definierten Standards.

Nach außen abgeschirmte Netzwerke, die entweder mit dem Internet gar nicht in Verbindung stehen oder durch ein Zugangsschutzsystem (firewall) davon abgetrennt sind, und die nur ausgewählten Nutzerkreisen den Zugriff gestatten, werden als **Intranet** bezeichnet. Sie dienen dem Datenaustausch innerhalb von Firmen, Behörden und Institutionen und sollen unternehmenssensible Daten vor dem Zugriff Unauthorisierter schützen (DE LANGE, 2005).

² elektronischer Handel

³ elektronisches Regieren: Bereitstellung von Dienstleistungen der Bundesbehörden über das Internet

2.3.1 Client-Server-Architektur

Die wichtigste moderne Verteilungsform für Daten und Dienstleistungen beruht auf einer Client-Server-Architektur (Abb. 2.5) und dem heterogene Systeme verbindenden TCP/IP-Netzwerkprotokoll. Als **Client** sind die Rechner im Netzwerk zu bezeichnen, die Daten und Dienstleistungen anfragen, sie übernehmen die aktive Rolle in der Kommunikation. **Server** sind die in der Regel leistungsfähigeren Rechner, die passiv, d. h. erst auf Anfrage des Client Daten und Dienstleistungen anbieten (BRABEC und SAMET, 2007). Client und Server werden in den folgenden Abschnitten eingehender betrachtet. Bei der Übertragung zerlegt das Internet Protocol (IP) die zu sendenden Daten in kleine Teilmengen, sogenannte Informationspakete, und ist für ihre Adressierung verantwortlich. Das Transmission Control Protocol (TCP) überprüft die korrekte Reihenfolge des Empfangs der Informationspakete am Bestimmungsort (DE LANGE, 2005). Der TCP/IP-Stapel (TCP/IP-stack) hat sich als defacto-Standard weltweit etabliert. Die client- und serverseitigen Anwendungsprogramme, die TCP/IP nutzen, sind die Kommunikationspartner im Netz und müssen sich über die Verwendung der jeweils empfangenen Daten untereinander abstimmen. Zur Kommunikation zwischen Client bzw. Server und der dazwischengeschalteten Transportsoftware werden Programmierschnittstellen (Application Programming Interface: API) benötigt (Kap. 2.3.2), die die zur Ausführung aller Operationen relevanten Datenstrukturen zur Verfügung stellen (MEINEL und SACK, 2004).

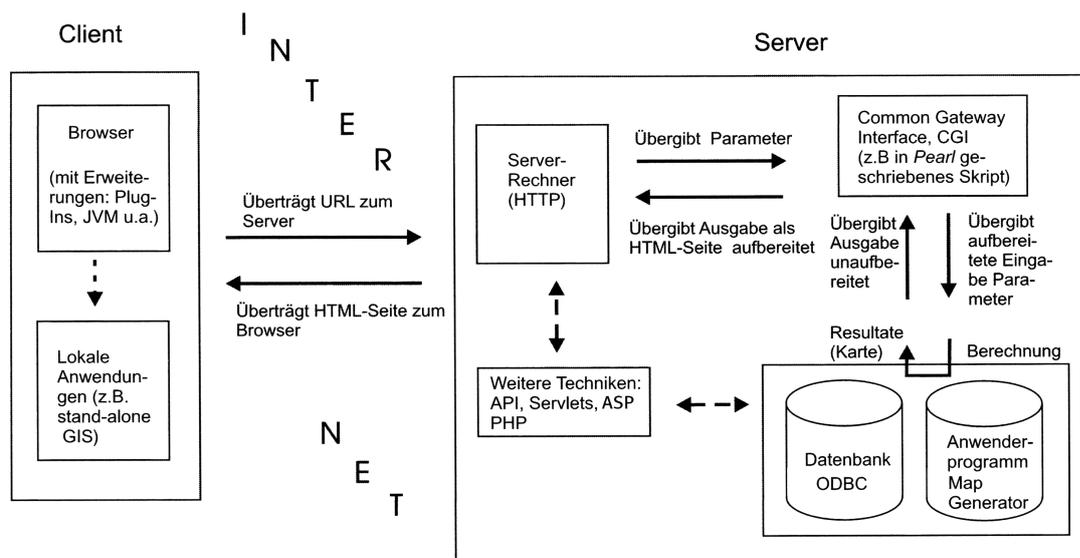


Abb. 2.5: Client-Server-Architektur (DICKMANN, 2001)

Client

Programme oder auch komplette Rechner, die in einem Netzwerk als Dienstleistungs-Empfänger erscheinen, werden als Client bezeichnet. Entsprechend der Aufgabenverteilung zwischen Client und Server sind nach KORDUAN und ZEHNER (2008) zu unterscheiden:

Null-Client Der Null-Client stellt nur eine Graphik, z. B. eine Karte, dar und nimmt Tastatureingaben und Mausbewegungen auf, um sie zur weiteren Verarbeitung an den Server zu senden.

Thin-Client Thin-Clients, z. B. Standard-HTML-Viewer von Mapservern, benutzen zur Verwaltung der Benutzeroberfläche eigene Ressourcen, alle weiteren Anwendungen werden auf dem Server ausgeführt.

Applet-Client Der Applet-Client verfügt über eine Applikationslogik, d. h. kleinere Programmteile werden auf dem Dienste-anfragenden Rechner selbst ausgeführt. Typische Beispiele im Bereich des WebGIS sind JavaScript-Anwendungen und die leistungsfähigeren Java-Applets. Beim Einsatz von AJAX verlagern allerdings auch die JavaScript-Anwendungen vermehrt die Rechenleistung wieder zurück auf den Server, s. S. 27.

Fat-Client Ein Fat-Client nutzt zur Datenverarbeitung seine eigenen Ressourcen wie Festplatte und Arbeitsspeicher. Einzig das Datenmanagement bzw. die Datenspeicherung sind auf den Server ausgelagert. Beispiele für Fat-Clients sind eigenständige WebGIS-Anwendungen, die oftmals nicht einmal mehr einen Browser benötigen.

Die wohl bekannteste Client-Software ist der Webbrowser, der WWW-Seiten darstellt. Grundlegend für die Anzeige von Inhalten sind dabei das Transferprotokoll HTTP sowie die Auszeichnungssprache HTML (Kap. 2.3.3). Durch in die HTML-Seite eingebundene Programme oder Programmteile kann der Funktionsumfang der Website erweitert werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen sogenannten Plug-Ins, die auf dem anfragenden Client installiert werden müssen und so auch für andere Anwendungen zur Verfügung stehen, und Applets und Scripten, die für jede Anfrage stets neu geladen werden müssen und beim Aufruf einer anderen Website automatisch aus dem Client-Speicher gelöscht werden (DICKMANN, 2001). Im Folgenden wird eine Auswahl clientseitiger Anwendungen detailliert beschrieben:

JavaScript ECMAScript, die standardisierte Form des im folgenden synonym verwendeten, weil besser bekannten JavaScript, wird inzwischen von jedem Webbrowser unterstützt. Für eine korrekte Umsetzung der JavaScripte muss das zugrunde liegende HTML-Dokument nach dem Document Object Model (DOM), vgl. S. 31, aufgebaut sein (WENZ, 2007). JavaScript wird in Skriptblöcken, begrenzt durch den `<script>`-tag⁴ in den HTML-Code eingebaut oder von dort als externe Datei mit der Endung `*.js` aufgerufen. Es ermöglicht clientseitige Interaktion und die Darstellung dynamischer Inhalte auf einer Website. Wie auch der HTML-Code wird JavaScript vom Browser interpretiert, so dass JavaScript-Anweisungen ohne weiteren Kontakt zum Server ausgeführt werden können (BILL et al., 2001–2008). Die clientseitige Skriptsprache wurde anfangs aufgrund befürchteter Sicherheitsrisiken und der unterschiedlichen Unterstützung durch die Webbrowser stark skeptisch angenommen, setzte sich aber insbesondere mit dem Aufkommen von AJAX, s. u., immer mehr durch. Gegenüber der namensverwandten Programmiersprache Java verfügt JavaScript über weniger Möglichkeiten der dynamischen Interaktion. Außerdem kommt es ohne zusätzliches Laden einer Laufzeitumgebung aus (KORDUAN und ZEHNER, 2008),

⁴ Ein *tag* ist eine Markierung, mit der im HTML-Code einzelnen Textabschnitten ihre Funktion zugewiesen werden; sie werden z. B. mit `<h1>`-`<h6>` als Überschriften oder mit `<p>` als normaler Fließtext gekennzeichnet.

wird stattdessen allerdings erst zur Laufzeit interpretiert (DE LANGE, 2005). Eine typische JavaScript-Anwendung ist der sogenannte Mouse-over-Effekt, durch den z. B. Text auf einer Karte dynamisch angezeigt wird, wenn sich der Mauszeiger über dafür vorgesehene Bereiche bewegt (DICKMANN, 2001).

AJAX Die Kombination verschiedener Webtechnologien, die es ermöglichen, auch Seiteninhalte mächtiger Webapplikationen interaktiv, funktional und nutzerfreundlich darzustellen (NÄSLUND, 2007), wird mit der Kurzform AJAX für **Asynchronous JavaScript and XML** bezeichnet. Weil Client und Server asynchron miteinander kommunizieren, können neue Informationen auf einer Webseite angezeigt und aktualisiert werden, ohne dass die komplette Seite neu geladen werden muss; dies verbessert die Webservice-Leistungen (performance) (WICK und BECKER, 2007; PETERSON, 2008). Die Methode beruht hauptsächlich auf Fortschritten in der JavaScript-Entwicklung. Im Gegensatz zu traditionellen Webanwendungen, bei denen der Nutzer nach dem Senden einer HTTP-Anfrage die Verarbeitung auf dem Server und das Zurücksenden einer neu generierten Webseite abwarten muss, agiert AJAX unabhängig und asynchron zwischen Browser und Server im Hintergrund der Client-Oberfläche (Abb. 2.6). Dabei sendet ein XMLHttpRequest-Objekt HTTP-Anfragen an den Server und überträgt die Antworten in XML, die in das DOM der Website eingebunden werden (GARRETT, 2005a). Nach GARRETT (2005a) berücksichtigt AJAX

- eine Standard-basierte Präsentation durch die Nutzung von XHTML und CSS,
- die dynamische Anzeige und Interaktion durch die Verwendung des Document Object Models,
- den Datenaustausch und Bearbeitung mittels XML und XSLT,
- den asynchronen Datenaustausch über XMLHttpRequest sowie
- JavaScript, das alles miteinander verbindet.

Das wohl bekannteste Beispiel einer AJAX-Anwendung ist Google Suggest⁵, die Funktion der Suchmaschine Google, die schon während der Eingabe des Nutzers entsprechend der Zeichenkombination mögliche Suchbegriffe vorschlägt. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Beispiele AJAX-basierter Web-Anwendungen wie Textverarbeitung, Bildbearbeitung und Tabellenkalkulationen (WENZ, 2007). Auch die Anzeige räumlicher Daten wird mit den Konzepten des AJAX-Ansatzes komfortabler: Stellt ein Webbrowser Geowebsservices zur Verfügung, kann er als Geobrowser bezeichnet werden. In Verknüpfung mit den Interaktionsmöglichkeiten des Web 2.0 lässt sich das GeoWeb 2.0 benennen (KRALIDIS, 2007). Auch hier gilt Google als Vorreiter: Das Zoomen und Verschieben der Karten in Google Maps geschieht augenblicklich, ohne dass der Nutzer auf ein Neuladen der Seite warten muss.

Plug-Ins Plug-Ins sind kleine Programmeinheiten, die den Webbrowser zur Verarbeitung weiterer Dateiformate befähigen. Ist ein Plug-In für die korrekte Anzeige einer Website notwendig, wird der Nutzer aufgefordert, dem Herunterladen und der Installation des Plug-Ins zuzustimmen. Nach der Installation verbleiben Plug-Ins auf dem Client und stehen so

⁵ <http://www.google.de>

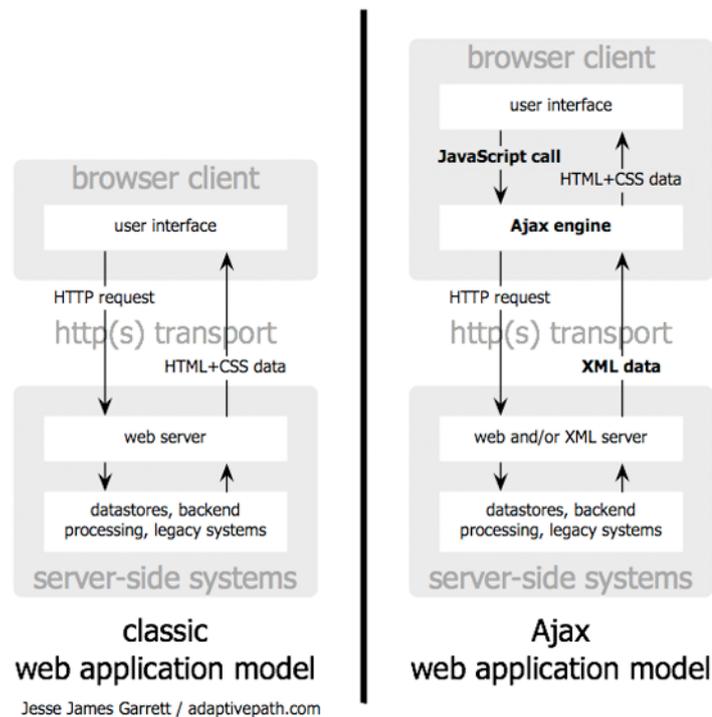


Abb. 2.6: Das traditionelle Modell einer Webapplikation (links) im Vergleich zum AJAX-Modell (GARRETT, 2005a)

auch für weitere Anwendungen zur Verfügung. Ein weit verbreitetes Plug-In ist der Adobe Acrobat Reader, der die Anzeige von PDF-Dokumenten ermöglicht. Für die Darstellung von Animationen sowie Vektorgraphiken und damit auch für interaktive Karten werden oftmals der Adobe (früher Macromedia) Flash-Player oder Apple Quicktime benötigt (NEUMANN, 2008). Java-Anwendungen können auf dem Client mithilfe eines Java-Plug-Ins ausgeführt werden, wenn sie nicht eigens als Java-Applet geladen werden (DE LANGE, 2005; NEUMANN, 2008).

Java-Applets Java ist eine von Sun Microsystems entwickelte, objektorientierte Programmiersprache. Java-Applikationen werden zunächst plattformunabhängig kompiliert⁶. Erst zur Ausführung werden sie dann in einer plattformabhängigen Laufzeitumgebung, der Java Virtual Maschine (JVM), entsprechend der Zielplattform übersetzt, was sie in der Client-Server-Umgebung mit vielen unterschiedlichen Betriebssystemen variabel einsetzbar und, laut BRABEC und SAMET (2007, S. 57), für den Einsatz im Internet zur „Plattform der Wahl“ macht. Seit 1995 werden Java-Applikationen in Webbrowsern zur Erweiterung der Funktionen von HTML-Seiten wie z. B. für interaktive Animationen eingesetzt. Oftmals sind Java-Applikationen auch eigenständige Programme, die auch außerhalb von Websites laufen. Java-Programme bestehen aus sogenannten Klassendateien mit der Dateierweiterung *.class, durch die reale Objekte in Softwareobjekten mit eigenen Eigenschaften

⁶ to compile/kompilieren: Umsetzen des von einem Programmierer geschriebenen Quellcodes in eine vom Computer weiterverarbeitbare Sprache

und Methoden abgebildet werden. Zur Programmierung von Java-Applikationen wird das Java Developer Kit (JDK) benötigt, das neben einer Entwicklungsumgebung mit Compiler, Debugger und Laufzeitumgebung auch Klassenbibliotheken wie die Java API mit vorhandenen und dokumentierten Klassen enthält. Um die vielfältigen Funktionen eines Desktop-GIS in WebGIS-Applikationen einzubinden, existieren schon eine Vielzahl frei verfügbarer Klassen, so dass diese mittlerweile nur für außergewöhnliche Anwendungen neu geschrieben werden müssen (DICKMANN, 2001; KORDUAN und ZEHNER, 2008).

Neben diversen weiteren Java-Modulen sind Java-Applets und -Servlets zu unterscheiden: Applets sind die Java-Programme, die für den Einsatz im Internet entwickelt wurden und im Browser des Client laufen (SELFHTML e. V., 2007d); sie werden im Folgenden dargestellt. Servlets sind die serverseitigen Pendanten zu Applets: Server-Komponenten, die auf Anfragen der Clients warten, diese bearbeiten und beantworten, s. S. 30.

Weil der Java-Quellcode extrem kompakt ist und so gut über das Internet übertragen werden kann und aufgrund der genannten Plattformunabhängigkeit erlangte Java eine besondere Bedeutung für Internetanwendungen. Java-Applets, spezielle Umgebungen, die Ressourcen des Clientensystems wie z. B. die Festplatte vor Zugriffen eines Java-Programms schützen, werden komplett in den Zwischenspeicher (cache) des Webbrowsers kopiert. Die Ausführung des Programms erfolgt vollständig auf dem Client. Dabei werden Java-Klassen über das HTML-tag `<applet>` oder nach dem aktuelleren HTML 4.0-Standard auch über `<object>` aufgerufen. Zur Ausführung der Applets wird die Laufzeitumgebung Java Runtime Environment (JRE), die sich aus einer JVM mit integriertem Interpreter zur Umsetzung des generischen Bytecodes in Maschinensprache und einer Programmierschnittstelle (API) zusammensetzt, benötigt. Auf dem Web-Server befinden sich die benötigten Klassen-Bibliotheken in den sogenannten Java-Archiven (`*.jar`), die HTML-Dokumente und bei Geoweb-Anwendungen die Geodaten. Anstelle der Nutzung des JRE werden mittlerweile oft Java-Plug-Ins eingesetzt. Eine Alternative zu Java wäre die – allerdings plattformabhängige – ActiveX-Technologie von Microsoft (KORDUAN und ZEHNER, 2008; DE LANGE, 2005; DICKMANN, 2001).

Server

Server sind eine Kombination aus Hard- und Software, die ihre Ressourcen anderen Komponenten im Netzwerk zur Verfügung stellt. Sie warten passiv auf Anfragen der Clients, denen sie in parallelen, bei Bedarf dynamisch erzeugten Instanzen auch mehrere verschiedene Dienste anbieten. Damit die Clients bestimmte Dienstleistungen der Server direkt ansprechen können, werden die Server-Anwendungen mithilfe von sogenannten Ports mit den dazu gehörigen eindeutigen Portnummern über die Transportprotokolle adressiert. Jede Client-Anfrage wird vom Server in einem eigenen Prozess (task, thread) abgearbeitet. Neben diesen aktiven Prozessen läuft zusätzlich permanent ein Prozess im Hintergrund, der auf ankommende Client-Anfragen wartet (MEINEL und SACK, 2004). Über eine HTTP-Anfrage werden im einfachsten Fall statische Dateien wie HTML-Seiten oder Graphiken aufgerufen. Ein Webserver ist aber auch in der Lage, Anfra-

gen an dynamische Quellen wie CGI-Applikationen⁷ weiterzuleiten oder serverseitige Skripte direkt auszuführen (NEUMANN, 2008). Die für viele verschiedene Betriebssystem-Plattformen, darunter auch Windows, UNIX, Linux und Mac OS X, verfügbare Software Apache stellt mit mindestens 70% aller Implementationen den bedeutendsten Webserver dar, u. a. gefolgt vom Microsoft Internet Information Server (PETERSON, 2008; NEUMANN, 2008).

Java-Servlet Java-Servlets, z. B. Enterprise Java Beans, sind kleine, in Laufzeitumgebungen eingekapselte Javaanwendungen, die auf Servern laufen und von diesen bei Bedarf zur Bearbeitung von Clientanfragen angestoßen werden. Sie sind in Web Container eingebunden, die neben den Java-Servlets auch statische HTML-Seiten und Java Server Pages (JSP) enthalten können. Über diese Web Container findet die Client-Server-Kommunikation statt, bei der der Web Container anhand der URL⁸ erkennt, welche Art von Dokument der Client anfordert. Nach dem Aufruf eines Servlets werden aus den vom Client gelieferten Parametern Objekte einer Klasse erzeugt und anschließend das Ergebnis per HTTP an den Client geliefert. Ein bekannter und oft benutzter Web Container ist der Apache Tomcat, der aus Java aufgebaut ist, die Java-Servlet-Spezifikation 2.4 und Java Server Pages 2.0 unterstützt und außerdem auch einen HTTP-Server enthält (KORDUAN und ZEHNER, 2008).

Serverseitige Skriptsprachen PHP und JSP, die im Folgenden exemplarisch erläutert werden sollen, sind zusammen mit ASP, den Active Server Pages von Microsoft, die am weitesten verbreiteten serverseitigen Skriptsprachen bei Web-Anwendungen. Der Quellcode der Skripte wird in der Regel in eine HTML-Datei eingebettet, die dann eine Dateiendung entsprechend der verwendeten Skriptsprache (z. B. *.php oder *.jsp) erhält. Da die Skripte vom Client aus auf dem Webserver aufgerufen, dort zur Laufzeit interpretiert werden und sowohl vom Client gesendete Variablen als auch Datenbank- oder Dateieinträge vom Server beinhalten können, ist es möglich, dynamisch veränderte Inhalte an den Client zurück zu liefern (KORDUAN und ZEHNER, 2008). **PHP**, das als rekursives Akronym für PHP Hypertext Preprocessor, ursprünglich auch als Abkürzung für Personal Homepage steht, gilt als eine der schnellsten Skriptsprachen (HUDSON, 2006) und soll den Webentwickler befähigen, „schnell dynamisch generierte Webseiten zu erzeugen“ (BAKKEN et al., 2002). Nach Anfrage des Client sendet der Webserver PHP-Dateien an einen PHP-Interpreter, der den Code ausführt und die angefragten Informationen an den Client zurückgibt (HUDSON, 2006). Insbesondere in der Kombination PHP/MySQL ist PHP als Skriptsprache zur Kommunikation mit Datenbanken sehr bekannt und vielfach im Einsatz. Ähnliche Anwendungen wie PHP finden **JSP**, die Java Server Pages. Sie werden

⁷ CGI – Common Gateway Interface: Die Allgemeine Vermittlungsrechner-Schnittstelle stellt sich als eine in der Umgebung und mit den Nutzerrechten des Webservers laufende ausführbare Applikation dar, die in jeder kompilierbaren Programmier- oder Skriptsprache geschrieben sein kann. Sie bildet die Schnittstelle zwischen Webapplikationen und anderen Programmen und erlaubt die Generierung dynamischer Webseiten. CGI-Applikationen werden vom Client aufgerufen, werten dessen Anfrage aus, leiten sie an das zuständige Anwenderprogramm weiter und geben die Ergebnisse schließlich in einem Web-fähigen Format zurück an den Client (DE LANGE, 2005; NEUMANN, 2008). Mithilfe eines CGI-Skripts werden z. B. Daten aus einer Datenbank ausgelesen und dargestellt, die bei Programmierung der Website noch nicht bekannt waren (BILL et al., 2001–2008).

⁸ URL – Uniform Resource Locator: Adresse einer Website, die über einen Browser aufgerufen werden kann

ebenfalls vom Webserver interpretiert und ausgeführt, um dem Thin-Client dynamische Inhalte auszugeben (SELFHTML e. V., 2007e).

2.3.2 Schnittstellen

Der Begriff Schnittstelle (interface) bezeichnet, wie in gängigen Lexika angegeben, die Verbindungsstelle zwischen verschiedenen Komponenten eines Computersystems oder zwischen Anwender und Computer, über die Daten oder Informationen ausgetauscht werden. Entsprechend der Definition von BILL (1999a) (Kap. 2.2), sind im GIS-Kontext folgende Schnittstellen anzutreffen (vgl. BILL et al., 2001–2008):

- Hardwareseitig: Verbindung zwischen Peripheriegeräten und Zentraleinheit,
- Softwareseitig: Definition von Programmierschnittstellen,
- Daten: Definition der Austauschformate zwischen verschiedenen Datenbanken und GIS-Produkten (Kap. 2.3.4),
- Anwendung: Schnittstelle zwischen Benutzer und Programmen; diese Schnittstelle wird auch **Benutzerschnittstelle** oder **Mensch-Maschine-Schnittstelle** (man-machine- oder human-machine-interface) genannt. Das Betriebssystem eines Computers fungiert als Benutzerschnittstelle, je nach System ist es Kommandozeilen-basiert oder verfügt über eine **Graphische Benutzeroberfläche** (Graphical User Interface: GUI), die den Nutzer mithilfe von Dokumentenfenstern, Dialogboxen, Steuerelementen und ähnlichem in seiner Arbeit unterstützen (DE LANGE, 2005).

An der Nahtstelle zwischen Softwaresystem und anderen Programmen steht die **Programmierschnittstelle** (Application Programming Interface: API), die durch eine Anbindung der Programme an das System „ermöglicht, im Server Anwendungsfunktionen einzubetten“ (BILL, 1999b, S. 366). Über APIs von Google, Microsoft, Multimaps oder Via Michelin sind so z. B. Web-basierte Karten erhältlich. Eine Evaluierung dieser vier JavaScript-basierenden APIs nimmt NÄSLUND (2007) vor. Idealerweise sollten diese APIs den W3C- und OGC-Standards genügen, in der Realität sind sie jedoch meist proprietär⁹ (NEUMANN, 2008). Im Zusammenhang mit WebGIS-Anwendungen sind demnach allgemein gebräuchliche Web-Schnittstellen sowie OGC-konforme Schnittstellen für einen Austausch räumlicher Daten von Bedeutung.

Den Transfer beliebiger Datenformate über HTTP erlaubt die API **XMLHttpRequest**, die als Objekt ein Grundbestandteil von AJAX ist (Kap. 2.3.1). Im Zusammenhang mit AJAX gewinnt das **Document Object Model** (DOM) zunehmend an Bedeutung, eine vom W3C veröffentlichte Spezifikation, die vorgibt wie HTML-Dokumente zu erstellen sind, damit mit JavaScript darauf zugegriffen werden kann (WENZ, 2007).

PHP eignet sich zum Ansprechen einer Vielzahl von Datenbanken. Dafür sind im PHP-Programmpaket allgemeine Datenbank-Schnittstellen implementiert. Keine andere Skriptsprache bietet derzeit dafür solch umfangreiche Funktionen. Mithilfe von PHP können Datensätze in einer Tabelle sowohl erzeugt als auch bearbeitet werden. Die Verbindung von PHP zu einem MySQL-Server lässt sich z. B. über den Funktionsaufruf `mysql_connect()`; aus dem Da-

⁹ proprietär: an die Herstellersoftware gebunden

tenbank-Schnittstellen-Skript `db_connect.php` herstellen. Nach erfolgter Serververbindung kann auf die Datenbank gewechselt werden, um dort SQL-Anweisungen auszuführen. Zum Abschluss der Kommunikation wird die Verbindung zum Server beendet.

2.3.3 Standards

Das WWW dient in vielen GIS als verbindende Komponente, die den Austausch verteilt vorliegender Daten ermöglicht. Sie sind insbesondere auch die Basis der in Kap. 2.4 dargestellten WebGIS-Anwendungen (KORDUAN und ZEHNER, 2008). Daher soll im Folgenden ein grober Überblick über die Standards der wichtigsten Web-Technologien gegeben werden. Die Standards zum Datenaustausch im Internet werden vom World Wide Web Consortium¹⁰ (W3C) definiert. Das W3C ist ein Zusammenschluss von derzeit 342 Mitgliedern (Stand 04. Nov. 2009) aus Universitäten, Behörden, Firmen und Privatpersonen verschiedener Staaten. Ziel des W3C ist es Webstandards zu entwickeln, um das gesamte Potential des Webs auszuschöpfen.

1989 von Tim Berners-Lee, heute auch Leiter des W3C, und Robert Cailliau als ein „einfaches über das Internet verfügbares Dokumentenaustausch- und Verwaltungssystem“ (MEINEL und SACK, 2004, S. 13) entworfen, gilt das WWW heute als der wichtigste Informationsdienst im Internet. Das WWW setzt sich aus einer Vielzahl von Websites zusammen. Eine Website ist der – auch optisch erkennbare – zusammenhängende und in der Regel unter einer Domain¹¹ abgelegte Web-Auftritt einer Person, eines Unternehmens oder einer Organisation. Das zu Website oft synonym verwendete Wort Homepage bezeichnet dagegen nur die Startseite des Web-Auftritts. Neben der Homepage verfügt eine Website in der Regel über mehrere untereinander durch Hyperlinks verknüpfte Seiten, die einzelnen Webseiten. Das WWW ist eine graphische Benutzerschnittstelle, die auf der von Berners-Lee entwickelten **Hypertext Markup Language (HTML)** basiert. Diese Auszeichnungssprache dient der Strukturierung von Texten und multimedialen Inhalten und deren Darstellung im Webbrowser. Ihre wichtigste Eigenschaft jedoch ist die Verknüpfung beliebig vieler Dokumente und Dateien durch als **Hyperlinks** bezeichnete Querverweise, die das „Bewegen zwischen räumlich weit entfernten Rechnern (...) auf einen Mausklick“ (SELFHTML e. V., 2007a) reduzieren. HTML benötigt, weil es ein sogenanntes Klartextformat ist, kein bestimmtes Software-Produkt, sondern kann als reine Textdatei erstellt und abgespeichert werden. Das W3C definiert in der zur Zeit gültigen HTML 4.01 Spezifikation¹² aus dem Jahr 1999, wie bestimmte Standardelemente, z. B. Überschriften, Textabsätze und eingebundene Graphiken, auszuzeichnen sind, damit sie von den Webbrowsern korrekt interpretiert und dargestellt werden. Diese Spezifikation regelt außerdem das Einbinden von Skriptsprachen wie JavaScript und von **Cascading Style Sheets (CSS)**. CSS ergänzen HTML durch Formate, die die Darstellung von HTML-Elementen genauer definieren. Sie geben also z. B. an, in welcher Farbe und Größe die im HTML ausgezeichneten Textpassagen und Überschriften darzustellen sind (SELFHTML e. V., 2007b). Derzeit gültig ist die Spezifikation CSS2¹³ aus dem

¹⁰ <http://www.w3.org> – Zugriffsdatum: 03.2009

¹¹ eindeutige Adresse im Internet

¹² <http://www.w3.org/TR/1999/REC-html401-19991224> – Zugriffsdatum: 03.2009

¹³ <http://www.w3.org/TR/2008/REC-CSS2-20080411> – Zugriffsdatum: 03.2009

Jahr 1998. Streng genommen sollten in den HTML-Dateien lediglich die im Web darzustellenden Inhalte abgespeichert werden, während das Layout durch die CSS-Dateien bestimmt wird. Allerdings ermöglicht auch HTML in begrenztem Rahmen eine Einflußnahme auf das Layout.

Die **extensible Markup Language (XML)** ist eine ebenfalls textbasierte Metasprache, aus der sich andere Sprachen entwickeln lassen. Sie ist vergleichbar mit der Standard Generalized Markup Language (SGML), auf deren Basis HTML entwickelt wurde. SGML und XML bestimmen dabei das Regelwerk, an das sich die Bestandteile der neu zu erstellenden Sprache halten müssen (SELFHTML e. V., 2007c). Obwohl es für XML schon eine Version 1.1 gibt, wird vom W3C die Version XML 1.0¹⁴ in der fünften Ausgabe vom November 2008 empfohlen. Die auf XML basierte **Geographic Markup Language (GML)** ermöglicht „Speicherung, Transport, Austausch, Prozessierung und Transformation geographischer Information“ (DIAZ et al., 2009, S. 327). Wie bei der Kombination HTML/CSS gibt es auch zu XML eine ergänzende Stylesheet-Sprache, die Extensible Stylesheet Language (XSL). Die **Extensible Hypertext Markup Language**, derzeit vom W3C in der Version **XHTML 1.1**¹⁵ (2. Ausgabe) empfohlen, vereinigt die Elemente von HTML mit der Syntax von XML in einer neuen textbasierten Auszeichnungssprache. Anders als HTML erlaubt XHTML keine Layout-Auszeichnungen und hat eine insgesamt strengere Syntax.

Die Schlüsselrolle in interoperablen Geodatendiensten (Kap. 2.5.1) spielt **HTTP**, das **Hypertext Transfer Protocol**, seltener auch Hypertext Transmission Protocol genannt (SINHA, 2008), das ebenfalls vor 20 Jahren von Tim Berners-Lee entwickelt wurde und einen grundlegenden Teil des WWW bildet. Es gilt in der Version HTTP/1.1¹⁶ als stabiler Standard.

Eine Übermittlung geographischer Lageinformationen vom Client zum Server wäre mittels URL oder HTTP denkbar. Solche Implementierungen, z. B. von Windows mobile, gingen jedoch bisher nicht über das Versuchsstadium hinaus (KARPISCHEK et al., 2009). Das W3C veröffentlichte im November 2009 einen Entwurf zur Standardisierung einer **Geolocation-API**¹⁷, mit der auf Basis von JavaScript geographische Breiten- und Längenkoordinaten vom Client an den Server übergeben werden können. Als gebräuchliche Quellen dieser Positionsinformationen sieht die API GPS-Daten, netzwerkbasierte Informationen wie IP-Adresse, RFID, WiFi, Bluetooth-MAC-Adressen und GSM-Zellen-IDs sowie Nutzer-Eingaben vor. Die API erlangt allerdings keine Kenntnis über die Herkunft der Lageinformationen und kann die Korrektheit der übermittelten Daten nicht garantieren (W3C, 2009). Bis jetzt ist die Geolocation-API nur ein Vorschlag, und ein Zeitplan zur Umsetzung als Spezifikation existiert bisher nicht (VAUGHAN-NICHOLS, 2009). Allerdings nutzen bereits verschiedene Unternehmen, Webbrowser und PlugIns diese Vorgaben, um eine Interoperabilität zu gewährleisten (vgl. Kap. 3.5.2).

¹⁴ <http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126> – Zugriffsdatum: 03.2009

¹⁵ <http://www.w3.org/TR/xhtml11> – Zugriffsdatum: 03.2009

¹⁶ <http://www.w3.org/Protocols> – Zugriffsdatum: 03.2009

¹⁷ <http://dev.w3.org/geo/api/spec-source.html> – Zugriffsdatum: 03.2009

2.3.4 Webservices

Während die auf HTML basierenden, statischen Standard-Webseiten der Interaktion zwischen Nutzer und Anwendung dienen, stellen Webservices die Interaktion zwischen mehreren Anwendungen in den Mittelpunkt. Sie bilden modulare, eigenständige Softwarekomponenten, die über das Netzwerk zugänglich sowie plattform- und sprachenneutral sind (ZASLAVCKY, 2008). Üblicherweise nutzen sie das systemnahe Kommunikationsprotokoll HTTP und eine Gruppe höherer Kommunikationsstandards. Das sind insbesondere das **Simple Object Access Protocol** (SOAP), das basierend auf XML die Semantik für den Datenaustausch und die Zugriffsfunktionen in einer verteilten Netzwerkumgebung definiert sowie die **Web Services Description Language** (WSDL), mit der Leistungsfähigkeit und Funktionen des Webservices beschrieben werden. Das Grundkonzept der Webservice-Entwicklung weist eine **serviceorientierte Architektur** (Service-Oriented Architecture: SOA) auf. Sie kann erlauben, dass parallele, auf heterogenen Plattformen laufende Anwendungen miteinander verbunden und somit eine Kette von Webservices für verschiedene Nutzer und Anwendungen erstellt werden. Dabei spielen Interoperabilität und Offenheit die Schlüsselrollen: Die **Interoperabilität** ermöglicht die Kombination verschiedener Funktionen und Operationen in einem Webdokument. Die **Offenheit** garantiert auf Standards basierende flexible und anpassbare Webservices (TSOU, 2008a).

2.4 Internet und GIS: WebGIS

Ein WebGIS verknüpft die Technologien von Internet und GIS und ermöglicht so das Publizieren netzwerkbasierter Geoinformation. In der Regel nutzen WebGIS das WWW und eine Client-Server-Architektur (Kap. 2.3.1), um die auf verschiedenen Datenbanken verteilt vorliegenden Daten zu vernetzen, GIS-Funktionen auf entfernten Servern auszuführen und sowohl Daten als auch Dienste über einen Webbrowser oder andere Clientprogramme zugänglich zu machen (LONGLEY et al., 2005; PETERSON, 2008; KEMP, 2008).

Die Hardware- und Software-Komponenten eines GIS müssen für die Verknüpfung mit dem Internet zu einem WebGIS um netzwerk-spezifische Module erweitert werden. Die **Hardware** betreffend sind das die folgenden Komponenten:

Server stellen Daten zur gemeinsamen Nutzung zur Verfügung,

Clients fragen Daten ab,

Leitersystem und Schnittstellen verbinden die Rechner untereinander.

Ein Server, der Geodaten und räumliche Datenanalysen anbietet, wird als GIS- oder Mapserver bezeichnet. Die angeschlossenen Rechner müssen mit Netzwerkadaptern, die als Schnittstelle zwischen Rechner und Leitersystem fungieren, ausgestattet sein. Als Leitersysteme kommen Koaxial- und Glasfaserkabel nationaler und internationaler Telekommunikationsanbieter zum Einsatz (BERNHARDSEN, 2002). In den letzten Jahren ermöglichen drahtlose Leitersysteme und mobile Endgeräte wie Internet-fähige Mobiltelefone oder PDAs die Abfrage sowie das Einspeisen räumlicher Daten zur Echtzeit und an nahezu jedem Ort (Kap. 2.6). Die Rechenleistung mobiler Endgeräte ist jedoch meist sehr beschränkt, so dass GIS-Funktionen für den mobile Nut-

zer oftmals serverseitig bereitgestellt werden. Die auf dem Server erstellten Analyse-Ergebnisse werden an den Client gesendet und dort z. B. in einem Webbrowser lediglich dargestellt. Werden jedoch mobile Endgeräte zur Datenerfassung im Feld eingesetzt, sind einfache Prüfprozeduren meist schon clientseitig implementiert, so dass Unstimmigkeiten bereits bei der Datenerfassung und vor Übermittlung an den Server erkannt und behoben werden können.

Um Netzwerktechnologien bedienen zu können, müssen die Hardwarekomponenten eines Computernetzes miteinander kommunizieren. Dafür werden sie von netzwerkadministrierender **Software** gesteuert. Den Informationsaustausch übernehmen Netzwerkprotokolle und Kommunikationsschnittstellen (vgl. Kap. 2.3.1 und 2.3.2). Das WWW verknüpft und übermittelt Daten mittels Hypertext Markup Language (HTML) und Hypertext Transfer Protocol (HTTP) (vgl. Kap. 2.3.3). Die in Desktop-GIS meist proprietären Schnittstellen weichen im WebGIS standardisierten Komponenten, so dass Daten und Dienste über das Internet auch zwischen unterschiedlichen Betriebssystemen und Anwenderprogrammen ausgetauscht werden können.

Wie bei der Hardware ist auch bei der Software zwischen Client und Server zu unterscheiden: clientseitige Software wird auf dem anfragenden Rechner ausgeführt; diese Software, sei es ein GIS-Programm, das Geodatendienste (Kap. 2.5.1) darstellt oder eine in den Webbrowser integrierte graphische Benutzerschnittstelle mit GIS-Funktionen, wird als GIS-Client bezeichnet. Serverseitige Software dagegen arbeitet auf dem Daten-anbietenden Rechner. Mapserver stellen Geodatendienste (auch Mapservices, Kartendienste; geospatial webservices) zur Verfügung: Anfragen des Client nach bestimmten räumlichen Daten oder einen vorgegebenen geographischen Bereich betreffend werden von einem GIS-Server an einen Geodatendienst weitergeleitet. Dieser beantwortet die raumbezogene Anfrage, ggf. mittels Hinzunahme weiterer Webdienste (Abb. 2.7). Anschließend werden die Daten bei Bedarf in ein Vektor- oder Rasterformat konvertiert, um eine Bilddatei zu generieren, die dann – in eine Webseite integriert – an den anfragenden Webclient geliefert wird (GRANELL et al., 2008b) (Kap. 2.3.4).

2.5 Webgestützte Geodatendienste

Über lange Zeit – die früheste derzeit bekannte kartographische Darstellung auf einem Tonplättchen wird auf 3 800 v. Chr. datiert – mussten Karten per Hand erstellt, gezeichnet und ggf. koloriert werden. Die Datenauswertung und Kartenerstellung waren aufwendige und mühsame Arbeiten (MITCHELL et al., 2008; HAKE et al., 2002). Die elektronische Datenverarbeitung und damit die Computerkartographie und die digitalen über das WWW veröffentlichten Karten und Geodaten kennzeichnen die jüngsten Entwicklungsstufen der Kartographie. Hierbei ist zwischen statischen und dynamischen sowie interaktiven Karten zu unterscheiden: Eine **statische Karte** ist eine vorgefertigte Karte, z. B. eine gescannte oder mit Zeichen- und Kartographieprogrammen digitalisierte Abbildung einfacher Papierkarten oder auch eine aus Vektordaten abgeleitete und als Bilddatei abgespeicherte Karte, die im Webbrowser als Rasterbild angezeigt wird. Das Kartenbild ist dabei die einzige Informationsebene.

Wird eine Karte im Internet nach Anfrage generiert, handelt es sich um eine **dynamische Karte**. Diese digitale Karte wird i. d. R. von einem WebGIS erstellt. Aus der im Hintergrund liegenden

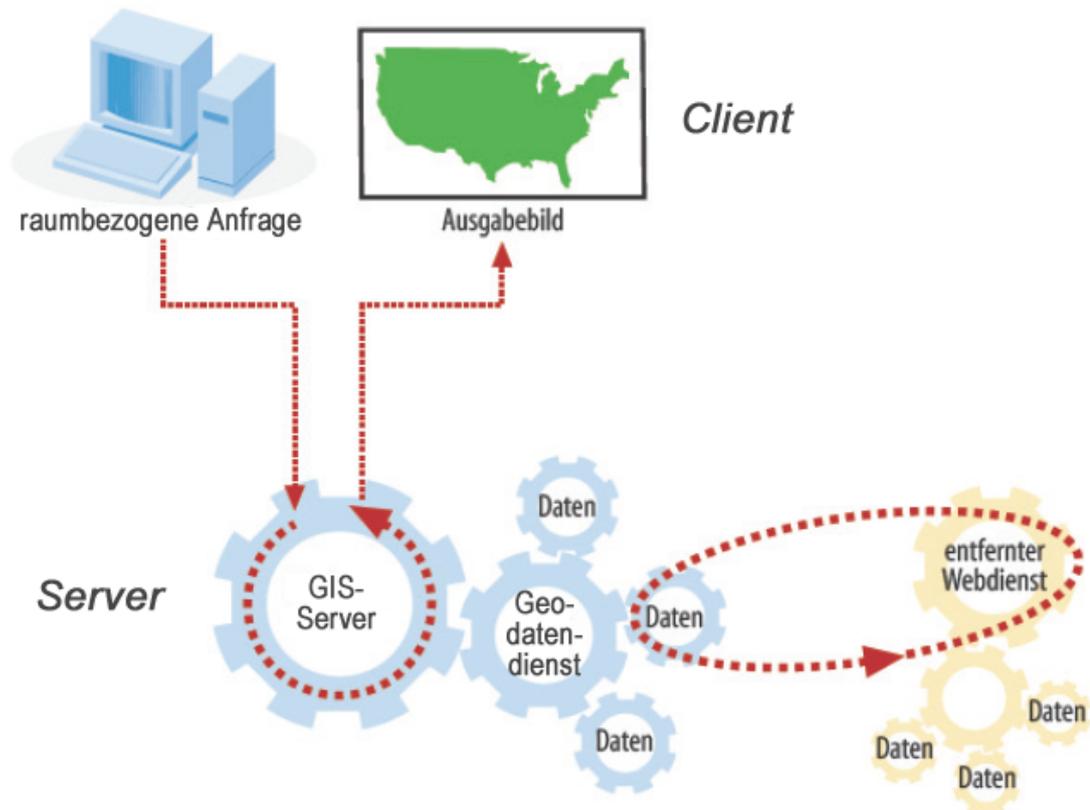


Abb. 2.7: WebGIS (verändert nach MITCHELL et al., 2008)

Datenbank können Informationen zu einzelnen Geoobjekten abgefragt werden und der Nutzer kann das Ein- und Ausblenden einzelner Datenebenen veranlassen. Nach jeder Interaktion wird vom Kartenserver eine neue Karte angefordert. Digitale Karten, die diese Interaktionen des Nutzers erlauben, werden als **interaktive Karten** bezeichnet.

Statische Karten sind im Internet selten geworden, selbst die Wegbeschreibung zum örtlichen Fliesenfachgeschäft wird heute oftmals mit einem nach Aufruf der Website generierten Ausschnitt von Google Maps visualisiert. Durch die Veröffentlichung und Verbreitung von u. a.

- digitalen Landkarten und animierten Globen (Google Maps und Earth, Bing Maps, ...),
- Online-Routendiensten,
- Navigationsgeräten,
- digitalen (Rad-) Wanderführern und
- Anwendungen zur Verortung von Fotos mit GPS-Modulen in Mobilfunkgeräten und Kameras

gerieten Geodaten in den letzten Jahren vermehrt in den Blickpunkt der Öffentlichkeit. Eine Auswahl von GIS-Anwendungen, die immer mehr auch bis zum Nicht-Spezialisten vordringen, werden im Folgenden exemplarisch beschrieben.

Beeindruckende Internet-Dienste, wie z. B. das seit 2005 veröffentlichte Google Earth, nutzen GIS-Services, um raumbezogene Daten aus umfangreichen Geodaten-Archiven auch zum „durchschnittlichen“ Internetnutzer zu bringen (TU und ABDELGUERFI, 2006). Diese Portale können benutzt werden, um über intuitiv zu bedienende graphische Benutzeroberflächen und Schnittstellen mit geringem Aufwand eine Wanderung am Computer zu visualisieren oder Fotos zu verorten (geotagging) (TORNIAI et al., 2007). Aber auch z. B. zur Darstellung von Unglücksorten in den Fernseh-Nachrichten, im Bereich der Stadtplanung (HÖFFKEN et al., 2008) und um wissenschaftliche Ergebnisse in einen räumlichen Kontext zu setzen, werden Google Earth und ähnliche Geoportale als Hilfsmittel herangezogen.

Außerdem weckt die zunehmende Verbreitung von GPS-Modulen in digitalen Fotoapparaten, Uhren oder Mobilfunkgeräten das Interesse an raumbezogenen Daten. Dieses zeigt sich z. B. in Freizeitbeschäftigungen: Beim Geocaching¹⁸ werden mithilfe der Koordinaten Orte aufgesucht, an denen kleine Gegenstände versteckt wurden; es kann als moderne Schnitzeljagd mit GPS erklärt werden (HOËCKER, 2007). Ziel des Degree Confluence Project¹⁹ ist das Auffinden und Photographieren genau der Orte, die durch das Zusammentreffen ganzzahliger Koordinaten gekennzeichnet sind.

Im Internet werden digitale Karten und Daten von **Geodatendiensten** bereitgestellt. Das sind serverseitige Softwarekomponenten, mit denen Clients über Standards kommunizieren können (vgl. Kap. 2.5.1). Werden digitale Karten aus dem Internet mit der aktuellen Position des Nutzers kombiniert und dieser entsprechend seines Aufenthaltsorts mit aktuellen Informationen versorgt, werden diese als **Ortsbezogene Dienste (Location-based Services: LBS)** bezeichnet. So können sich z. B. Reisende nach Ankunft in einer fremden Stadt ein Restaurant oder Hotel nach ihren Wünschen online und mobil aussuchen und sich mithilfe ihres LBS- und navigationsfähigen Handys dorthin führen lassen. LBS sind als eine Schlüsseltechnologie im Bereich mobiler GIS und webgestützter Geodatendiensten anzusehen (Kap. 2.6). Eine verbesserte, weil der Realität ähnelndere Visualisierung kann durch dreidimensionale (3D) Geobjekte erreicht werden (vgl. 3.2.5).

Um die genannten Dienste anbieten zu können, muss eine Geodateninfrastruktur aufgebaut werden (Kap. 2.5.2). Dabei müssen gesetzliche Regelungen beachtet werden (Kap. 2.5.3). Auch durch diese Richtlinien der EU (INSPIRE) und daraus folgenden nationalen Geodaten-Zugangsgesetzen werden die Bürger für ihr Recht an räumlichen Informationen sensibilisiert.

Das Abrufen von Geodatendiensten (Kap. 2.5.1) erfordert die Kommunikation zwischen Client und Server. Die Fähigkeit zweier Anwendungsprogramme, Daten untereinander auszutauschen, wird als Interoperabilität bezeichnet (Kap. 2.5.4) und bedingt einheitliche Standards (Kap. 2.3.3 und 3.4.1). Ein Auswahl verschiedener Geodatenportale wird in Kap. 2.5.5 vorgestellt.

¹⁸ <http://www.geocaching.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

¹⁹ <http://www.confluence.org> – Zugriffsdatum: 03.2009

2.5.1 Definition: Geodatendienste

Dienste (services) sind serverseitige Softwarekomponenten, über die Anwendungsprogramme Daten abfragen können. Handelt es sich bei dem Angebot um Daten und Dienste mit Raumbezug, so ist die Softwarekomponente als Geodatendienst zu bezeichnen. Geodatendienste ermöglichen den Austausch von Geodaten über das Internet, reduzieren so eine redundante Datenerhebung sowie -speicherung und tragen zur Mehrfachverwendung verschiedener Anwendungen bei. Werden Interoperabilitätsmechanismen implementiert, z. B. durch die Verwendung von standardisierten Schnittstellen und einheitlichen Kommunikationsprotokollen, können verschiedene Informationsquellen integriert werden, ohne dass die Daten Export-, Transformations- und Import-Routinen durchlaufen müssen (DAVIS JR. und LACERDA ALVES, 2008). Während die Standards zum Datenaustausch im Internet vom W3C definiert werden (vgl. Kap. 2.3.3), zeichnen für die Definition von Standards, Normen und Spezifikationen im Bereich der Geoinformation verschiedene Organisationen verantwortlich: Das Open Geospatial Consortium²⁰ (OGC) (ehemals Open GIS Consortium) ist ein aus mehr als 380 Universitäten, Behörden und Firmen bestehendes internationales, gemeinnütziges Gremium, das „Spezifikationen und Standards für den Austausch und die Bereitstellung von Geodaten und Diensten über ein Netzwerk“ (BKG (Hrsg.), 2008) formuliert. Das OGC kooperiert dabei mit der Arbeitsgruppe Technical Committee 211 Geographische Informationen/Geomatik²¹ (ISO TC 211) der International Organization for Standardization²² (ISO). Geoinformation und Geodienste werden durch die Standardisierungsreihe ISO 19100 genormt. Hierin finden auch vom World Wide Web Consortium (W3C) erarbeitete Internet-Standards Berücksichtigung (vgl. Kap. 2.3.4). Da alle Spezifikationen einem ständigen Aktualisierungsprozeß unterliegen, sind die jeweils gültigen Fassungen den Websites der genannten Unternehmen zu entnehmen.

Digitale Karten eines WebGIS werden meist als Kartendienst (map service) in Form von georeferenzierten Rasterdaten bereitgestellt. Aber auch raumbezogene Vektordaten sind im Internet zu finden. Ein komplikationsloser Datenaustausch ist nur gewährleistet, wenn einheitliche Datenaustauschformate definiert sind und benutzt werden. So ist insbesondere zwischen drei OGC-Kartendiensten zu unterscheiden (vgl. KORDUAN und ZEHNER, 2008; SINHA, 2008):

Web Map Service (WMS) Der WMS liefert Karten als Bilddatei in einem gängigen Format wie *.jpg aus. Die einzelnen geographischen Merkmale sind nicht weiterverwendbar.

Web Coverage Service (WCS) Mit dem WCS werden ebenfalls Rasterkarten erzeugt. Deren Raster basiert jedoch nicht zwingend auf einzelnen Pixeln, sondern auf komplexen Rasterzellen. In diesen können mehrere Werte hinterlegt sein und modelliert werden. Die Werte können z. B. eine Kombination von Satelliten-Kanälen sein.

Web Feature Service (WFS) Der WFS sendet Rohdaten und ermöglicht so die Bereitstellung von raumbezogenen Vektordaten mit Punkt-, Linien- oder Polygonkoordinaten, die vom Client abgespeichert und weiterverwendet werden können (OGC, 2005a). Dieser Kartendienst erlaubt also den Zugriff auf einzelne Geobjekte.

²⁰ <http://www.opengeospatial.org> – Zugriffsdatum: 03.2009

²¹ <http://www.isotc211.org> – Zugriffsdatum: 07.04.2010

²² <http://www.iso.org> – Zugriffsdatum: 07.04.2010

Nach MICHAELIS und AMES (2008) ist der WMS die am weitesten verbreitete Spezifikation zur Abfrage vorgefertigter Karten, also georeferenzierter Rasterdaten (OGC, 2004a). Noch keine Spezifikation, jedoch Standard und an Popularität gewinnend, ist der **Web Processing Service (WPS)**, der vorgibt, wie Geoprozesse auf einem Server ausgeführt werden sollen (OGC, 2007a). Sowohl Client- als auch serverseitige Software, die diese Spezifikationen und Standards umsetzen, erlangen durch die Interoperabilität Überlegenheit gegenüber anderen Softwareprodukten (MICHAELIS und AMES, 2008). Laut KORDUAN und ZEHNER (2008) unterstützen mittlerweile alle namhaften GIS-Software-Hersteller diese Spezifikationen und haben entsprechende Schnittstellen in ihren Produkten implementiert. Eine Erweiterung zu den OGC-Webservices WMS, WCS und WFS ist die OGC-Spezifikation **Styled Layer Descriptor (SLD)**. Dieser Dienst stellt Graphikdaten bereit (vgl. Kap. 2.2.3) und beschreibt damit dem Mapserver, wie die Geobjekte der digitalen Karte dargestellt werden sollen.

2.5.2 Geodateninfrastruktur

Eine Geodateninfrastruktur (GDI) gibt die Rahmenbedingungen für den verwaltungsebenen- und fachübergreifenden Zugang und die Nutzung von raumbezogenen digitalen Daten vor. Die Vernetzung der Datenbestände durch die Technologien des Internet (GRANELL et al., 2008b) ist für eine GDI grundlegend (vgl. Kap. 2.2.1 und 2.2.2). So lassen sich voneinander isoliert vorliegende Daten über Kartendienste unabhängig von ihrem Speicherort miteinander kombinieren (vgl. 2.2.3). Mehrfachdatenerhebungen, -speicherung und Konvertierung entfallen. Bürger, öffentliche Verwaltungen und Privatfirmen erhalten erleichterten Zugang zu Geodaten (BKG (Hrsg.), 2008). Um dies zu gewährleisten, setzt sich eine GDI aus mindestens den in Abb. 2.8 dargestellten vier Komponenten zusammen: Die (1) **Metadaten** beschreiben die Geodaten und -dienste, indem sie über ihre Eigenschaften, z. B. über Inhalte, Herkunft und Aktualität der Daten Auskunft geben. Über sie lassen sich Geodaten und Geodatendienste suchen, in Verzeichnisse aufnehmen und nutzen. Als (2) **Geodaten** werden alle Daten bezeichnet, die sich direkt oder indirekt auf einen bestimmten Standort oder auf ein geographisches Gebiet beziehen. Sie können über eine Adresse (Straße, Hausnummer, Ort), ein Gebiet (z. B. Wahlbezirk) oder über

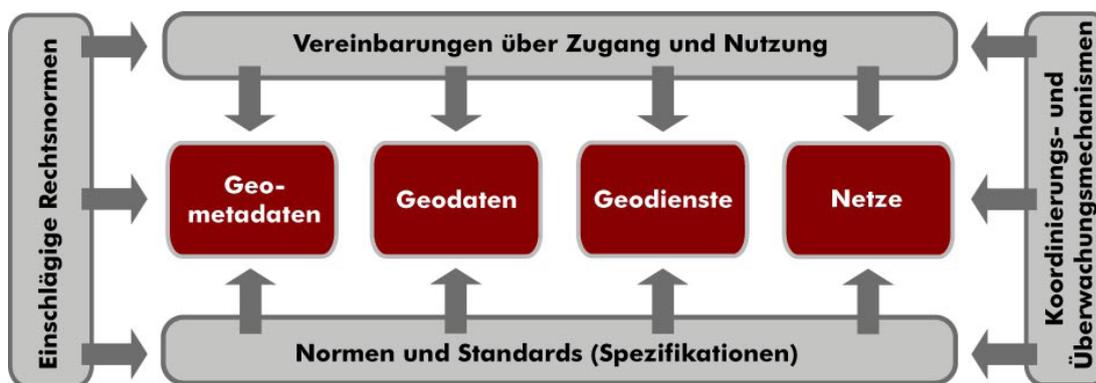


Abb. 2.8: Komponenten einer Geodateninfrastruktur (GDI-DE, 2007)

Koordinaten (geographische oder geodätische Koordinaten) verortet sein. (3) **Geodatendienste** erlauben den Zugriff auf und ggf. eine Weiterverarbeitung von Geodaten: mit Suchdiensten können Geodaten auf Grundlage der Metadaten oder der räumlichen Lage ausgewählt werden. Visualisierungsdienste ermöglichen Darstellung und Überlagerung von Daten, das Ändern des Maßstabs, Navigieren und Verschieben der Kartenansicht sowie die Anzeige von Legende und Metainformationen. Über Zugriffs- oder Downloaddienste können Daten heruntergeladen und mithilfe von Transformationsdiensten in andere Bezugssysteme umgerechnet werden. (4) **Netze** verknüpfen diese Komponenten untereinander. Dieser Teil einer GDI ist für den Nutzer nicht unmittelbar sichtbar, gewährleistet jedoch über ein Geodatenportal den Zugang zu dezentral vorgehaltenen Datenbeständen (GIFF et al., 2009). Für die Verknüpfung der Daten untereinander sind einheitliche Schnittstellen unabdingbar (Landesregierung NRW, 2009). Diese werden in Normen und Standards spezifiziert (vgl. Kap. 2.5.4).

Im Rahmen des „e-Government“, den Bestrebungen, Verwaltungs- und Regierungsvorgänge durch den Einsatz elektronischer Medien zu vereinfachen, wurden Gesetze geschaffen, die den Aufbau von Geodateninfrastrukturen fordern und regeln. Der „Digitale Rohstoff Geoinformation“ (GIW-Kommission, 2008) soll somit Bürger, Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung in allen raumbezogenen Entscheidungen unterstützen. Das Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten Nordrhein-Westfalen (GeoZG NRW: Landesregierung NRW, 2009) sowie die entsprechenden nationalen (GeoZG: Deutscher Bundestag (Hrsg.), 2009) und internationalen Gesetze und Richtlinien (INSPIRE: Kommission der europäischen Gemeinschaften, 2004) werden in Kap. 2.5.3 behandelt.

2.5.3 Geodaten-Zugangsgesetze: GeoZG NRW, GeoZG und INSPIRE

Erdbeben, Überflutungen und andere Naturkatastrophen sind nicht auf administrative Regionen begrenzt, sondern verursachen überregional Umweltschäden und Opfer bei der Bevölkerung. So erkannten öffentliche und privat-wirtschaftliche Entscheidungsträger in den 1990er Jahren, dass gemeinsame Standards und Interoperabilität von Daten, Prozessen und Systemen unabdingbar für Prävention, Ursachenforschung und Katastrophenhilfe sind. 1996 bildete sich beim ersten globalen Treffen in Bonn das Forum Global Spatial Data Infrastructure (GSDI), das sich 2002 als gemeinnützige Organisation zur Formulierung einer Globalen Geodateninfrastruktur aufstellte (GSDI Association, 2002). So weist die GSDI Association (2008) in ihren Statuten als erstes Ziel die „Errichtung und den Ausbau lokaler, nationaler und regionaler (multi-nationaler) Geodateninfrastrukturen, die global austauschbar“ sind, aus. Die Richtlinien sind in der derzeit gültigen Version 2 des SDI-Cookbook (NEBERT, 2004) verfasst. Die Bildung und Umsetzung gemeinsamer Standards wird in regelmäßigen Konferenzen diskutiert, wie auch im Jahr 2009 bei der GSDI 11 – Spatial Data Infrastructure Convergence: Building SDI Bridges to address Global Challenges in Rotterdam, Niederlande (GSDI Association, 2009). In diesem Kontext sind sowohl die US-amerikanischen Pläne des damaligen Präsidenten Bill Clinton und seines Vizepräsidenten Al Gore zum Aufbau einer Nationalen Infrastruktur für Raumbezugsdaten (National Spatial Data Infrastructure, NSDI)(FGDC, 2002) als auch die im Folgenden aufgeführten europäischen und bundesdeutschen Richtlinien und Gesetze zu sehen: Im Mai 2007 ist die vom

Europäischen Parlament und Rat erlassene INSPIRE-Richtlinie (Infrastructure for Spatial Information in the European Community; Richtlinie 2007/2/EG) in Kraft getreten. Sie bildet die Rechtsnorm zur Schaffung einer Europäischen Geodateninfrastruktur (ESDI: European Spatial Data Infrastructure). Die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union waren verpflichtet, die Richtlinie innerhalb von zwei Jahren in nationales Recht umzusetzen. Im Februar 2009 hat der Deutsche Bundestag das Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten (Geodatenzugangsgesetz – GeoZG: Deutscher Bundestag (Hrsg.), 2009) beschlossen. Die Entwicklung einer Geodateninfrastruktur für Deutschland obliegt innerhalb der Bundesverwaltung dem ständigen Interministeriellen Ausschuss für Geoinformationswesen (IMAGI²³). Die Länder setzen die Richtlinie in eigener Verantwortung um. Für Nordrhein-Westfalen trat am 28. Februar 2009 das Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten Nordrhein-Westfalen (GeoZG NRW: Landesregierung NRW, 2009) in Kraft. Entsprechende Gesetze sind auch von den anderen Bundesländern zu erlassen. Obwohl die Gesetze von den einzelnen Bundesländern unterschiedlich umgesetzt werden, sind doch gemeinsame Standards definiert, die den Verwaltungsebenen-übergreifenden Austausch der Daten ermöglichen. Analog zu den Vorgaben des nationalen Rechts und der EU-Richtlinie verpflichtet das GeoZG NRW alle geodatenhaltenden Stellen des Landes, der Gemeinden und Gemeindeverbände, ihre digitalen Geodaten aus 34 vorgegebenen Themenfeldern (u. a. Koordinatenreferenzsysteme, Verwaltungseinheiten, Verkehrsnetze, Gewässernetz und Gebäude) über webgestützte Such-, Visualisierungs- und Zugriffs-Dienste nach europaweit gültigen Spezifikationen zugänglich zu machen. Nach Inkrafttreten des Gesetzes sind nun die Durchführungsbestimmungen festzulegen. Für die Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) liegen diese in dem Dokument „Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland“ (GDI-DE, 2007) in der derzeit gültigen Fassung vom 17. August 2007 vor.

2.5.4 Weitere Gesetze, Normen und Richtlinien

Die Nutzung raumbezogener Daten wird insbesondere durch zwei Faktoren gehemmt: Erstens durch eingeschränkte Interoperabilität, weil die GIS-Komponenten sowohl an spezifische Datenformate als auch an bestimmte Software gebunden sind. Und zweitens sind die vorhandenen Daten aufgrund schlechter Dokumentation schwer auffindbar, veraltet, teuer oder nur unter restriktiven Lizenzbedingungen erhältlich. Beides behindert die Verwertung von Geoinformationen, erhöht die Kosten von Projekten und schadet so der Ökonomie (GRANELL et al., 2008b). Von vielen Regierungen erkannt, fördern diese den Aufbau einer einheitlichen, auch grenzüberschreitenden Geodateninfrastruktur (vgl. Kap. 2.5.2). Die rechtliche Verpflichtung zum Aufbau einer GDI wird durch Geodaten-Zugangsgesetze geregelt (vgl. Kap. 2.5.3). Um das Ziel der Vereinheitlichung, die Interoperabilität, zu erreichen, müssen alle Beteiligten die Daten in austauschbaren Formaten bereitstellen, indem sie internationale Standards und Schnittstellen-Definitionen beachten (SEIFERT, 2006). Zu unterscheiden ist die Verbindlichkeit von Standards und Normen: De-jure Standards oder Normen sind von einem öffentlichen Abstimmungsgremium beschlossene internationale Vorgaben. Das Comité Européen de Normalisation (CEN) erlässt auf europäischer und das Deutsche Institut für Normung (DIN) auf bundesdeutscher Ebene

²³ http://www.gdi-de.org/de/imagi/f_imagi.html – Zugriffsdatum: 03.2009

verbindliche Normen. Industrie-, De-facto- oder lediglich Standards werden dagegen meist nur von einer Institution erzeugt und sind dementsprechend weniger verbindlich als Normen. Beispiel für De-facto-Standards sind das DXF-Format von AutoCAD (BARTELME, 2005), PDF von Adobe sowie DOC und XLS von Microsoft (KIM, 2008).

Barrierefreiheit

Die Öffentlichkeit, soweit informiert, verbindet mit dem Begriff Barrierefreiheit meist die Barrierefreiheit von Außen- und Verkehrsanlagen (DIN18024-1: DIN e. V., 1998) sowie öffentlicher Gebäude (DIN18024-2: DIN e. V., 1996). Dort bezieht er sich auf die Zugänglichkeit für Menschen mit Behinderung (Blinde, Hörgeschädigte, Rollstuhlfahrer etc.). Die Normen definieren z. B. die notwendigen Größen von Durchgängen und die maximale Steigung von Rampen für Gehbehinderte sowie die Verwendung taktiler Bodenbeläge als Orientierungshilfe für Blinde. Die Anwendung der Normen wird in technischen Baubestimmungen geregelt, die in einigen Bundesländern Bestandteil der Landesbauordnung sind, für Nordrhein-Westfalen gilt derzeit die Fassung vom Februar 2009 (HyperJoint GmbH, 2009).

Jedoch ist dieser Begriff auch in der Informationstechnologie verankert: Auf Grundlage des Behindertengleichstellungsgesetzes (BGG) von 2002 verabschiedete der Landtag in Nordrhein-Westfalen im Dezember 2003 das Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen und zur Änderung anderer Gesetze (Behindertengleichstellungsgesetz Nordrhein-Westfalen: BGG NRW), das am 1. Januar 2004 in Kraft trat. Die Umsetzung des §10 Barrierefreie Informationstechnik wurde in der Verordnung zur Schaffung barrierefreier Informationstechnik nach dem Behindertengleichstellungsgesetz (Barrierefreie Informationstechnik-Verordnung Nordrhein-Westfalen: BITV NRW) (Landesregierung NRW, 2004) vom Juni 2004 geregelt. Danach bilden die vier Prinzipien der von der W3C-Web Accessibility Initiative (WAI) aufgestellten Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0²⁴ die unter § 2 (1) genannten Grundsätze des Gesetzes:

- Inhalte und Erscheinungsbild sind so zu gestalten, dass sie für alle wahrnehmbar (perceivable) sind.
- Die Benutzeroberfläche der Angebote sind so zu gestalten, dass sie für alle bedienbar (operable) sind.
- Inhalte und Bedienung sind so zu gestalten, dass sie allgemein verständlich (understandable) sind.
- Die Umsetzung der Inhalte soll so erfolgen, dass sie mit heutigen und künftigen Technologien funktionieren (robust).

Wird die Barrierefreiheit bei der Erstellung von Websites als Konzept zugrunde gelegt, bedeutet das auch einen verbesserten Zugang zu den Web-Inhalten für viele Nutzer ohne Behinderung: leistungsschwache Computer und Internetverbindungen (z. B. über Modem), die Nutzung von Tastatur statt Maus, kleine Bildschirme (insbesondere bei mobilen Endgeräten wie Notebooks oder PDAs) können ebenso von den technischen Aspekten der Barrierefreiheit profitieren. Damit lässt sich auch die Anwendung der vom englischen Begriff accessibility übernommenen Bezeichnung Zugänglichkeit begründen (HELLBUSCH, 2004).

²⁴ <http://www.w3.org/TR/WCAG20> – Zugriffsdatum: 03.2009

2.5.5 Geodatenportale

Die der Öffentlichkeit präsenten Internetportale mit Geoinformation werden durch die spektakulären Ansichten des virtuellen Globus Google Earth geprägt: virtuelle Rundflüge über den Grand Canyon, Spaziergänge durch das dreidimensionale Manhattan oder im Berliner Bahnhof sind für jeden Internetnutzer am heimischen PC möglich. Die Zugangswebsite zu oftmals auf verschiedene Server verteilten Geodatendiensten (vgl. Kap. 2.5.1) wird als Geo(daten)portal bezeichnet. Gegenüber analogen Atlanten und Kartenwerken ist der Übergang zwischen verschiedenen Maßstäben durch dynamische, interaktive Vergrößerungs- und Verkleinerungsfunktionen (Zoom) fließend. Geoportale können sowohl Ansichten in sehr kleinem Maßstab, z. B. den Blick auf den virtuellen Globus aus dem Weltall, bis hin zu großem Maßstab zeigen. Erweiterungen der Datenbestände und ihrer Detailgenauigkeit sind dabei nahezu keine Grenzen gesetzt. Für die Integration von Geodaten in Webanwendungen existieren verschiedene Ansätze und Techniken. Charakteristisch sind nach DIAZ et al. (2009):

Gateways Sie fungieren als Zwischenanwendung (middleware), die einer Anwendung eines Datenbankmanagementsystems (DBMS) den Zugang zu Daten aus einem anderen DBMS erlauben.

Data Warehouses Diese Datenlager bestehen aus getrennten Datenbanken, die speziell der Entscheidungsunterstützung (decision support) dienen. Sie sind dann besonders wertvoll, wenn die Entscheidung von bedeutsamen Analysen abhängt, die auf großen Datensammlungen mit einer Vielzahl möglicherweise heterogener Datenquellen beruhen.

Geodatenportale können Daten über die ganze Welt anbieten oder auch auf kleinräumigere Regionen spezialisiert sein. Einen Überblick über Geoportale globalen bis hin zu kommunalen Maßstabs geben die folgenden Abschnitte. Ende der 1990er Jahre formulierte der damalige US-Vizepräsident Al Gore seine Vision einer „Digitalen Erde“ (Digital Earth), die durch eine dreidimensionale Darstellung zum Verständnis für die Schutzbedürftigkeit unseres Lebensraums beitragen sollte (GORE, 1998). Wenige Jahre später ist es nicht nur technisch möglich, aus mehrfach aufgelösten (multi-resolution), dreidimensionalen und georeferenzierten Informationen ein solches virtuelles Abbild der Erde darzustellen, es wird auch täglich von hunderten Millionen Menschen weltweit benutzt. **Geobrowser**, die das **Geoweb** (geospatial web: LAKE und FARLEY (2007)) darstellen können, sind oftmals eigenständige Programme, sogenannte Earth Viewer oder auf Standard-Internetumgebungen (Browser) aufsetzende Erweiterungen (Plug-Ins) (KORDUAN und ZEHNER, 2008). Entsprechend und in Anlehnung an die Bezeichnung Browser für die Darstellungssoftware für WWW-Seiten wird die Nutzung geographischer Daten über einen virtuellen Globus als geo-browsing bezeichnet (CRAGLIA et al., 2008).

Das Online-Geodatenportal Google Earth ist der digitale Globus des Suchmaschinenriesen Google. Startet der Nutzer diese Anwendung mit der gleichnamigen Software, erhält er einen Blick auf die Erde aus dem Weltraum. Nach Eingabe eines Ortes in die Suchmaske scheint der Nutzer das Ziel anzufliegen, aus der kleinmaßstäbigen Satellitenbild-Ansicht wird eine großmaßstäbige Luftbildansicht. Viele verschiedene Themen können als zusätzliche Informationsebenen eingeblendet werden. Mithilfe digitaler Gelände- und Oberflächenmodelle können dreidimensionale Ansichten visualisiert werden. Hamburg war weltweit die erste Stadt, bei deren

3D-Modell die Fassaden texturiert wurden (Abb. 2.9). Diese Detailtreue macht die Darstellung realitätsnäher.

Für vielfache Diskussion und Beschwerden insbesondere von Datenschützern, aber auch von Bürgern sorgt StreetView, die Darstellung von 360°-Photographien. Kritiker fühlen sich von dieser Rundumüberwachung an Methoden der Geheimdienste erinnert. Diese Erweiterung lässt sich ebenfalls als zusätzliche Datenebene in Google Earth integrieren. In die Version Google Earth 5.0, veröffentlicht im ersten Quartal 2009, ist historisches Bildmaterial aus der ganzen Welt integriert, das die Veränderungen der Umwelt im Laufe der Zeit zeigt. Zusätzlich ergänzen seit dieser Version Bilder und Filmsequenzen über den Meeresgrund und die Meeresoberfläche den Datenbestand und ermöglichen einen Blick in die Tiefen der Ozeane. Im Standard-Webbrowser und somit ohne zusätzlichen Softwarebedarf lassen sich die Bild- und Kartendaten in Hybridansicht zudem in **Google Maps**²⁵ nutzen.



Abb. 2.9: Stadtmodell Hamburg in Google Earth (<http://earth.google.de> – Zugriffsdatum: 05.06.2009)

²⁵ <http://maps.google.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

„Spiegelwelten“ (HARVEY, 2009), realistische Abbilder der Erde, zeigt auch Microsofts **Bing Maps 3D**, das bis 2006 zunächst als **Virtual Earth**²⁶ und anschließend bis Sommer 2009 als **Live.Local** bekannt war. Ein Alleinstellungsmerkmal sind die integrierten Schrägluftaufnahmen, die eine vogelperspektivische Ansicht aus den vier Himmelsrichtungen ermöglichen (Abb. 2.10).



Abb. 2.10: Schrägluftaufnahme Mainz in Bing Maps (<http://www.bing.com> – Zugriffsdatum: 05.06.2009)

Kostenfrei zugängliche Satelliten- und Luftbilder sind auch in das ursprünglich für Studium und Wissenschaft entwickelte Desktop-WebGIS **NASA World Wind**²⁷ integriert. Diese haben allerdings im Vergleich zu den Daten von Google und Microsoft eine geringere Auflösung (KORDUAN und ZEHNER, 2008). Die Nutzungsmöglichkeiten der virtuellen Globen, BALL (2006) bezeichnet sie als **Geographische Erkundungssysteme** (Geographic Exploration Systems, GES), reichen von privaten virtuellen Reisen und Visualisierungen in den Medien über Modellierung von Planungsalternativen bis zu wissenschaftlichen räumlichen Analysen: „je mehr die Wissen-

²⁶ <http://www.microsoft.com/virtualearth/>, <http://www.bing.com/maps> – Zugriffsdatum: 03.2009

²⁷ <http://worldwind.arc.nasa.gov> – Zugriffsdatum: 03.2009

schaft mit dem digitalen Planeten anstellt, (...) desto verlockender für das übrige Publikum“²⁸. Neben den virtuellen Welten bieten viele Webportale Geoinformation schwerpunktmäßig für digitale Straßenkarten zur Wegeberechnung (Routing) an. Während nur sehr wenige kommerzielle Navigationsdatenanbieter existieren, insbes. Tele Atlas²⁹ und NAVTEQ³⁰, werden deren Datensätze von verschiedenen Firmen lizenziert und als Grundlage für Routing-Dienste von z. B. Map24³¹, ViaMichelin³², Falk³³, Yahoo!³⁴ und ADAC³⁵ benutzt (Kap. 2.6.3). Portale, die diese Dienste auch für die mobile Nutzung anbieten, stellen dafür spezialisierte Schnittstellen zur Verfügung, über die das mobile Gerät mit dem Geodatenserver kommunizieren kann (vgl. Kap. 2.5). Die Wegeberechnungs-Dienste berücksichtigen dann, wie z. B. von den Autonavigationsgeräten bekannt, auch ortsbezogene Dienste: dafür werden sowohl Daten zur aktuellen Verkehrssituation eingespist als auch vor fest installierten Radaranlagen gewarnt.

Eine neue Entwicklung zeichnet sich seit wenigen Jahren ab, deren Ausprägungen den Begriff **Neogeographie** (Neogeography) tragen. Geprägt von Entwicklern der Website platial.com³⁶ wurde er mittlerweile in der Literatur unter anderem von TURNER (2006), ZIPF (2007a,b) und GOODCHILD (2007a) aufgegriffen. Die Neogeographie bezeichnet eine Geographie im „neuen, Web 2.0-Stil“ (GELERNTER, 2008), die als eine gemeinschaftliche Technologie eher von Nicht-profis als von Spezialisten verstanden werden muss. Als eine Mischung aus Kartierung (mapping) und persönlichen Anmerkungen ist sie dem „Mitmach-Web 2.0“ (NEIS und ZIPF, 2008) zuzuordnen, das sich durch die aktive Beteiligung des Internetnutzers auszeichnet. Grundlegend für die Möglichkeit, Nutzer-generierte Daten einfließen zu lassen, ist das von O'REILLY (2005) definierte Internet-Modell Web 2.0, bei dem der Nutzer nicht mehr nur Empfänger von Webinhalten, sondern selbst Lieferant ist. Beispiele für Web-Plattformen mit Nutzer-generierten Inhalten sind die freie Enzyklopädie Wikipedia³⁷, die Film-Plattform YouTube³⁸ und das Fotoarchiv Flickr³⁹. 2004 startete das Projekt OpenStreetMap⁴⁰, dessen Ziel die Erstellung eines globalen Datensatzes an Straßenkarten ist, der nicht von Marken- oder Urheberrechten reglementiert wird. Von den Nutzern selbst erhoben, können diese auf den Datensatz zugreifen, die Daten bearbeiten und ihren Anforderungen entsprechend anpassen. „Ein echtes Alleinstellungsmerkmal (...) ist die Erfassung von Fahrrad- und Fußwegen, Skipisten/Tourenvorschlägen etc., die in bisherigen kommerziellen Datenbeständen keine ähnliche Berücksichtigung finden“ (DÖRFFEL, 2008).

²⁸ DWORSCHAK, M. 2006: *Weltkugeln des Wissens*. In: Der Spiegel 31 (2006), S. 114–116

²⁹ <http://www.teleatlas.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁰ <http://www.navteq.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

³¹ <http://www.de.map24.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

³² <http://www.viamichelin.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

³³ <http://www.falk.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁴ <http://de.routenplaner.yahoo.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁵ <http://www.adac.de/ReiseService/routenplaner> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁶ <http://www.platial.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁷ <http://www.wikipedia.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁸ <http://www.youtube.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

³⁹ <http://www.flickr.com> – Zugriffsdatum: 03.2009

⁴⁰ <http://www.openstreetmap.org> – Zugriffsdatum: 03.2009

Diese Ausprägung, bei der eine Formänderung der Wissensbildung auftritt, wird mit den englischen Begriffen Participatory GIS (PGIS) und Public Participation GIS (PPGIS), übersetzt etwa „GIS zur öffentlichen Teilnahme“, bezeichnet: Es sind nicht mehr wenige privilegierte Wissenschaftler wie vor einigen hundert Jahren, die die Welt entdecken, vermessen und kartieren. Heute zeigt sich ein neuer Entdeckergeist auf Mikroebene, es ist eine heterogene Gruppe, ein Teil der Gesellschaft mit unterschiedlichen Vorkenntnissen, die das bisherige Fachwissen um lokale räumliche Informationen ergänzen und so auch Entscheidungsprozesse beeinflussen (ROUSE et al., 2007). GOODCHILD (2007b) bezeichnete diese Strömung als **Volunteered Geographic Information (VGI)**: „Freiwillige Geographische Information hat das Potenzial, eine signifikante Quelle für des Geographens Verständnis der Erdoberfläche zu sein“. Die großen Geodaten-Anbieter wie Google und Microsoft veröffentlichen freie Programmierschnittstellen (Application Programming Interface: API), die dem Nutzer erlauben, eigene Daten zu verorten und kartographisch darzustellen. Die Google-Bildverwaltungssoftware Picasa z. B. verfügt über eine Schnittstelle zu Google Earth, über die Digitalfotos mit dem Ort der Aufnahme verknüpft werden können. Durch Google Earth und Google Maps wurde der Begriff **mash-up** geprägt (GOODCHILD, 2007b), der die Schnittstellen bezeichnet, über die neu erstellte Inhalte veröffentlicht (GOODCHILD, 2007a) und in Form von Themenebenen (Layer) mit anderen über das Web verteilt vorliegenden Daten kombiniert werden können. Die Schnittstellen im Geoweb und die als **Geotags** bezeichneten geographischen Lagebeschreibungen (GOODCHILD, 2007b) beruhen auf offenen Standards (LAKE und FARLEY, 2007) (vgl. Kap. 2.5.4) und sind somit ein bedeutender Beitrag zu einem ebenfalls offenen und zugänglichen räumlichen Rahmenwerk (geospatial framework) (ROUSE et al., 2007).

Wie in Kap. 2.5.3 erläutert, fordert das GeoZG von den geodatenhaltenden Stellen, insbesondere von den Bundes- und Landesbehörden, die Bereitstellung verschiedener kostenfreier und -pflichtiger Geodatendienste: Mit dem Metainformationssystem GeoMIS.Bund als „Internet-Einstiegspunkt für die Geodatenrecherche“ (BERNARD et al., 2004) wurde im Jahr 2003 die erste Komponente des seit 2005 veröffentlichten **GeoPortal.Bund**⁴¹ freigeschaltet. Das GeoPortal.Bund ist der zentrale Webzugang zur Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE). Entwicklung und Betrieb des GeoPortal.Bund obliegen dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), das durch den IMAGI dazu beauftragt ist. Alle Landesverwaltungen und die kommunalen Spitzenverbände arbeiten bei der Administration und dem weiteren Aufbau eng mit dem BKG zusammen. Im Hinblick auf die Anforderungen von INSPIRE (s. Kap. 2.5.3) können derzeit über 500 Einzelthemen aus dezentral gehaltenen Geodatenbanken von öffentlichen Einrichtungen und über 300 000 Metadaten-Einträge über verschiedene Geowebsservices abgefragt, „kombiniert, integriert und in unterschiedlichen Szenarien“ (IMAGI, 2008) visualisiert werden. In den nächsten Jahren soll das Portal kontinuierlich erweitert werden. Neben der Visualisierung der Geodaten in Form von Kartenbildern soll der Nutzer insbesondere die Möglichkeit bekommen, Daten selbst zu bearbeiten und zu bestellen.

⁴¹ <http://geoportal.bkg.bund.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

Für Nordrhein-Westfalen von Bedeutung sind das **GEOBASISdatenportal NRW**⁴² und das **Topographische Informationsmanagement TIM-online**⁴³. Das GEOBASISdatenportal NRW präsentiert sich als Geodatenverkaufsplattform (Onlineshop oder nach TEEGE (2001) Geodaten-shop), bei der über eine Karten- oder Listenauswahl kartographische und topographische Produkte gesucht, konfiguriert und bestellt werden können. Dem Kundenwunsch entsprechend werden die Daten in digitaler Form auf Datenträgern, per E-Mail oder als Download vom Geodaten-server bereitgestellt. Daneben ist auch der Versand analoger Kartenerzeugnisse möglich. TIM-online ist vordergründig ein Darstellungsdienst für die Kartenwerke DGK5, DTK10, TK25, TK50, TK100 sowie Luftbilder. Weil die Bezirksregierung Köln Abt. GEObasis.nrw die Aufgabe hat, „Aktualität, Vollständigkeit und Flächendeckung der topographischen Geobasisdaten sicherzustellen“ (Bezirksregierung Köln, o. J.), wird über diese Geodaten-Plattform jedem Bürger die Möglichkeit gegeben, Unstimmigkeiten zwischen Realität und Kartendarstellung in den digitalen Kartenwerken DGK5, DTK10 und TK25 einzutragen und an GEObasis.nrw zu melden. So wird das Kennen und Wissen der Bürger um das eigene Lebensumfeld genutzt, um größtmögliche Aktualität der bereitgestellten Dienste zu gewährleisten. Die jeweils zuständigen Mitarbeiter können dann gezielt die Orte aufsuchen, deren Karten eine Aktualisierung benötigen, entsprechende Änderungen verifizieren und diese in die Fortführungsarbeiten der Kartenwerke einfließen lassen.

Als ein Beispiel für intrakommunale Geodatenportale kann an dieser Stelle das CampusGIS, das Geodatenportal der Universität zu Köln, angeführt werden. Die verwendeten raumbezogenen Daten decken nur einen vergleichsweise kleinen Teil der Erdoberfläche ab, sind dagegen aber hochspezialisiert: So stehen z. B. zu den Gebäuden Informationen über Eingänge und Innenräume bereit; zu Fußwegen und Trampelpfaden kann Auskunft über die Oberflächenbeschaffenheit mit Gefälle und Quergefälle gegeben werden; auch Informationen über die in den Gebäuden anzutreffenden universitären Einrichtungen sowie über die dort arbeitenden Personen sind in das System integriert (vgl. Kap. 2.7).

Nachdem die Grundlagen von GIS und Internet dargestellt sind und raumbezogene Anwendungen in Auswahl präsentiert wurden, soll sich der nächste Gliederungspunkt mit der Frage beschäftigen, wie und ob die Geodaten standortunabhängig genutzt werden können. Dafür sind die sogenannten Location-based Services vorzustellen.

2.6 Location-based Services

Die zunehmende Mobilität ist ein Kennzeichen unserer Gesellschaft und zeigt sich in nahezu allen Lebensbereichen. Mit der wachsenden Mobilität erhöht sich auch das Bedürfnis, ortsunabhängig auf Informationen zuzugreifen bzw. Informationen zur Verfügung zu stellen. Beides ist mit den aktuellen Mobilfunktechnologien bereits möglich. Der Anteil der Haushalte, in denen mindestens ein Mobiltelefon vorhanden ist, stieg – nach Stichproben hochgerechnet – von 29,8 % im Jahr 2000 über 76 % 2005 auf 86,3 % im Jahr 2008 (Statistisches Bundesamt, 2009).

⁴² <https://www.geoportal.nrw.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

⁴³ <http://www.tim-online.nrw.de> – Zugriffsdatum: 03.2009

Wird der aktuelle Standort als Parameter bei der Nutzung eines raumbezogenen Dienstes hinzugezogen, d. h. werden den gegenwärtigen Aufenthaltsort des Nutzers betreffende Informationen abgefragt, wird auf ortsbezogene Dienste (location-based services: LBS) zurückgegriffen (Kap. 2.6.1). Anwendung finden LBS nach TIMPF (2008) insbesondere bei einem persönlichen Notruf durch die Übermittlung der Position. In der Tourismusbranche geben diese Dienste Ortsfremden Auskunft über Sehenswürdigkeiten, das nächste Restaurant oder Hotel im Umkreis des Nutzers. Außerdem bilden LBS die Schlüsseltechnologie in der personalisierten Navigation (Kap. 2.6.2).

2.6.1 Definition

Location-based Services (LBS) bieten über mobile Endgeräte raumbezogene Informationen und Dienste an, deren Inhalte sich am aktuellen Aufenthaltsort des Nutzers ausrichten (BRIDWELL, 2008a). Aufgrund der erhöhten Mobilität in unserer Gesellschaft ist der Aufenthaltsort des Nutzers ständigen Veränderungen unterworfen und dennoch will und soll der Nutzer jederzeit und überall mit aktuellen, seiner geographischen Position entsprechenden Informationen versorgt werden. Um dies zu gewährleisten, besteht die technologische Infrastruktur für LBS nach FRANCICA (2008a) aus den folgenden drei Komponenten:

- Infrastruktur zur Ortsbestimmung: Globale satellitengestützte Positionierungssysteme,
- Empfänger für Signale der Infrastruktur zur Ortsbestimmung in kabellosem, mobilem und handlichem Endgerät,
- Anwendungsserver, der mittels GIS zur ermittelten Nutzerposition passende Informationen bereitstellt.

Für die Entwicklung von LBS sind die zunehmende Verbreitung mobiler Kommunikationstechnologien und die Fortschritte im Bereich der GIS verantwortlich. In den Vereinigten Staaten begünstigte die **Enhanced-911 (E911)**-Verfügung der Federal Communications Commission⁴⁴ die Realisierung dieser Dienste. E911 ist die automatische Anruferortung beim Absetzen eines Notrufs über die Nummer 911. Dem entspricht in der Europäischen Union die E112-Initiative.

Wenn dem Ort und der Situation in einer Anwendung Schlüsselrollen zukommen, werden sie als **Location-aware Computing** (auf den Ort abgestimmte Datenverarbeitung) und **Context-aware Services** (auf den Kontext abgestimmte Dienste) bezeichnet. LBS nutzen das Location-aware Computing, gleichzeitig ist aber die Nutzerposition, also der Ortsbezug auch als zusätzlicher Parameter für Context-aware Services anzusehen. Es ist zwischen zwei Arten von ortsbezogenen Diensten zu unterscheiden (JIANG und YAO, 2006):

Pull Services verlangen vom Nutzer eine aktive Anfrage, z. B. das Abrufen von Karten oder von Fahrtrichtungsangaben einer Routenberechnung.

Push Services versorgen den mobilen Kunden unaufgefordert mit Informationen, sobald dieser einen vorgegebenen Raum durchquert. Dieser Dienst wird z. B. für Werbung benutzt.

⁴⁴ <http://www.fcc.gov> – Zugriffsdatum: 03.2009

Bei beiden wird die Nutzerposition über ein Kommunikationsnetzwerk, z. B. Internet, UMTS oder GSM, an den Dienstanbieter (Location Service Provider) oder ein Geoportal gesendet. Der Dienstanbieter bearbeitet, ggf. unter Berücksichtigung der Persönlichkeitsmerkmale des Nutzers, die Anfrage, fügt der Position evtl. weitere Informationen hinzu und erstellt damit eine auf die Nutzerposition und -merkmale abgestimmte Antwort, die an den Nutzer zurückgesendet wird (TIMPF, 2008). Als Schlüsselanwendungen für LBS führt FRANCICA (2008a) unter anderem an:

- Automatische Positions-Identifikation bei Notfällen (E911, E112),
- Logistik und Transport,
- Persönliche Navigation,
- Telematik,
- Soziale Netzwerke.

Aus diesen Beispielen zeigt sich, dass es sich bei LBS um „Dienste an der Schnittstelle zwischen Geoinformation, Telekommunikation, Positionierung und Navigation“ handelt (BARTELMÉ, 2005, S. 39). Die Anwendungen, die „im Hintergrund GIS-Dienste und -Funktionen für Ortung, Geokodierung, Kartenvisualisierung, Tourenplanung etc. nutzen“ (ZIPF, 2002b, S. 2), sind auch für den Massenmarkt bestimmt. Insofern werden WebGIS als webgestützte Geodaten-dienste für LBS genutzt.

Echte Context-aware Services sind also mehr als Location-based Services: sie berücksichtigen neben dem räumlichen Kontext weitere Aspekte des Nutzerprofils, nämlich insbes. die 4W-Fragen wer, was, wo und wann. Denn im Moment der Nutzung eines Dienstes führt jemand (wer?) eine Aktivität (was?) an einem bestimmten Ort (wo?) und zu einer bestimmten Zeit (wann?) aus. Die Informationen, die dabei gesammelt werden, werden nach CASTELLI et al. (2007) als W4-Tupel bezeichnet. Dies macht nach ZIPF (2004a) ein **adaptives** Softwaresystem aus: Es sammelt automatisiert Kenntnisse über den Nutzer und erinnert sich selbständig an dessen individuelle Eigenschaften. Demgegenüber ist der Nutzer eines **adaptierbaren** Systems selbst für die Systemeinstellungen verantwortlich.

Im Zusammenhang und als Erweiterung der LBS um „– in der Regel sehr kleine [...] – Sensoren, Prozessoren und Aktuatoren, die miteinander kommunizieren und Aktionen auslösen und steuern“ (BIZER et al., 2006) kündigte ZIPF (2004a) einen Artikel mit dem Titel „Special issue on ‚LBS and Ubiquitous GIS‘ “ an, in dem

UbiGIS = Ubiquitous GIS = Ubiquitous Geographic Information Services

definiert werden sollte als

„Allgegenwärtige Dienste (auf Basis des UbiComp), mit denen eine kontextabhängige (d. h. adaptive) Interaktion realisiert durch Informationen und Funktionen von Geographischen Informationsdiensten im Rahmen einer interoperablen Geodateninfrastruktur (GDI) stattfindet.“

Damit sollten die Ziele von LBS und GDI (1) mit denen des UbiComp und Kontext-adaptiver Systeme (2) vereint werden:

- (1) raumbezogene Informationen und Dienste können jederzeit und überall genutzt werden,

- (2) die richtigen Informationen und Dienste werden zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Art und Weise an den richtigen Nutzer geliefert.

UbiGIS lehnt sich an den von WEISER (1991) geprägten Begriff Ubiquitous Computing oder abgekürzt UbiComp an. Dieser bezeichnet das Zusammentreffen der *pervasive computing* genannten Miniaturisierung von Computerhardware und ihre Einbettung in andere Gegenstände mit der zunehmenden Verwendung mobiler Endgeräte, dem *mobile computing*. UbiComp bezeichnet so die Allgegenwärtigkeit von kleinsten, miteinander vernetzten Computern in Alltagsgegenständen. Als Beispiel für allgegenwärtige Dienste – zeitlicher als auch räumlicher Art – kann die RFID-Technologie genannt werden, die MILLER (2008) als „herausragende location-aware technology“ bezeichnet. Diese besteht aus einem kleinen RFID-Sender, der Personen, Tiere oder Gegenstände kennzeichnet, in dem er Radiowellen aussendet und so von einem RFID-Empfänger automatisch identifiziert und lokalisiert werden kann (KERN, 2006).

Demnach steht die Abkürzung GIS nicht zwingend, wie anfangs definiert, für Geographisches Informationssystem, sondern kann auch für Geographische Informationsdienste (geo information services) verwendet werden (vgl. auch LONGLEY et al., 2005). Mit UbiComp-Technologien mögen sich in der Zukunft auch GIS und LBS verändern, aber bisher sind Sensoren in Kleidung, Taschen und anderen Alltagsgegenständen noch so selten, dass dem im Rahmen dieser Arbeit keine größere Bedeutung beigemessen werden. Auch wird die Abkürzung GIS für Geographisches Informationssystem beibehalten. Die Bezeichnung UbiGIS setzte sich nicht als Fachterminus durch, wahrscheinlich, weil viele Autoren die Kombination der vorhandenen Technologien in der schon sehr breit aufgestellten Beschreibung für LBS (JIANG und YAO, 2006) vereint sehen. Der von ZIPF (2004a) angekündigte, oben erwähnte Artikel, erschien dann auch ohne inhaltlichen Bezug zu „ubiquitous“ als „An Introduction to the Special Issue on LBS and GIS“ (JIANG und ZIPF, 2004).

Auch im Bereich der Datenerfassung werden mobile Technologien, sogenannte mobile GIS, eingesetzt: Dies sind Komponenten eines GIS (vgl. Kap. 2.2), bei dem die GIS-Software nicht auf Arbeitsplatz-Rechnern, sondern auf mobilen Endgeräten im Außendienst zum Einsatz kommt (GI Geoinformatik GmbH, 2007). Außerdem sind die Positionsbestimmung, z. B. über GPS oder Mobilfunklösungen (vgl. Kap. 3.5.2) sowie eine kabellose Verbindung zum Geodatenserver Merkmale mobiler GIS-Lösungen. Als mobile Endgeräte finden alle tragbaren Geräte, insbesondere Handys, Smartphones oder Persönliche Digitale Assistenten (PDA) Verwendung, in die zur Ermittlung der Nutzerposition eine Technologie zur Ortsbestimmung integriert sein sollte (FRANCICA, 2008a). Der Geodatenserver speichert die Geodaten, stellt sie bei Bedarf zur Verfügung und übernimmt Berechnungen, für die die Kapazitäten des mobilen Endgeräts nicht ausreichen. Mobile GIS-Lösungen und LBS erfordern ein spezielles Schnittstellen-Design (Kap. 2.3.2) mit auf Nutzer und Gerät zugeschnittenen Visualisierungsmethoden (Kap. 3.6.3) (DILLEMUTH, 2005). Zusammenfassend sei ein mobiles GIS nach TSOU (2004) definiert als

„ein integriertes Software/Hardware-System für den Zugang zu räumlichen Daten und Diensten durch mobile Endgeräte über leitungsgebundene oder kabellose Netzwerke“.

2.6.2 Räumliche Orientierung, Routing und Navigation

WebGIS können eingesetzt werden, um mithilfe dynamischer und interaktiver Karten Orientierungshilfen zu geben. Dies kann sowohl online an einem entfernten Computer geschehen, z. B. in Vorbereitung auf einen Besuch in einer fremden Stadt, als auch mithilfe mobiler Endgeräte vor Ort und zur Echtzeit. In diesem Kapitel sollen die drei Begriffe Orientierung, Routing und Navigation definiert und damit voneinander abgegrenzt werden. Hierbei soll zunächst ein kurzer historischer Exkurs helfen.

Exkurs: Orientierung

Insbesondere die Seefahrer hatten bis ins 18. Jahrhundert große Probleme, sich auf dem Meer zu orientieren und ihre Schiffe zu navigieren. Die Bestimmung des Breitengrads anhand des Sonnenstands oder der Sterne war und ist noch relativ einfach und genau: mithilfe des Sextanten lässt sich der Breitengrad durch Messung von Vertikalwinkeln zwischen der Sonne im Zenit oder einem markanten Fixstern und dem Horizont bestimmen (WILLE, 2005). Aus der Höhe des Polarsterns lässt sich der Breitengrad unmittelbar ablesen. Durch seine Position, fast genau in der Verlängerung der Erdachse über dem Nordpol, erkennt ein am Nordpol stehender Beobachter, da der Polarstern dort senkrecht über ihm steht, dass er sich auf 90° n. Br. befindet. Am Äquator steht der Polarstern am Horizont, daher geographische Breite 0° . Ist der Polarstern in einer Höhe von ca. 60° über dem Horizont zu sehen, befindet sich der Beobachter auf 60° n. Br. (JESCHOR und BLEIEL, 1989). Auf der Südhalbkugel können die Sterne des Sternbilds „Kreuz des Südens“ als Orientierungshilfe dienen. Problematisch war für die Seefahrer dagegen die Bestimmung des Längengrads. Erst mit einer exakten Uhr, die weder durch raue See noch durch Temperaturschwankungen eine falsche Zeit anzeigte, konnte auch die Position bezüglich der Längengrade ermittelt werden: die Erde, die schon von Ptolemäus in 360 Längengrade eingeteilt wurde, dreht sich in 24h „unter der Sonne weg“. Das bedeutet, dass sie sich pro Stunde um einen Winkel von 15° dreht. So gibt es jederzeit einen von Ost nach West rückenden Kreisbogen gleicher Längenkoordinate, in der die Sonne im Zenit steht, d. h. auf der es 12 Uhr mittags ist. Mit dem Wissen, dass ein Grad am Äquator einer Entfernung von ca. 111 km entspricht und diese Distanz nach Norden und Süden abnimmt bis sie an den Polen Null erreicht, kann mit einer genauen Uhr an Bord, die die Uhrzeit des Heimathafens anzeigt, die Entfernung dorthin berechnet und zusammen mit der wie zuvor beschrieben bestimmten Breitengrad-Position die Position des Schiffes exakt bestimmt werden (SOBEL und ANDREWES, 2000). Heutige Methoden der Ortsbestimmung sind müheloser anzuwenden (vgl. Kap. 3.5.2).

BILL et al. (2001–2008) erklären **Orientierung** als „Bestimmung des Standpunkts oder einer Richtung mittels Karte und Kompass nach Kartenpunkten im Gelände“. Die Hilfsmittel sind jedoch weiter zu fassen als auf Karte und Kompass zu beschränken. Neben Sonne und Sternen sowie Seezeichen und Leuchtfuern wie bei den Seefahrern können vielfältige Anhaltspunkte in

der Natur helfen, den eigenen Standort zu bestimmen: ein markanter Baum, Geländeerhebungen, Gewässer oder Straßenkreuzungen sind nur ein paar Beispiele sogenannter Landmarken (landmarks), deren Standorte bekannt sind und die so bei einem Vergleich zwischen Umgebung und Karte eine Positionsbestimmung ermöglichen.

Heute kommen immer seltener die traditionellen Hilfsmittel wie ein Kompass zum Einsatz. Bedingt durch die technischen Entwicklungen und Errungenschaften der letzten Jahre wurde er vielfach von elektronischen mobilen Endgeräten abgelöst. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist abhängig von den verwendeten Technologien, die sich nach GREJNER-BRZEZINSKA (2004) in Netzwerk-basierte oder Satelliten-basierte Systeme unterscheiden lassen. Mit einem Lagefehler von 250 m im Stadtgebiet und bis zu 35 km in ländlicher Region recht ungenau ist die Positionsbestimmung über die Funkzellenkennung der Mobilfunkanbieter (Cell-ID), die sogenannte Funkzellen- oder GSM-Ortung (BILL et al., 2004). Durch eine Aufteilung der Funkzellen in Sektoren, Signalstärke- und -laufzeitmessungen oder über eine Triangulierung kann die Genauigkeit auf 25-100 m erhöht werden (GRAUL, 2002; KOFAHL, 2007). Über WLAN-Infrastrukturen lassen sich Standorte mit einer Genauigkeit einiger Meter bestimmen (BRIELE, 2006). Da bei diesen Technologien der Nutzer selbst oftmals keine explizite Information über seinen Standort erhält, helfen ihm diese Möglichkeiten nicht bei dem Versuch, sich aktiv zu orientieren. Es handelt sich hier eher um eine **Ortung**, bei der der Nutzer eine passive Rolle spielt, aber aufgrund der Bestimmung seines Aufenthaltsortes von anderen Informationen profitieren kann (vgl. Kap. 2.6).

Globale Satellitenmesssysteme (Global Navigation Satellite System: GNSS), wie z. B. GPS oder Galileo, dagegen informieren den Nutzer durch Angabe von Koordinaten oder Anzeige des Standorts auf einer digitalen Karte. Aufgrund ihrer großen Bedeutung werden diese Systeme in Kap. 3.1.3 separat behandelt. Ohne Berücksichtigung der verwendeten Hilfsmittel sei zusammenfassend definiert: Orientierung bezeichnet die Fähigkeit, den eigenen Standpunkt und die (Himmels-) Richtungen der Umgebung in Bezug auf eine kartographische Beschreibung zu bestimmen.

Während das Fremdwörterlexikon den Begriff **Routing** nur auf die Übertragung von Datenpaketen in einem Datennetzwerk bezieht und dafür als „Ermitteln eines geeigneten (bes. günstigen) Wegs“ beschreibt⁴⁵, ist der Begriff heute doch weiter zu fassen. MARTIN und EIBLMAIER (2002) definieren Routing oder auch **Routenplanung** als „Planung von Fahrtrouten mithilfe von Routenplanungssystemen. Auf der Basis von digitalen Karten wird bei der Routenplanung eine optimale Verbindung in Form der schnellsten, kostengünstigsten oder kürzesten Strecke zwischen Startort, Zwischenstationen und Zielort ermittelt. Der ermittelte Streckenverlauf wird sowohl in kartographischer als auch in tabellarischer Form dargestellt. Im Gegensatz zur Fahrzeugnavigation wird die Routenplanung in der Regel vor Fahrtantritt durchgeführt.“

Der Begriff **Navigation** (lat. navigare, Führen eines Schiffs) bezeichnet ursprünglich ein „Verfahren zur Orts-, Kurs- und Geschwindigkeitsbestimmung von Schiffen, Unterwasser-, Luft- und Raumfahrzeugen“ (MARTIN und EIBLMAIER, 2002), hat aber insbesondere in den letzten Jahren

⁴⁵ Dudenredaktion; Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG (Hrsg.) 2009: *Duden. Das Fremdwörterbuch*. 9. Auflage.

durch die Navigationssysteme in Kraftfahrzeugen eine Erweiterung seiner Bedeutung erfahren. Nach BILL et al. (2001–2008) beschreibt Navigation eine „präzise Orts- und Kursbestimmung im dreidimensionalen Raum bezogen auf den aktuellen Zeitpunkt.“ Der Prozess der Navigation setzt sich aus drei Teilbereichen zusammen: (1) mithilfe einer Ortsbestimmung (vgl. Orientierung) ist die genaue geographische Position zu ermitteln. Es folgt (2) die Berechnung des optimalen Weges zum Ziel; damit ist das Routing ein Bestandteil der Navigation. Und schließlich beinhaltet die Navigation (3) das Führen vom Ausgangs- zum Zielpunkt.

2.6.3 Anwenderschnittstellen ausgewählter webgestützter Routingdienste

Eine Vielzahl von Unternehmen bieten Routenplaner im Internet an. Darunter sind ursprünglich durch kartographische Produkte bekannte Unternehmen wie ViaMichelin oder Falk, Automobilclubs wie der ADAC und auch Internetunternehmen wie Google, Yahoo oder map24.de. Ihre Angebote richten sich hauptsächlich an Autofahrer. Für diese Nutzergruppe wurden die zugrunde liegenden Straßennetze erfasst, die auch in Kfz-Navigationssystemen eingesetzt werden. Manche Anbieter ermöglichen dem Nutzer, das verwendete Fahrzeug zu spezifizieren. So sind Routenberechnungen auch für Motorräder, LKW oder Wohnwagengespanne möglich. Ob die spezifischen Parameter wie z. B. Durchfahrtshöhen oder Tonnagen für LKW berücksichtigt werden, ist jedoch stets genau zu prüfen. Verschiedene Anbieter modifizieren nämlich nur die durchschnittliche Geschwindigkeit, die sich durch die für LKW erlaubte Geschwindigkeit entsprechend reduziert, so dass sich die Fahrtdauer erhöht. Auch die Berechnungen für Fahrradfahrer und Fußgänger berücksichtigen nicht deren spezielle Bedürfnisse wie die Nutzung ausgewiesener Rad- und Fußwege. Meist bedeutet diese Einstellung nur, dass Schnellstraßen und Autobahnen gemieden werden und zur Berechnung der Dauer die durchschnittliche Geschwindigkeit an die von Fußgängern bzw. Radfahrern angepasst wird. Es ist davon auszugehen, dass auch auf diese Nutzergruppen in Zukunft vermehrt geachtet wird und entsprechende Anwendungen angeboten werden. Nokia Deutschland (2009a) startete im Oktober 2009 in ausgewählten Städten eine Werbekampagne für Ovi Karten mit den Titeln „Navigation, die keine asphaltierten Wege braucht“, „Navigation, die auch Abkürzungen kennt“ sowie „Navigation, die von jedem Parkplatz aus weiterweiß“. „Anders als übliche Navigationssoftware, führt Ovi Karten 3.0 den wegsuchenden Fußgänger sicher auch über nicht asphaltierte Wege, durch Fußgängerzonen oder Parkanlagen und findet so stets den kürzesten und unkompliziertesten Weg (...)“ (Nokia Deutschland, 2009).

Die Routingdienste unterscheiden sich insbes. durch die Möglichkeiten der Parametereingaben durch den Anwender. Ausgewählte Dienste sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden. Um die Optionen und Eingabe-Parameter vergleichen zu können, wurden Anfang November 2009 exemplarisch jeweils eine Kurzstrecke im Kölner Stadtgebiet (Kalscheurer Weg - Zülpicher Straße, ca. 3,5 km) und eine ca. 70 km lange Strecke (Köln-Zollstock - Würselen) berechnet. Ziel dieser Tests ist nicht, die Routenplaner zu bewerten, sondern lediglich unterschiedliche Benutzerschnittstellen vorzustellen (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Ausgewählte Parameter und Optionen ausgewählter Routenplaner im Vergleich (Stand: Nov. 2009; eigene Darstellung)

Parameter, technischer Hintergrund	Google Maps	Via Michelin	Map24
Start- und Zieleingabe			
- alphanumerisch	+	+	+
- per Klick auf Karte	+	+	+
Etappenorte	+	+	+
Routenberechnung für			
- PKW	+*	+	+
- PKW mit Anhänger	-	+	+
- Fahrrad	-	+*	+
- Motorrad	-	+	+
- Fußgänger	+* ¹	+ <50 km	+
Distanzangaben			
- in Kilometer	+	+*	-
- in Meilen	+	+	-
Optionen			
- Autobahnen meiden	+	-	+
- Mautstraßen meiden	+	+*	+
- Landstraßen bevorzugen	-	+*	-
- Vignette meiden	-	+*	-
- Routen ohne Fähre	-	+*	+
- Autozüge meiden	-	-	+
- Grenzüberschreitung erlauben	-	+*	-
Routenarten			
- empfohlen	-	+*	-
- schnellste	-	+	+
- kürzeste	-	+	+
- sehenswert	-	+	-
- wirtschaftlich	-	+*	-
Entlang der Route darzustellen (POIs)			
- Hotels	-	-	+*
- Restaurants	+* ²	+	+*
- Sehenswürdigkeiten	+* ²	+	+
- ÖPNV	+* ²	+	-
- weitere Kategorien (Anzahl)	8	1	22
Verkehrsmeldungen	-	+	+
Umweltzone	-	-	+
Radarstationen	-	+	+

Fortsetzung nächste Seite

Parameter, technischer Hintergrund	Google Maps	Via Michelin	Map24
Anbieter			
- Datensatz	Tele Atlas	Tele Atlas	NAVTEQ
- Luft-/Satellitenbild	TerraMetrics	Virtual Earth	Digital Globe
Anzeige			
- hybrid	+*	+	+
- Geländedarstellung	+	-	-
- Flug	-	-	+
- 3D	-	-	+
+ = ja, vorhanden - = nein, nicht vorhanden * = Standard *1 = Anwendung im Beta-Stadium *2 = automatische Darstellung bei Zoom-in			

Ähnlich schlicht wie das Suchportal bei Google ist der Routingdienst des gleichen Anbieters: Nach dem Aufrufen der Anwendung „Route berechnen“ können entweder durch alphanumerische Eingabe oder durch rechten Mausklick auf die Karte Start- (Route von hier) und Zielpunkt (Route hierher) eingegeben werden. Auf die gleiche Weise können mehrere Ziele als Etappenorte ergänzt werden. Standardmäßig wird eine Route für das Auto berechnet. Ein Umschalten zur Fußwegberechnung ist möglich. Diese Anwendung befindet sich aber noch im Beta-Stadium, d. h. die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Die Warnung „Seien Sie vorsichtig! - Auf dieser Route gibt es möglicherweise keine Bürgersteige oder Fußwege.“ lässt vermuten, dass der zugrunde liegende Datensatz ursprünglich für die Nutzung der Straßen erhoben wurde und entsprechende Informationen für Fußgänger noch nicht vorliegen. Bei beiden Berechnungen werden die Entfernungen wahlweise in Meilen oder Kilometer angegeben. Zusätzliche Optionen bei der Auswahl „Mit dem Auto“ sind Berechnungen unter Vermeidung von Autobahnen bzw. Mautstraßen. Google maps greift auf die Daten von Tele Atlas zurück. Beide Unternehmen haben mit einem fünfjährigen Lizenzvertrag vereinbart, dass Google für seine Dienste „Maps“, „Earth“ und „Maps for Mobile“ Zugang zu den Tele Atlas Daten und dynamischen Inhalten für über 200 Staaten weltweit erhält. Im Gegenzug kann Tele Atlas auf die Kartenänderungen von Google-Nutzern zugreifen (DELANEY und BOSMANS, 2008). Die Kartenansicht ist standardmäßig mit einem Satellitenbild von TerraMetrics unterlegt. Es ist möglich, das Satellitenbild auszublenden und stattdessen nur die Karte oder aber eine Geländedarstellung anzuzeigen. Die in der Karte dargestellte, vorgeschlagene Route kann zum Ändern mit der Maus an beliebigen Punkten verschoben werden. Es erfolgt umgehend eine Neuberechnung und eine modifizierte Wegbeschreibung.

Die Standardansicht des Routenplaners von ViaMichelin bietet neben der Eingabemaske für Abfahrts- und Ankunftsort die folgenden Routenarten-Optionen:

- Empfohlen von ViaMichelin
- Schnellste
- Kürzeste

- Sehenswert
- Wirtschaftlich

Außerdem ist ein Umschalten zu einer Wegeberechnung für Fußgänger und Fahrradfahrer möglich. Jedoch scheint auch diese Anwendung für Fußgänger noch nicht ganz ausgereift, denn in der Routenbeschreibung ist zu lesen „Fahren Sie nach...“ bzw. „Weiterfahren auf...“. Die Fußgängerrouuten von ViaMichelin können nicht länger als 50 km sein. ViaMichelin bietet als Routenoptionen:

- Landstraßen bevorzugen
- Mautstrecken meiden
- Vignetten meiden
- Routen ohne Fähren, etc.
- Überfahren der Grenze erlauben

Als Routenparameter können das Abfahrtsdatum eingegeben sowie die Ausgabe in Kilometer oder Meilen angefordert werden. ViaMichelin berechnet – in Abhängigkeit der für die Fahrzeugberechnung angegebenen Parameter – zusätzlich zur Entfernung auch die entstehenden Kosten. Die Route kann durch Eingabe von Etappenzielen, alphanumerisch oder durch Mausklick auf die Karte, editiert und Neuberechnet werden. In der Kartenansicht sind Hotels, Restaurants unterschiedlicher Kategorien sowie touristische Zusatzinformationen darstellbar. Der Routenberechnung von ViaMichelin liegen ebenfalls die Tele Atlas-Daten zugrunde. Wahlweise können Satellitenbild-Daten von Virtual Earth die Kartenansicht ersetzen oder in einer Hybridansicht ergänzen.

Map24 greift auf den zweiten großen Anbieter von Routing-Datensätzen, NAVTEQ, zurück. Die auch hier zuschaltbaren Satelliten- und Hybridansichten zeigen Bilddaten von DigitalGlobe. Die Routenoptionen ähneln denen von ViaMichelin. Map24 ermöglicht jedoch schon vor der Routenberechnung aus einer Auswahl von Sonderzielen (POI: Points of Interest) eine Kategorie auszuwählen, die in die Karte als auch in die Routenbeschreibung integriert wird. Bei der Karte kann eine 3D-Ansicht gewählt werden; hier wird das Kartenbild allerdings nur gekippt, 3D-Informationen sind weder vom Gelände noch von Gebäuden erhältlich. Als einziger der hier vorgestellten Routenplaner zeigen die großmaßstäbigen Kartenansichten von Map24 zusätzlich Gebäudegrundrisse.

Verschiedene Ansätze, Routinganwendungen für Radfahrer, Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen zu erstellen, basieren auf den Daten von OpenStreetMap, die sich durch die detaillierte Erfassung – auch von Fahrrad- und Fußwegen – hervorheben (Kap. 2.5.5):

- OpenRouteService⁴⁶
- Radroutenplaner⁴⁷
- Rollstuhl-Routing⁴⁸

⁴⁶ <http://data.giub.uni-bonn.de/openrouteservice/index.php>
– Zugriffsdatum: 05.11.2009

⁴⁷ <http://www.fahrradies.net> – Zugriffsdatum: 05.11.2009

⁴⁸ <http://www.rollstuhlrouting.de> – Zugriffsdatum: 05.11.2009

2.7 Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld

Die Einsatzmöglichkeiten von raumbezogenen Anwendungen und damit auch von GIS sind vielfältig; zahlreiche der in Kap. 2.2.4 beispielhaft genannten Anwendungsgebiete lassen sich auf die Nutzung im universitären Umfeld übertragen. Dies gilt insbesondere bei großen Universitäten, die über eigene Liegenschaften verfügen. Mit einer Fläche von ca. zwei km², über 130 universitätseigenen Gebäuden mit einer HNF von 220 000 m² und zusätzlich angemieteten Objekten sowie etwa 50 000 Akteuren gehört die Universität zu Köln zu den größten Hochschulen Deutschlands. Sie eignet sich somit besonders dafür, die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld darzustellen. In Abwägung von Aufwand und Gewinn des Einsatzes eines GIS sind ausgewählte Anwendungen selbstverständlich auch für kleinere Universitäten sinnvoll.

Die Vielfalt der raumbezogenen Fragestellungen und der sich daraus ergebenden Einsatzmöglichkeiten sollen in diesem Unterkapitel erörtert werden. Abb. 2.11 zeigt drei spezifische Nutzergruppen mit ihren möglichen Fragestellungen, die von einem webgestützten und ggf. mobilen GIS beantwortet werden können:

Nutzergruppe 1 Studierende und Mitarbeiter

Nutzergruppe 2 Verwaltung der Universität

Nutzergruppe 3 Besucher

Die Nutzergruppe 1 beinhaltet alle Personen, die sich für ein Studium interessieren, studieren oder als Lehrende, Forschende oder wissenschaftsnahes Personal am Hochschulbetrieb beteiligt sind. Dazu gehören auch Studierende besonderer Studienangebote wie KinderUni, JuniorUniversität, des Schüler- und Seniorenstudiums sowie Gasthörer, ausländische Studierende und Gastwissenschaftler. Bei dieser Nutzergruppe steht oftmals die Frage „Wo finde ich...?“ und damit die Orientierung im Mittelpunkt der raumbezogenen Anwendungen. Gesucht werden können z. B.:

- hochschulinterne Infrastruktur:
 - zentrale und fachspezifische Studienberatung
 - Lehrende
 - Bibliotheken
 - Mensen
 - Kopierer
 - Prüfungsämter
 - Studentische Selbstverwaltung (AStA, Hochschulgruppen, Fachschaften)
 - Hörsäle, Seminarräume
 - Computerräume und IT-Infrastruktur
- ortsnahe Infrastruktur
 - Wohnungen
 - Hotels
 - Freizeitmöglichkeiten
 - Einzelhandel und Dienstleistungen

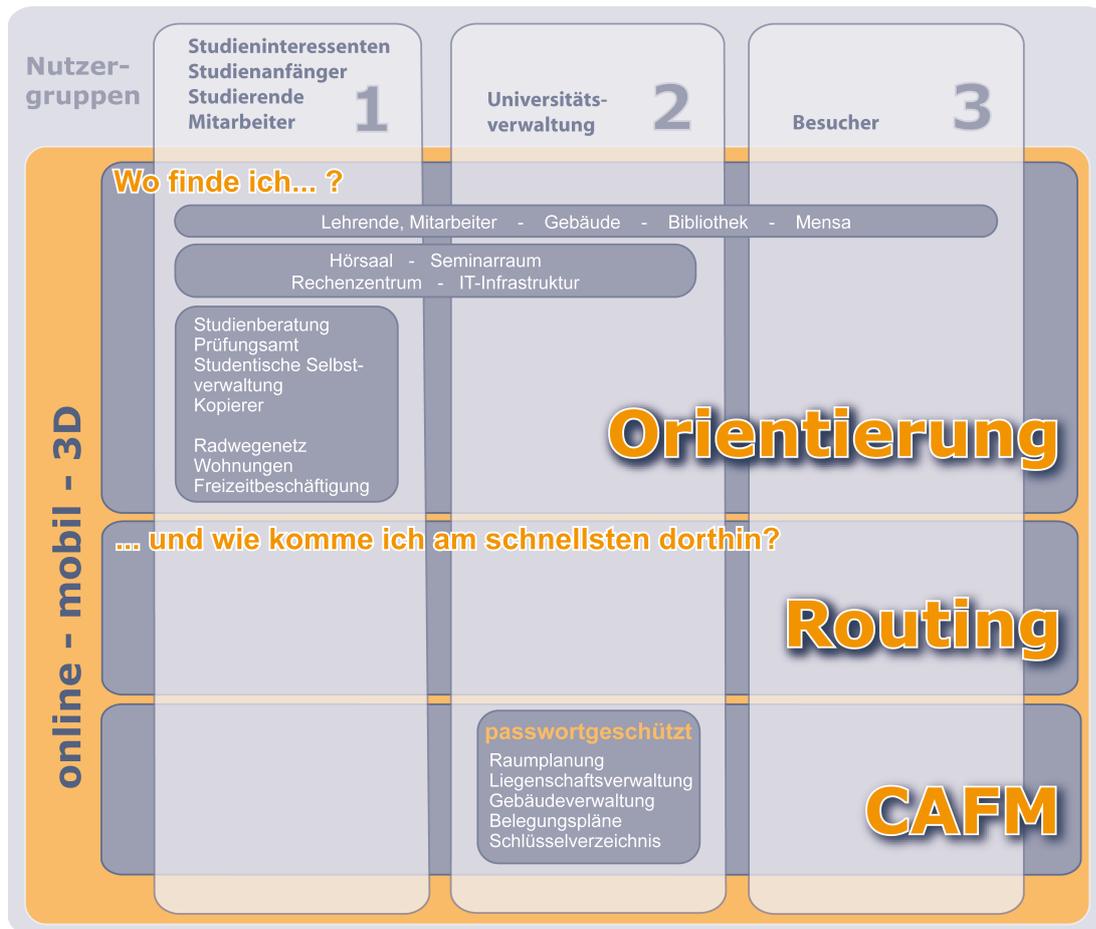


Abb. 2.11: Einsatzmöglichkeiten raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld (eigene Darstellung)

Nach Beantwortung dieser Fragen folgt meistens die Frage „Wie komme ich auf dem schnellsten Weg dorthin?“. Eine Routinganwendung kann hier Abhilfe schaffen. Eine der Abfrage entsprechend generierte digitale Karte hilft dem Nutzer, sich die räumlichen Gegebenheiten vorstellen zu können. Außerdem kann die generierte Karte ausgedruckt werden oder bei Verfügbarkeit mobiler Endgeräte auch vor Ort in Echtzeit generiert und visualisiert werden. Neben einem ersten Eindruck, der realitätsnäher durch die Ergänzung von Luftbildern oder 3D-Modellen visualisiert werden kann, sind nutzerspezifische Informationen integrierbar, die für einzelne Untergruppen dieser Nutzergruppe von Bedeutung sein können. Im Einzelnen können dies z. B. sein:

- für Studieninteressierte:
 - räumliche Verteilung der gewählten Studienfächer auf dem Campus
 - Anbindung an das Radwege- und ÖPNV-Netz
 - Möglichkeiten und Nähe zu Freizeitbeschäftigungen

- für Studierende und Mitarbeiter mit Behinderung
 - Behindertenparkplätze
 - behindertengerechte WCs
 - behindertengerechte Zugänge
- für Studierende und Mitarbeiter mit Kind
 - Wickelraum
 - Kindergarten
 - treppenfreie Zugänge

Viele der für die Nutzergruppe 1 genannten Fragestellungen zur Orientierung auf dem Campus sind auch für die Mitarbeiter der Universitätsverwaltung, Nutzergruppe 2, interessant. Zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich in den administrativen Aufgaben der Universitätsverwaltung bei der Planung von Neubauten, der aktiven Nutzung von Gebäude bis zur Umbau- und Umzugsplanung, zusammengefasst unter dem Stichwort der rechnergestützten Gebäudeverwaltung (computer-aided facility management, CAFM) die im Folgenden beispielhaft dargestellt werden:

- Raumplanung
- Liegenschaftsverwaltung
- Gebäudeverwaltung
- Ermittlung der Reinigungsflächen
- Belegungspläne der Hörsäle und Seminarräume
- Schlüsselverwaltung

Insbesondere bei den Belegungsplänen der Hörsäle und Seminarräume sowie der Schlüsselverwaltung ergeben sich Schnittpunkte zu den Planungen innerhalb der Fakultäten und Institute. Eine zentrale Verwaltung in einem GIS kann hier Doppelbelegungen und redundante Datenhaltung vermeiden. Die Liegenschafts- und Gebäudeverwaltung muss auf Detailpläne wie CAD-Zeichnungen auch vor Ort zugreifen können, um technische Arbeiten durchführen oder mit diesen Arbeiten beauftragte Handwerker über Installationen informieren zu können. Es bietet sich ein webgestütztes GIS an, das aus Sicherheitsgründen für sensible Daten über passwortgeschützte Bereiche verfügen sollte.

Als dritte Nutzergruppe sind Besucher zu nennen, die nicht den Hochschulbetrieb selbst, jedoch die der Öffentlichkeit zugängliche Infrastruktur wie öffentliche Bibliotheken oder die Mensen nutzen. Das CampusGIS kann auch ihnen bei der Orientierung helfen. Dafür eignet sich eine Webanwendung zur Information am heimischen PC wiederum ebenso wie eine mobile Lösung.

Insbesondere alte Universitäten wie die Universität zu Köln sind auch Anziehungspunkt für Besucher, die sich für die Geschichte, Architektur oder die Wechselbeziehungen zwischen Universität und Stadt interessieren. Tourismusbüros vieler Städte bieten ihren Gästen umfangreiche multimediale Informationen über das Internet an (vgl. REHBACH, 2009). Auch eine Universität kann sich in dieser Weise der Öffentlichkeit vorstellen. Für das an das CampusGIS angeschlossene Pilotprojekt CampusRundgänge (vgl. Kap. 4.6.5) wurden Informationen zusammengetragen, die verschiedene mit der Universität verknüpfte Themenbereiche abdecken. An jeweils etwa sieben bis zehn Standorten werden interessante oder bedeutende Fakten themenbezogen

präsentiert. Die Rundgänge sind als Pfade, die die zugehörigen Standorte verbinden, auf der CampusRundgänge-Karte dargestellt. Informationen zu den Standorten werden neben der Karte angezeigt. Karte und Informationen können über das Internet abgerufen werden, so ist eine virtuelle Begehung möglich. Außerdem können die Webseiten ausgedruckt und als Wegweiser für einen informativen Spaziergang genutzt werden.

Umgesetzt sind bereits Rundgänge zu den Themen Geschichte und Architektur der Universität. Geplant sind die Themen „berühmte Forscherinnen und Forscher“, „bedeutende Institute und Einrichtungen“ sowie eine Zusammenstellung der interessantesten Standorte aus den genannten Rundgängen. Insbesondere für Studienanfänger würde sich ein Rundgang eignen, der die fachübergreifenden universitären Einrichtungen wie Mensa, Bibliotheken, Studienberatung usw. vorstellt. Für den internationalen Wettbewerb der Hochschulen könnte sich die Universität zu Köln außerdem mehrsprachig und mit einem Überblick über die in Köln angebotenen Studienfächer präsentieren.

3 Daten und Methoden

Mit Befragungen, Kartierungen oder Messungen werden Informationen über den Lebensraum des Menschen gesammelt und als Daten in Dateien oder Datenbanken verwaltet. In digitaler Form können sie automatisiert verarbeitet werden. Den Geodaten sowie den verfügbaren alphanumerischen Attributdaten, die mit Geodaten verknüpft werden können, widmen sich die Kap. 3.2 und 3.3. Sie sind eingebettet in methoden-beschreibende Kapitel, die den funktionalen Komponenten EVAP (IMAP) eines GIS zuzuordnen sind (BILL, 1999a):

E – Erfassung (I: Input)

V – Verwaltung (M: Management)

A – Analyse (A: Analysis)

P – Präsentation (P: Presentation)

Unter **Erfassung** sind die Methoden zur Gewinnung der Daten zu verstehen: Geländeaufnahme, Luftbildmessung und Digitalisierung sind die Hauptlieferanten für Vektordaten. Sachdaten werden alphanumerisch eingegeben. Rasterdaten werden insbesondere von Satelliten, Kameras und Scannern erfasst (Kap. 3.1).

Die Methoden der Modellierung, Strukturierung und Speicherung raumbezogener digitaler Daten mit dem Ziel der interaktiven Manipulation und Verarbeitung werden unter der funktionalen Komponente **Verwaltung** zusammengefasst (Kap. 3.4). Während anfangs überwiegend netzwerkartige und relationale Datenbank-Modelle als geeignete Strukturen zur raumbezogenen Datenhaltung angesehen wurden, wird mit der Entwicklung und Verbreitung objektorientierter Programmierung bevorzugt eine objektorientierte Datenhaltung eingesetzt. Für die parallele Speicherung und Verarbeitung von sowohl Vektor- als auch Rasterdaten muss ein GIS ein hybrides Datenmanagement beherrschen.

Geodaten können entsprechend unzähliger Fragestellungen analysiert werden. Geometrische, logische und relationale Verknüpfungen sowie statistische Verfahren dienen der Gewinnung neuer Informationen und sind damit der **Analyse** zuzuordnen. Für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind insbesondere (Kap. 3.5):

Attributabfragen und attributive Selektion: Anzeige von Geoobjekteigenschaften und Auswahl von Geoobjekten über ihre Eigenschaften (Kap. 3.5.1)

Ortsbezogene Dienste (Location-based Services): Bereitstellung von Informationen in Bezug auf den aktuellen Aufenthaltsort des Nutzers (Kap. 3.5.2)

Kürzeste-Wege-Berechnung: Erstellung und Nutzung eines topologisch konsistenten, multimodalen Netzwerks (Kap. 3.5.3)

Mit der **Präsentation** werden raumbezogene Daten und Ergebnisse visualisiert (Kap. 3.6). In einem GIS werden dafür insbesondere die Methoden der Kartographie eingesetzt. Eine webge-

stützte Präsentation der raumbezogenen Daten und Analyseergebnisse wird durch Webdesign methodisch unterstützt. Als Ausgabemedium kommen dann Webbrowser auf Computerbildschirmen bis hin zu kleinen Displays mobiler Endgeräte zum Einsatz.

Das CampusGIS greift auf vielfältige Daten zurück, um Informationen über die Universität zu Köln zur Verfügung zu stellen. Neben erworbenen Geobasisdaten wurden ergänzende Daten erfasst, die zusammen mit attributiven Informationen in einem GIS zu verwalten sind. Entsprechend gestellter Anfragen werden Daten und Situationen analysiert und schließlich in einem WebGIS präsentiert. Sowohl die erfassten als auch zu verwaltenden Daten werden in diesem Kapitel beschrieben. Daneben werden die Methoden zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation erläutert.

3.1 Datenerfassung

Die Erfassung von Geodaten bezeichnet den „Prozess der Ablage von Fakten über die reale Welt in einem Speichermedium. Er ist gekennzeichnet durch Art, Umfang und Modell der Daten sowie die verwendeten Arbeitsmethoden“ (BÄHR und VÖGTLE, 1998, S. 3). Neben den Komponenten Verwaltung, Analyse und Präsentation ist die Datenerfassung eine Grundfunktion eines GIS und zum Aufbau einer vollständigen und aktuellen Geodateninfrastruktur für das CampusGIS unabdingbar. Aufgrund des Bearbeitungsstands sind zwei Datenarten zu unterscheiden: **Primärdaten**, auch Originär-, Roh- oder Urdaten, werden durch eine Datenerhebung oder eine Messung „direkt am Objekt oder dessen Abbild“ (BILL et al., 2001–2008) erzeugt. Sie wurden noch nicht bearbeitet. **Sekundärdaten** sind nach bestimmten Fragestellungen aus den Primärdaten abgeleitete und aufbereitete Daten. DE LANGE (2005, S. 197f.) erklärt, dass die Geobasisdaten (vgl. Kap. 3.2) den Stellenwert von Primärdaten haben und nennt als Ursprung weiterer Primärdaten u. a. die folgenden Methoden:

- Digitalisierung i. e. S.: Erfassung zweidimensionaler Lagekoordinaten mithilfe eines Digitalisiertabletts
- On-Screen-Digitalisierung: Erfassen zweidimensionaler Lagekoordinaten in einem Graphiksystem am Monitor anhand einer digitalen Karte als Referenzgrundlage im Bildschirmhintergrund
- Erfassen von dreidimensionalen Lagekoordinaten mithilfe des satellitengestützten Positionierungssystems GPS
- Erfassung mithilfe von Techniken der (digitalen) Fernerkundung

Die Geodatenerfassung ist damit Teil der Landesaufnahme, welche selbst wiederum neben der Kartographie einen Teilbereich der Geodäsie darstellt (KOHLSOCK, 2004). In vielen Staaten lag die topographische Landesaufnahme in militärischer Hand. Heute ist sie zusammen mit der Kartenherstellung als gesetzlicher Auftrag formuliert und gehört in Deutschland zu den Hoheitsaufgaben der Länder, die eigens dafür behördliche Institutionen, die im Allgemeinen als Landesvermessungsämter bezeichnet werden, eingerichtet haben. In den letzten Jahren kam es zu zahlreichen Namensänderungen, so dass nun neben der Vermessung auch die Aufgaben um die Geo(basis)information bereits im Namen der Landesverwaltungen, z. B. „Hessisches Landesamt

für Bodenmanagement und Geoinformation“, erkennbar sind.

Für die Aufnahme und Abbildung von Geobjekten sind Angaben zum Geodätischen Referenzsystem, bestehend aus Bezugsfläche und Grundlagenvermessung, grundlegend (Kap. 3.1.1). Im 19. Jahrhundert wurde zur Landesaufnahme das Messtischverfahren, ein Teilbereich der Tachymetrie, eingeführt (Kap. 3.1.2). Etwa in der Mitte des 20. Jahrhunderts hat sich neben der Tachymetrie die Photogrammetrie (Kap. 3.1.4) etabliert; beide Aufnahmeverfahren werden auch heute noch eingesetzt, jedoch immer mehr von Fernerkundungsanwendungen abgelöst (Kap. 3.1.5). Die GPS-Vermessung gewinnt zunehmend an Bedeutung (Kap. 3.1.3).

3.1.1 Trigonometrische Festpunktnetz-Erfassung

Die Festpunktnetz-Erfassung wird im Rahmen der geodätischen Grundlagenvermessung von den Institutionen der Landesvermessung durchgeführt. Dabei werden Festpunkte nach Lage und Höhe bestimmt und entweder als Bodenpunkte mit Granitsteinen markiert oder als Hochpunkte, wie Kirchturmspitzen oder Fahnenstangen auf Aussichtstürmen, ausgewiesen. Die Boden- und Hochpunkte sind ca. 30–50 km voneinander entfernt. Die benachbarten Punkte sollten eine gute Sichtverbindung zueinander aufweisen und gleichseitige Dreiecke bilden. Dieses Netz aus Festpunkten, den Trigonometrischen Punkten (TP), wird als Festpunktfeld bezeichnet (JESCHOR und BLEIEL, 1989).

Die Lage der TP kann mittels folgender Verfahren bestimmt werden (HAKE et al., 2002):

- Triangulation,
- Trilateration,
- Polygonierung,
- Positionsbestimmung mittels Satelliten.

Werden die Lagefestpunkte durch Triangulation, Trilateration und Polygonierung nur relativ bestimmt, ist eine absolute Festlegung nötig, die durch astronomische Messungen nach Gestirnen oder Satelliten erreicht wird. Dabei ist das geodätische Datum als Lagebezugsfläche zu definieren, das die folgenden Informationen enthält:

- Beschreibung des Fundamentalpunktes,
- Dimension des gewählten Ellipsoids,
- Lage des Fundamentalpunktes zum Mittelpunkt des Geozentrums (Schwerpunkt der Erde),
- Orientierung zur Erdrotationsachse und zum Nullmeridian.

Der Höhenunterschied benachbarter Festpunkte wird durch horizontales Zielen auf senkrecht gestellte Skalen, den sogenannten Nivellierlatten, bestimmt. Diese Methode wird als geometrisches Nivellement bezeichnet. Die dabei definierten Höhenfestpunkte werden z. B. durch metallische Höhenbolzen, die in Außenwände von Gebäuden, in Mauern oder ebenfalls in Granitpfeiler eingebracht werden, markiert. Entsprechend dem Geodätischen Datum als Lagebezugsfläche benötigt das Nivellement eine Höhenbezugsfläche. Hierfür wird in der Regel die Höhe des mittleren Meeresspiegels eines benachbarten Meeres markiert und als Höhenbezugsfläche ausgewiesen (HAKE et al., 2002).

In den letzten Jahren wurden das Raumbezugssystem und die Projektion der Geobasisdaten im Zuge von Vereinheitlichungsbemühungen, vgl. INSPIRE (Kap. 2.5.3), neu festgelegt. Die ehemals im Gauß-Krüger-System auf Basis des Deutschen Hauptdreiecksnetzes 1990 (DHDN90) vorliegenden geotopographischen Daten sind in die UTM-Abbildung auf Basis des ETRS89 zu transformieren (Kap. 3.2.1).

3.1.2 Tachymetrie

Schon die klassische Messtischaufnahme, mit der in Preußen zwischen 1875 und 1931 die Basis für das Kartenwerk TK25 gelegt wurde, bediente sich mit dem Messtisch und der Kippregel dem Prinzip der tachymetrischen Landesaufnahme (Abb. 3.1). Der Begriff Tachymetrie lässt sich aus dem Griechischen ableiten und bedeutet **Schnellmessung**. Die Tachymetrie ermöglicht nämlich aufgrund der Bestandteile des Messinstrumentes **Tachymeter** die zeitgleiche Aufnahme verschiedener Parameter: Mit dem Winkelmesser Theodolit werden Horizontal- und Vertikalwinkel bestimmt, und die Reichenbachschen Distanzfäden ermöglichen eine indirekte Entfernungsmessung an einer mit cm-Skala versehenen Messlatte. Mit dem Tachymeter werden

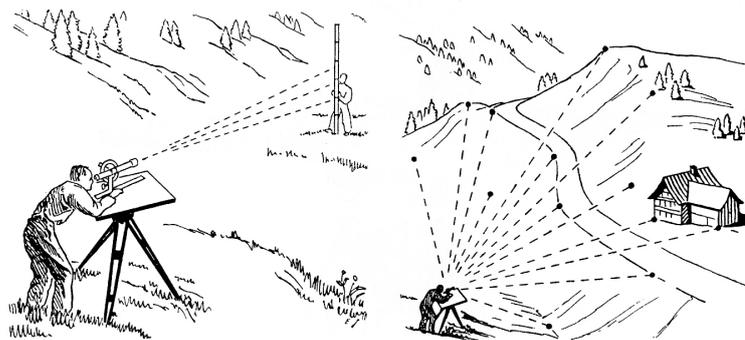


Abb. 3.1: Messtischaufnahme (KOHLSTOCK, 2004)

von Festpunkten aus, deren Raumkoordinaten bekannt sind, Horizontal- und Zenitwinkel sowie die Horizontalstrecke zu einem Neupunkt bestimmt. Ist zusätzlich ein zweiter Festpunkt kartiert, können Neupunkte direkt durch Horizontalwinkel und -strecke maßstäblich abgetragen werden. Die Koordinaten der Neupunkte lassen sich mithilfe der Winkelfunktionen bestimmen (Abb. 3.2).

Im zweidimensionalen Koordinatensystem können alle Punkte durch einen Winkel (Winkelordinate) und dem Abstand zu einem bekannten Festpunkt (Radialordinate) definiert werden; diese beiden Koordinaten werden auch als Polarkoordinaten bezeichnet. Zusammen mit der Kartierung von Neupunkten auf der Basis bekannter Festpunkte ergibt sich für das tachymetrische Verfahren damit die Bezeichnung **Polares Anhängen** (KOHLSTOCK, 2004). Die Höhe ergibt sich aus der trigonometrischen Höhenmessung (Abb. 3.3). Es gibt zwei verschiedene Arten dieses Messinstrumentes: Bei der Vermessung mit einem **optischen Tachymeter** sind die Messungen abzulesen und in ein Feldbuch einzutragen. Eine Kartierung und Weiterbearbeitung

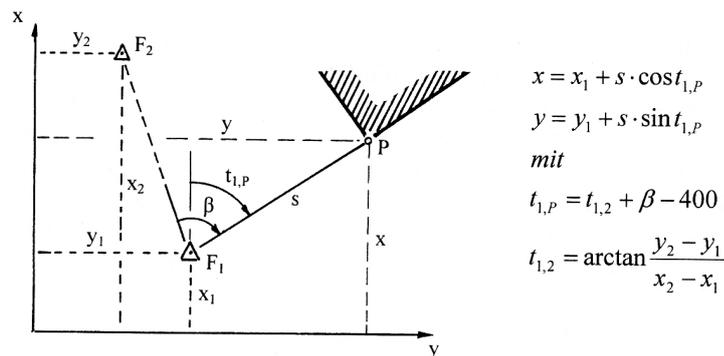


Abb. 3.2: Polares Anhängen (KOHLSOCK, 2004)

der aufgenommenen Werte erfolgt i. d. R. am Arbeitsplatz. Die **elektronischen Tachymeter (Totalstationen)** verfügen über Richtungs- und Entfernungsmesseinrichtungen, mit denen sie vollautomatisch messen. Die Messdaten werden direkt digital gespeichert und können bei entsprechender technischer Ausstattung auch vor Ort in einem integrierten oder angeschlossenen Display angezeigt und bei entsprechender Ausstattung der Totalstation sogar bearbeitet werden (BOLLMANN und KOCH, 2002).

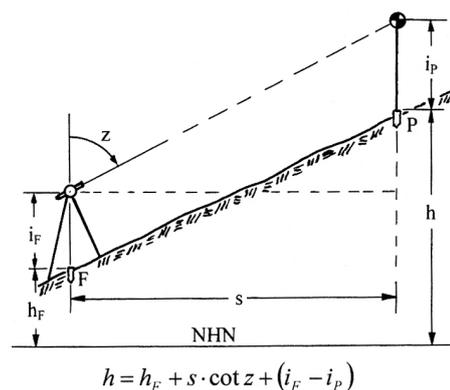


Abb. 3.3: Trigonometrische Höhenmessung (KOHLSOCK, 2004)

3.1.3 Globale satellitengestützte Positionierungssysteme: GPS und Galileo

GPS, Galileo oder GLONASS: Diesen Begriffen ist gemein, dass sie **Globale Navigations Satellitensysteme (GNSS: global navigation satellite system)** sind. Davon gibt es weltweit verschiedene, die drei genannten sind jedoch derzeit die wichtigsten, wobei GPS noch den höchsten Stellenwert besitzt. Das vom US-Verteidigungsministerium (U. S. Department of Defense) konzipierte, entwickelte und betriebene NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System) sowie das russische GLONASS (GLOBal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) wurden zur Zeit des Kalten Kriegs für militärische Zwecke

entwickelt. Derzeit im Aufbau befindet sich das zur zivilen Anwendung von europäischen Staaten und Unternehmen getragene System **Galileo**. Aufbau und Funktionsweise der GNSS sind ähnlich (ZOGG, 2006a), sie werden im Folgenden exemplarisch anhand des GPS erläutert. Die GNSS setzen sich aus drei Segmenten zusammen:

Raumsegment Das Raumsegment des GPS besteht aus mindestens 24 Satelliten, die in ca. 20 200 km Höhe in sechs Ebenen die Erde umkreisen. Die GPS-Bahnebenen haben eine Neigung von 55° gegenüber der Äquatorebene und sind in der Äquatorebene um jeweils 60° gegeneinander versetzt. In jeder Bahn befinden sich mit gleichem Abstand mindestens vier Satelliten. Diese Anordnung garantiert, dass von jedem Punkt der Erde zu jeder Zeit Daten von mindestens vier Satelliten empfangen werden können. Jeder Satellit hat mehrere hochpräzise Atomuhren an Bord und sendet permanent sogenannte Almanach-Daten. Darin enthalten sind Informationen zur Identifikation des sendenden Satelliten und der genaue Zeitpunkt, zu dem dieser Datensatz gesendet wurde. Daneben geben die mitgesendeten Ephemeriden Auskunft über die Position des Satelliten.

Bei Galileo werden 30 Satelliten auf drei Umlaufbahnen mit einer Inklination von 56° in einer Höhe von etwa 24 000 km die Erde umrunden (ESA, 2002). Das Systemkonzept und die technologischen Entwicklungen von Galileo werden von BENEDICTO et al. (2000) dargestellt.

Kontrollsegment Das Kontrollsegment besteht aus Kontroll- und Monitorstationen auf der Erde. Beim GPS sind das die Hauptkontrollstation (Master Control Station) in der Schriever Air Force Base nahe Colorado Springs und vier weitere Bodenstationen, die sich in Äquatornähe befinden und die Umlaufposition der GPS-Satelliten verfolgen sowie im Bedarfsfall aktualisieren. Außerdem kalibrieren und synchronisieren sie die Uhren an Bord der Satelliten. Der Weg eines jeden Satelliten wird von den Monitorstationen für die kommenden 24 Stunden vorhergesagt und diese Information wird an den Satelliten gesendet. Dort wird sie in die Almanach-Daten eingespeist und so an den GPS-Empfänger weitergegeben. Die Satellitensignale werden von den Monitorstationen aufgezeichnet und zur Hauptkontrollstation gesendet. Eine prüfende Verarbeitung soll eventuelle Fehler bei einzelnen Satelliten aufdecken.

Nutzersegment Der Anwender bildet zusammen mit seinem Satellitensignal-Empfänger das Nutzersegment. Der GPS-Empfänger erhält die von den Satelliten gesendeten Almanach-Daten, speichert sie und berechnet aus den Zeitdifferenzen zwischen Sendung und Empfangen des Signals die Entfernung zu dem jeweiligen Satelliten. Mit diesen Daten von mindestens vier Satelliten kann der GPS-Empfänger dem Nutzer die aktuelle Position im Raum angeben (Leica Geosystems GmbH, 2000).

Wird die Laufzeit als Radius einer Kugel mit dem Satellit als Mittelpunkt angesehen, befindet sich das Nutzersegment auf der Kugeloberfläche. Durch Verschneiden dreier dieser Kugeln mit unterschiedlichen Satelliten kann theoretisch die Empfängerposition bestimmt werden, denn das Beobachten von drei Satelliten führt zu drei Gleichungen mit denen die drei unbekannt Koordinaten x , y und z berechnet werden können (Abb. 3.4). Praktisch jedoch muss ein Zeitunterschied zwischen Satelliten und Empfänger berücksichtigt werden, der als vierte Unbekannte nur durch ein weiteres Satellitensignal bestimmt werden kann.

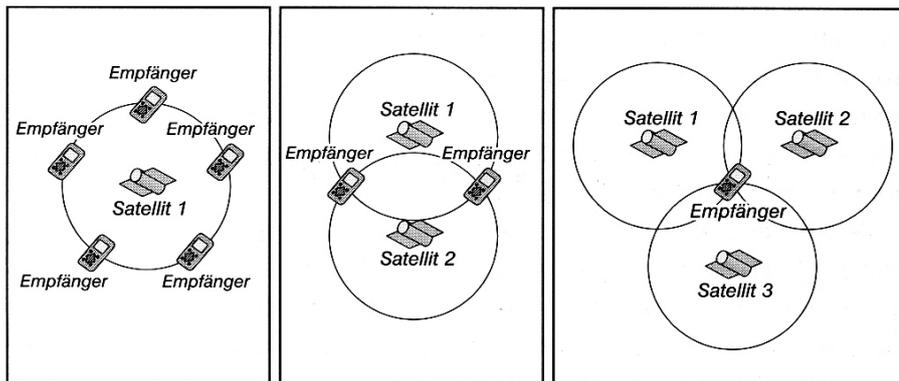


Abb. 3.4: Positionsbestimmung über einen, zwei und drei Satelliten (HÖH, 2000, S. 14)

Die Genauigkeit der durch das GPS gewonnenen Positionen ist von der verwendeten Methode abhängig: Heute bereits der breiten Masse zugängliche Empfänger, u. a. in Digitalkameras, Uhren oder Mobiltelefonen, erreichen mit der Methode der Laufzeitmessung eine Genauigkeit im Bereich von etwa 10–20 m.

Mit dem **differentiellen GPS** (DGPS) ist für 95% der Messungen eine Genauigkeit zwischen 0,3–3 m verfügbar. Dabei wird neben dem GPS-Empfänger ein zweiter stationärer Empfänger aufgebaut. Der stationäre Empfänger wird als Referenzempfänger, der bewegliche GPS-Empfänger als Rover bezeichnet. Der Referenzempfänger ermittelt aus den Signalen von mindestens vier Satelliten seine Koordinaten; weil seine Position jedoch schon genau bekannt ist, kann er die Abweichung zur Position aus den Satellitensignalen als Korrektursignal versenden, das bei der Positionsberechnung des Rovers berücksichtigt wird (ZOGG, 2006a). In Deutschland unterhält die AdV ein Netz von Referenzstationen¹, die diese Korrektursignale gegen eine Gebühr senden. Eine weitere Qualitätssteigerung kann erreicht werden, wenn man die korrigierte Laufzeitmessung mit einer Phasenglättung kombiniert.

Hochgenaue Empfangsanlagen, die die **differentielle Phasemessung** nutzen, erreichen eine Präzision von 0,5–20 mm. Wie beim DGPS sind dafür mindestens zwei GPS-Empfänger notwendig. Die Entfernung zu den Satelliten wird jedoch nicht über die Signallaufzeit, sondern über die Phasenlage der Satellitensignale, die Trägerfrequenz, ermittelt. Dieses Verfahren wird häufig auch als Realtime Kinematik GPS bezeichnet. Zur Unterstützung steht auch für diese hochgenaue Art der Positionsbestimmung in Deutschland ein flächendeckender SAPOS-Dienst zur Verfügung (KETTEMANN, 2003).

Die Qualität der Positionsbestimmung wird wesentlich beeinflusst durch die technische Ausstattung und gemindert durch verschiedene Fehlerquellen: Fehlergrößen bis zu 150 m können auftreten, wenn die Satellitensignale aus ähnlichen Richtungen kommen. Bei einer solchen ungünstigen **Satellitengeometrie** sind die Überlappungsbereiche der Laufzeit-Kreise dann so groß, dass eine Positionsbestimmung ungenau wird. Die **Satellitenumlaufbahn** kann durch die Gravitationskräfte von Sonne und Mond geringfügig schwanken. Dieser Fehler kann jedoch durch

¹ <http://www.sapos.de> – Zugriffsdatum: 07.2009

Korrekturen weitgehend kontrolliert werden, so dass er mit etwa 2 m relativ gering ist. Beim **Mehrwegeeffekt** werden die GPS-Signale von Gebäuden oder sonstigen Erhebungen im Gelände reflektiert. Dadurch erhöht sich die Laufzeit des Signals. Die Fehlergröße beträgt dann bis zu einige Meter. **Atmosphärische Effekte** verringern die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals vor allem in der Ionosphäre. Diese Fehler können mittlerweile durch Korrekturdaten weitestgehend eliminiert werden. **Rundungsfehler** und verbleibende **Uhrenungenauigkeiten** rufen Fehler im Bereich von etwa 1 bzw. 2 m hervor. Bis zum Jahr 2000 wurde die zivile Nutzung des GPS durch eine künstliche Verfälschung der Satellitensignale, die „selective availability“, gestört. Obwohl das Störsignal abgeschaltet wurde und die Genauigkeit derzeit nicht mehr beeinflusst, ist es doch jederzeit möglich, dass das US-Verteidigungsministerium diese Fehlerquelle wieder einschaltet, um z. B. in Konflikt- und Krisenregionen alleine auf das GPS zurückgreifen zu können (KÖHNE und WÖSSNER, 2007).

Gegenüber dem US-amerikanischen GPS soll das europäische **Galileo** eine höhere Genauigkeit aufweisen und einen größeren Leistungsumfang bieten. VAN DEN BERG et al. (2010) berichten aktuell von ersten Tests mit den neuentwickelten Empfängern, die neben den Galileo-Signalen u. a. auch GPS-Signale empfangen können. Eine unterbrechungsfreie Signalübertragung soll im Rahmen der von Galileo angebotenen Dienste zugesichert und sogar vertraglich festgelegt werden können. Die Leistungen des Systems lassen sich nach ESA (2002) in die folgenden fünf Dienstgruppen gliedern:

- Offener Dienst (Open Service)
 - Kombination kostenloser Signale
 - keine Verfügbarkeitsgarantie, keine Haftung
 - Genauigkeit kann mit der anderer GNSS konkurrieren
- Sicherheitskritischer Dienst (Safety-of-Life)
 - gleiche Genauigkeit bei Positionsbestimmung und Zeitsteuerung wie OS
 - Integrität: Genauigkeit und Kontinuität wird garantiert
 - Nutzer wird bei Unterschreiten der garantierten Genauigkeit gewarnt
- Kommerzieller Dienst (Commercial Service)
 - kostenpflichtige Mehrwertdienste
 - neben allgemein zugänglichen zwei zusätzliche Signale zur Steigerung des Datendurchsatzes und mit kommerzieller Verschlüsselung für Zugriffsschutz
 - Optimierung der Signalgenauigkeit
- Öffentlich regulierter Dienst (Public Regulated Service)
 - verschlüsselte Mehrwertdienste für bestimmte Nutzergruppen wie z. B. Polizei oder Zoll
 - hohe Dienstkontinuität und Signalstabilität
 - komplett unabhängig von den anderen Diensten, um ihn aufrecht erhalten zu können, auch wenn die anderen Dienste verweigert werden

- Such- und Rettungsdienst (Search and Rescue)
 - Empfang von Notrufen, weltweit, nahezu in Echtzeit
 - Positionsbestimmung der Warnmeldung

Im Vergleich zu den bis hier beschriebenen geodätischen und topographischen Arbeiten, die den terrestrischen Aufnahmeverfahren zuzuordnen sind, beschreiben die beiden folgenden Kapitel die Nutzung von Luftbildern, Satellitendaten und Laserscanaufnahmen. Bei diesen Datenerfassungsmethoden wird nicht am Objekt selbst gemessen. Stattdessen werden mithilfe von Sensoren Abbilder geschaffen, aus denen Informationen der zu erkundenden Geoobjekte abgeleitet werden.

3.1.4 Photogrammetrische Erfassung

Ein **Luftbild** ist eine photographische Aufnahme, die mit einer konventionellen Luftbildkamera oder einer Zeilenkamera (Scanner) von einem Luftfahrzeug aus einer Flughöhe bis ca. 15 km aufgenommen wurde. Es gibt einen Teil der Erdoberfläche verkleinert und naturtreu, mit allen im Augenblick der Aufnahme sichtbaren Einzelheiten, wieder. Im Gegensatz zu einer Karte zeigt ein Luftbild also auch bewegliche, zufällige und unwesentliche Objekte (KOHLSTOCK, 2004). Aufgrund der für konventionelle Luftbilder charakteristischen Zentralprojektion und der Bewegungen des Flugzeugs kommt es zu verschiedenen Verzerrungen. Die **perspektivische Verzerrung** entsteht durch die unterschiedlichen Entfernungen zwischen aufgenommenen Objekten und der Bildebene der Kamera: Bei einer als eben angenommenen Erdoberfläche hat nur der Punkt keine perspektivische Verzerrung, der sich lotrecht unter der Kamera befindet. Je weiter die Objekte von diesem Punkt entfernt sind, desto mehr sind sie verzerrt. Da die Erdoberfläche zudem jedoch meist nicht eben ist, sind die oberhalb der Bezugsfläche liegenden Punkte auf der Aufnahme radial verschoben, man spricht vom Reliefversatz. Hohe Gebäude oder Erhebungen können umliegende, niedrigere Objekte verdecken, es entstehen Abbildungen mit „toten“ (JESCHOR und BLEIEL, 1989) Geländeteilen. Zu unterscheiden sind das **Senkrechtbild**, das bei einer lotrechten Aufnahmerichtung und noch bei Abweichungen zur Lotrechten bis 4° entsteht. Eine Aufnahme mit genau lotrechter Richtung ist ein Nadirbild. **Geneigtbilder** in den Ausführungen Steil- (-30°), Schräg- (-60°), Flach- ($-\leq 90^\circ$) und Waagrechtbilder zeigen das Gelände perspektivisch verzerrt und mit einem vom Bildvorder- zum Bildhintergrund stark abnehmenden Maßstab (JESCHOR und BLEIEL, 1989). Die hohen Objekte erscheinen schrägliegend. Scanner nehmen die Erdoberfläche i. d. R. zeilenweise auf, was eine Mischung aus Parallelprojektion in Flugrichtung und Zentralprojektion senkrecht zur Flugrichtung zur Folge hat. **Projektive Verzerrungen** entstehen durch die unvermeidlichen Flugbewegungen längs und quer zur Flugrichtung, die verhindern, dass die optische Achse der Kamera senkrecht zur Aufnahmefläche steht. Diese auf den geometrischen Bildeigenschaften beruhenden Lageversetzungen der Objekte gegenüber ihrer Soll-Lage müssen vor einer Verwendung des Luftbilds entzerrt werden. Die Umformung des Bildinhaltes in ein lagerichtiges Bild ist systemabhängig, jedoch werden inzwischen meist digitale Bildbearbeitungsprozesse benutzt.

Neben den **geometrischen Bildeigenschaften**

- Richtung der Abbildungsstrahlen,
- Lage und Neigung des Aufnahmesensors,
- Objekt- und Geländehöhenunterschiede

sind die folgenden **radiometrischen Bildeigenschaften**, die Ergebnisse des Einwirkens elektromagnetischer Strahlung auf einen Sensor sind, zu beachten:

- Auflösungsvermögen,
- Kontrastwiedergabe,
- Bildschärfe.

Die radiometrischen Eigenschaften werden durch die Intensität und spektrale Zusammensetzung der vom Aufnahmeobjekt reflektierten und auf den Sensor treffenden Strahlung und durch die Eigenschaften des verwendeten Sensors bestimmt (KOHLSOCK, 2004).

In Nordrhein-Westfalen wird im Sommer bei voller Belaubung und seit 2006 im Turnus von drei Jahren ein Drittel der Landesfläche neu befliegen. Die mit Reihemesskameras ausgerüsteten Bildflugzeuge befliegen das Land in Ost-West-Richtung in sich zu 30% überlappenden Parallelstreifen. Die Überdeckung der aufeinander folgenden, benachbarten Bilder beträgt sogar 65% (LVerMA NRW, 2006). So wird gewährleistet, dass sich jeder Punkt auf mindestens einem Stereobildpaar wiederfindet und stereoskopisch betrachtet werden kann (ALBERTZ, 2007).

3.1.5 Fernerkundung

Sensoren in Kameras, Scannern oder Radarsystemen nehmen elektromagnetische Strahlung auf und wandeln sie so in Signale um, dass sie mit Methoden der Fernerkundung weiterverarbeitet und schließlich als Bild ausgegeben werden können. Zu unterscheiden sind passive und aktive Sensoren:

Passive Sensoren sammeln die vom Gelände reflektierte natürliche Strahlung. Dabei kann es sich um an der Erdoberfläche reflektiertes Sonnenlicht verschiedener elektromagnetischer Spektren (multi-spektral), nicht nur des sichtbaren Lichts, handeln. Daneben kann auch die sogenannte Thermalstrahlung, die durch die Oberflächentemperatur eines Körpers entstehende Eigenstrahlung, aufgenommen werden (ALBERTZ, 2007). Diese Sensoren finden sich z. B. auf den Satellitenreihen IKONOS, Quickbird und Landsat.

Aktive Sensoren empfangen die Reflexionen einer eigenen, die Erdoberfläche anstrahlenden Energiequelle. Die unter den Begriffen Radar oder SAR (Synthetic Aperture Radar) bekannten Systeme sind nicht auf die Wellenlängen der Sonnenstrahlen angewiesen, sondern können auch z. B. Mikrowellen erfassen. Anders als passive Sensoren können aktive Sensoren auch nachts eingesetzt werden und sind in der Lage Wolkenschichten zu durchbrechen (HEYWOOD et al., 2006).

Satellitengestützte Fernerkundungssensoren erfassen aus einer Höhe jenseits von 15 bis mehreren 1 000 km von der Erdoberfläche zurückgestrahlte, multispektrale Informationen. Die elektronischen Signale werden als Bildpunkte (Pixel) gespeichert, deren Werte die Strahlungsinten-

sität wiedergeben. Das Senden der Daten vom Satellit zu einer Bodenstation wird als Downlink bezeichnet. Mit unterschiedlichen Prozessierungen können verschiedene digitale Versionen von Satellitenbildern erzeugt werden (HEYWOOD et al., 2006). Satellitenbildausschnitte werden als Szenen bezeichnet. Die meisten Erderkundungssatelliten mit optischen Sensoren, wie SPOT und Landsat, umkreisen die Erde kontinuierlich mit einer typischen Flughöhe von ca. 700–850 km (ALBERTZ, 2007) und scannen die gesamte Erdoberfläche -oftmals zeilenweise- innerhalb weniger Tage komplett aus einem polnahen Orbit. Diese wiederholten Aufnahmen, bei denen in der Regel ein Gebiet immer zur gleichen Tageszeit aufgenommen wird (sonnensynchron), erlauben eine regelmäßige Beobachtung und Dokumentation von Landnutzungsveränderungen. Geostationäre Satelliten, z. B. Meteosat und Astra, befinden sich auf einer Flughöhe von etwa 35 800 km immer über demselben Punkt der Erdoberfläche (BOLLMANN und KOCH, 2002).

Laserscanneraufnahmen (LiDAR: Light Detection and Ranging) sind den aktiven Verfahren der Fernerkundungsdatengewinnung zuzuordnen. Diese noch relativ junge, trotzdem schon weit verbreitete Messmethode bildet sowohl physikalische als auch von Menschen gemachte Oberflächenstrukturen ab (CRAGLIA et al., 2008). Dazu werden Laserstrahlen² zur Erdoberfläche bzw. dem zu vermessenden Objekt gesendet und Reflexionssignale empfangen. Durch eine Laufzeitmessung des Laserimpulses wird die Entfernung berechnet. Die Reflexionssignale erscheinen als Sammlung von Raumkoordinaten (x , y , z) in einer Punktwolke und beschreiben so die vermessene Oberfläche geometrisch (HOPKINSON und CHASMER, 2008). Um 3D-Punkte mittels Laserscanning zu gewinnen, sind nach PETZOLD et al. (1999) drei Bearbeitungsstufen erforderlich:

1. Datenaufnahme durch Laserscanner
2. Transformation der Originaldaten in ein lokales Referenz-Koordinatensystem
3. Postprocessing: Ableitung des Endprodukts, z. B. eines DGMs, durch Filtern der Eingangsdaten

Zu unterscheiden sind flugzeuggetragene und bodennahe Laserscanning-Systeme:

Airborne (flugzeuggetragene) Laserscanning-Systeme (ALS) dienen der großflächigen Erfassung eines Geländes mit Höheninformationen von einem Flugzeug aus. Die Reichweite der ALS beträgt etwa 500–1 500 m und die Genauigkeit liegt im Dezimeterbereich (BILL et al., 2001–2008). Weil die Entfernung zwischen Oberfläche und Scanner maßgeblich ist, muss zu jeder Zeit die Position des Scanners sehr genau registriert werden. Neben hochpräzisen GPS-Empfängern ist daher ein Trägheitsnavigationssystem unabdingbar, das die Ausrichtung des Flugzeugs misst und aufzeichnet (Bezirksregierung Köln, 2008a). Die Daten der Punktwolke können von einer Ortskoordinate mehrere Reflexionssignale beinhalten, wenn der Laserstrahl z. B. von einer Baumkrone und kurz darauf von der Erdoberfläche reflektiert wird. Zu unterscheiden sind dann durch Filterung der erste und letzte (first, last pulse) und ggf. dazwischenliegende Impulse, um Bodenpunkte von Nicht-Bodenpunkten zu trennen, so dass Geländepunkte oder die Geländefläche aus den Laserdaten-Punktwolken extrahiert und so ein DGM (vgl. Kap. 3.2.3) abgeleitet werden

² Laser – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation: künstlich erzeugte monochrome Lichtstrahlen gleicher Wellenlänge und Ausrichtung

kann (PETZOLD et al., 1999). Diese Messmethode hat sich bei den Behörden zur Erfassung der Geländehöhe durchgesetzt.

Terrestrische Laserscanning-Systeme (TLS) werden auf der Erdoberfläche eingesetzt und dienen der hochauflösenden Datenaufnahme mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern. TLS haben eine Reichweite zwischen einem und etwa 1 000 m und können auch Innenräume dreidimensional scannen. Auch hier ist eine hochgenaue Verortung der Scannerposition notwendig, die mithilfe von DGPS oder Tachymeter realisiert werden kann. Aufgrund der einfachen Möglichkeit, Messungen mit einem terrestrischen Laserscanner durchzuführen, lässt sich diese Methode zwischen Totalstation und Messkamera einordnen (PFEIFER, 2008).

Das Laserscanning eignet sich insbesondere zur Erfassung der Topographie von mindestens einigen Quadratkilometer großen Gebieten (BRIESE et al., 2001). Als Vorteile nennt PFEIFER (2003):

- die Durchdringung der Vegetation und das Erfassen der Bodenfläche auch in bewaldeten Gebieten,
- den hohen Automationsgrad, der von der Datenerfassung bis zur Erstellung des DGM reicht,
- die hohe Punktdichte (1 Punkt/m²), die eine sehr genaue Geländebeschreibung ermöglicht,
- die Genauigkeit, ca. 10 cm in der Höhe und
- als aktives System ermöglicht Laserscanning Messungen auch in der Nacht und über texturlosen Bereichen (Schnee).

Die durch Laserscanning erfassten Daten werden hauptsächlich für großmaßstäbige Kartierungen und Ingenieursanwendungen sowie zur Modellierung hochpräziser digitaler Höhenmodelle verwendet (HEYWOOD et al., 2006). BRIESE et al. (2001) stellen dazu verschiedene Anwendungsbeispiele dar. 3D-Gebäudestrukturen (Bezirksregierung Köln, 2008e) und -Stadtmodelle (AUBRECHT et al., 2007) werden zur Visualisierung und als Grundlage von Ausbreitungsanalysen herangezogen. Anwendungsbeispiele und Untersuchungen zeigen die im Rahmen des Projekts CampusGIS entstandenen Diplomarbeiten von KASSNER (2007), HENNIG (2008) und HOFFMEISTER (2008).

3.2 Geodaten

Die Gesamtheit von Kartenblättern, die ein bestimmtes Gebiet mit gleichem Maßstab und gleicher Kartengestaltung lückenlos abdecken, wird als Kartenwerk bezeichnet. Wie bekannt, gibt es in Deutschland sieben amtliche Kartenwerke von der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5 000 (Kap. 3.2.2) bis zur Übersichtskarte Deutschland im Maßstab 1:1 000 000. Die rein graphische Präsentation dieser analogen Kartenwerke genügt jedoch den heutigen Anforderungen nicht mehr, denn die elektronische Datenverarbeitung (EDV) ist auf digitale Daten angewiesen. Daher werden die analogen Kartenwerke nach und nach durch digitale topographische Informationssysteme ersetzt (Kap. 3.2.1 und 3.2.3).

In digitaler Form vorliegende Informationen werden dann als **Geodaten** bezeichnet, wenn sie einen Raumbezug haben (vgl. Kap. 2.5.2). Einen besonderen Stellenwert nehmen die amtlichen **Geobasisdaten** ein, für deren flächendeckende Verfügbarkeit die Verwaltungen der Länder mit den Abteilungen Landesvermessung und Liegenschaftskataster verantwortlich sind. Geobasisdaten werden auf Grundlage internationaler Standards von den bisherigen amtlichen Kartenwerken abgeleitet oder im Gelände aufgenommen (Kap. 3.1) und dann regelmäßig aktualisiert. Sie dienen keinem speziellen Anwendungszweck, sondern sind Grundlage für vielfältige Fragestellungen und Fachanwendungen (MEINEL und KNOP, 2008). Zu den Geobasisdaten gehören „grundlegende Daten von den Erscheinungsformen der Erdoberfläche (Geotopographie) bis zur Abgrenzung von Grundstücken und grundstücksbezogenen Rechten (Liegenschaftskataster) (...) [mit einem] einheitlichen geodätischen Raumbezug“ (AdV, 2007a). Dazu zählen das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem ATKIS, digitale Orthophotos sowie das Liegenschaftskataster und Hauskoordinaten.

Neben den Geobasisdaten erfassen und verwalten die Vermessungsverwaltungen der Länder weitere digitale Geodatenbestände wie die digitalen Höhenmodelle (Kap. 3.2.3) und andere Produkte aus Photogrammetrie und Fernerkundung (Kap. 3.2.4), aus denen z. B. 3D-Modelle generiert werden können (Kap. 3.2.5). Die Gesamtheit der Geodaten gibt die geographische Situation wieder. Auf eine bestimmte Fragestellung hin benutzt, analysiert und präsentiert, werden sie zu Informationen und damit zur Grundlage für raumbezogene Entscheidungen (MALCZEWSKI, 1999). Ortsbezogene Dienste und Routinganwendungen greifen auf diese Informationen zurück, um die Umwelt des Nutzers zu modellieren. So können der Situation angepasste und auf den Raum bezogene Informationen zur Verfügung gestellt werden.

3.2.1 ATKIS

Das **Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem ATKIS** ist neben dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem ALKIS und dem Amtlichen Festpunktinformationssystem AFIS ein Bestandteil des AAA- (oder 3A-) Datenmodells für Geobasisinformationen. Das 3A-Datenmodell definiert im Sinne der INSPIRE-Richtlinie (vgl. Kap. 2.5.3) sowohl Inhalte und Strukturen als auch Schnittstellen zur Datenübermittlung und setzt damit internationale Standards zur Abbildung von Geodaten um (AdV, 2008c). Nach einer fünfjährigen Konzeptionsphase beschlossen die Landesvermessungsverwaltungen 1989 in ihrem Verband, der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)³, ATKIS einzuführen. So kommen sie ihrer gesetzlichen Verpflichtung nach, geometrische und thematische Informationen über die Topographie der Erdoberfläche –auch– in nutzungsorientierter, datenverarbeitungsgerechter Form zu erheben und vorzuhalten sowie interessensneutral für verschiedene Auswertungen zu verwalten und als staatliche Dienstleistung anzubieten (BARTELME, 2005; DE LANGE, 2005).

Die graphischen ATKIS-Informationen in Form von Vektordaten sowie die zugehörigen Attribute werden aufgrund der Informationsdichte und der hohen Genauigkeit von ± 3 m aus der Deutschen Grundkarte 1:5 000 (DGK5; Kap. 3.2.2) und aus Luftbildkarten (Kap. 3.2.4) abge-

³ <http://www.adv-online.de> – Zugriffsdatum: 05.2009

leitet (PETZOLD und WALTER, 1999). Sie dienen als Hauptinformationsquelle der **Digitalen Landschaftsmodelle (DLM)**, die sowohl topographische Objekte als auch das Relief der Erdoberfläche beschreiben. Welche Objekte ein DLM beinhaltet und wie diese zu bilden sind, ist im ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK) festgelegt (LVerMA NRW, 2004). Aufgrund von Problemen bei der automatisierten Generalisierung sowie zur Reduktion der Datenmenge und einfacheren Strukturierung bei kleinmaßstäblichen Übersichten sieht das Konzept der AdV auf verschiedenen Maßstabsebenen basierende Modelle vor (KOHLSOCK, 2004; Bezirksregierung Köln, 2008f). Damit können die analogen, topographischen Landeskartenwerke sukzessive abgelöst und durch einen bundeseinheitlichen, digitalen, topographisch-kartographischen, blattschnittfreien Datenbestand ersetzt werden:

Basis-DLM Das Basis-DLM orientiert sich an den Inhalten, die denen der topographischen Karten im Maßstab 1:10 000 – 1:25 000 entsprechen, weist jedoch für die wesentlichen punkt- und linienförmigen Objekte die höhere Genauigkeit einer DGK5 von etwa 3 m auf (AdV, 2008b).

DLM50 Das DLM50 wird aus dem Basis-DLM abgeleitet. Der kleinere Maßstab bedingt eine geringere geometrische Genauigkeit und eine Verminderung der fachlichen Differenzierung der Geoinformationen sowie eine Reduzierung der Datenmenge (Bezirksregierung Köln, 2008f).

DLM250 Das DLM250 wird durch Generalisierung aus den Karten der TK200 und TK50 sowie durch Digitalisierung des militärischen Kartenwerks gewonnen. Anwendung finden diese Daten bei Fragen und Planungen auf Landesebene sowie beim Militär (BKG (Hrsg.), 2009).

DLM1000 Das DLM1000 orientiert sich hinsichtlich Informationsumfang und Genauigkeit an der Übersichtskarte 1:500 000.

Obwohl Erfassung und Verbreitung topographischer Informationen im Rahmen der Landesvermessung originäre Aufgaben der Bundesländer sind, unterstützt das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)⁴ die Länder bei der Bearbeitung der mittel- und kleinmaßstäbigen Kartenwerke und zeichnet so für DLM250 und DLM1000 verantwortlich. Durch seine Beteiligung an der Entwicklung und Realisierung des ATKIS schon seit den 1980er Jahren sorgte das Geodatenzentrum des BKG außerdem für eine landesweit homogene Bereitstellung der mit ATKIS erstellten DLM (HAKE et al., 2002).

Um das Projekt ATKIS anzuschieben und möglichst rasch Daten zu gewinnen, wurden drei Realisierungsstufen und -zeiträume definiert, die inzwischen allesamt abgeschlossen sind. Nach Beendigung der dritten und letzten Erfassungsstufe ist der Datenbestand nun um die inzwischen eingetretenen Veränderungen zu aktualisieren. Ursachen für Veränderungen sind seltener natürliche Ereignisse wie Berggrutsche oder Überschwemmungen als vielmehr durch den Eingriff des Menschen bedingt: Rekultivierungsmaßnahmen, Straßenbau und Stadtentwicklungen sind die primären Ursachen für Aktualisierungsbedarf (LVerMA NRW, 2004). Für die Aktualisierung des ATKIS Basis-DLM ist ein Zyklus von fünf Jahren vorgesehen. Ausgewählte Objektarten,

⁴ <http://www.bkg.bund.de> – Zugriffsdatum: 07.2009

z. B. Verkehrswege, werden jedoch gegebenenfalls in deutlich kürzeren Abständen mit einer abgestuften Spitzenaktualität von 3, 6 bzw. 12 Monaten realisiert (LVerMA NRW, 2006a; Bezirksregierung Köln, 2008f).

Die Inhalte werden im **ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK)** definiert und sind seit der dritten Erfassungsstufe des Basis-DLM endgültig festgelegt. Die als Vektordaten vorgehaltenen geotopographischen Objekte werden im ATKIS-Objektartenkatalog in sieben Objektbereiche eingeteilt:

- Präsentation
- Siedlung
- Verkehr
- Vegetation
- Gewässer
- Relief
- Gebiete

Die Objektbereiche lassen sich in Objektgruppen untergliedern und diese wiederum in Objektarten. Die Objektarten werden durch alphanumerische Attribute und Attributwerte beschrieben. Es ist zwischen einem bundeseinheitlichen Datenbestand und Bundesland-spezifischen Objektarten, Attributen und Attributwerten zu unterscheiden. Am Beispiel des „Objektbereichs 3000 – Verkehr“ zeigt Abb. 3.5 die Gliederung des Katalogs.

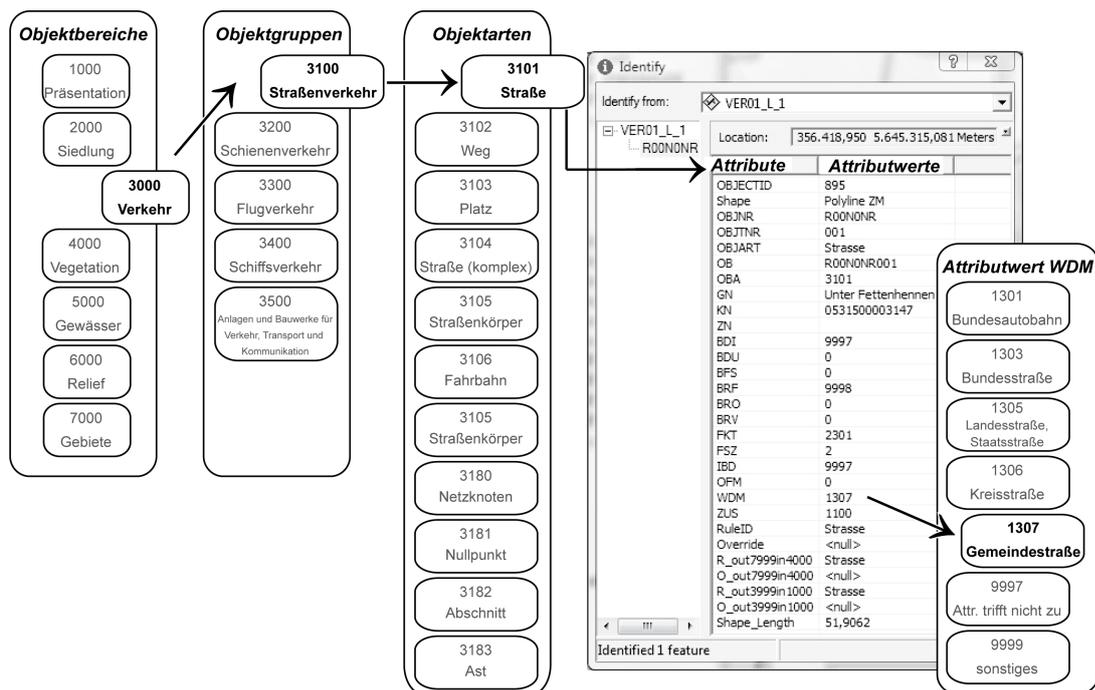


Abb. 3.5: Aufbau des ATKIS-Objektartenkatalogs (eigene Darstellung)

Seit Einführung des 3A-Datenmodells besteht für den Austausch von AFIS-, ALKIS- und ATKIS-Objekten die Normbasierte Austauschchnittstelle NAS (SEIFERT, 2006). Zeitgleich wurde zur Vereinheitlichung der innerstaatlichen Systemvielfalt, aber auch, um den europäischen und globalen Datenaustausch zu vereinfachen und die Daten des GPS einfacher einbinden und nutzen zu können, das Koordinatenreferenzsystem geändert: Die ursprünglich auf verschiedenen Streifen des Gauß-Krüger-Systems (GK) abgebildeten ATKIS-Daten wurden mit der **Bundeseinheitlichen Transformation für ATKIS (BeTA2007)** auf die **Universale Transversale Mercator Abbildung (UTM)** im **Europäischen Terrestrischen Referenzsystem 1989 (ETRS89)** transformiert (AdV, 2008c).

Die BeTA2007 ist eine Transformationslösung, mit der Koordinaten zwischen den geodätischen Systemen Gauß-Krüger und UTM umgerechnet werden können. Das Gauß-Krüger-System basiert auf dem Bezugssystem DHDN90, das auch Potsdam-Datum genannt wird. Den UTM-Abbildungen liegt das ETRS89 zugrunde. Zur Umrechnung der Koordinaten zwischen diesen beiden Systemen werden im Wesentlichen zwei mathematische Ansätze kombiniert (AdV, 2007):

- die Umrechnung ebener konformer Koordinaten in geographische Koordinaten und zurück, z. B. die Umrechnung von Rechts- und Hochwert von DHDN90/GK oder ETRS89/UTM in geographische Längen- und Breitenangaben,
- der gitterbasierte Bezugssystemwechsel mittels des Transformationsalgorithmus Nationale Transformation Version 2 (NTv2) .

Die Hin- und Rücktransformationen lassen sich damit in jeweils drei Schritten durchführen (Abb. 3.6):

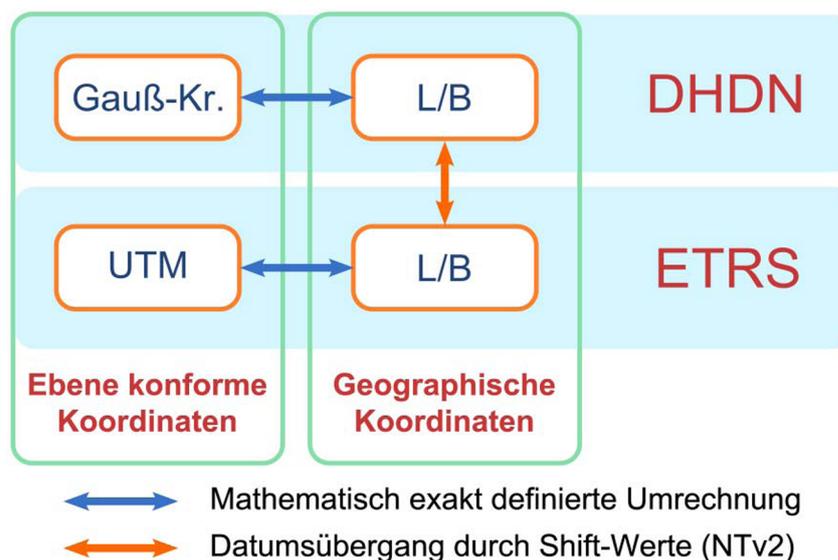


Abb. 3.6: Transformationsansatz BeTA2007 (AdV, 2007)

1. Die geodätischen Koordinaten, z. B. DHDN90/GK, werden mathematisch exakt in geographische Längen- und Breitenangaben (L/B) mit dem gleichen Datum umgerechnet.
2. Die geographischen Koordinaten werden mithilfe von Versatzwerten (Shift) in das andere Bezugssystem übergeben. Dieser Wechsel wird als Datumsübergang bezeichnet.
3. Die geographischen Koordinaten, nun im Zielbezugssystem vorliegend, werden mathematisch exakt in geodätische Koordinaten umgerechnet.

Die Hersteller von GIS-Software haben mittlerweile BeTA-konforme Ansätze zur Transformation der geotopographischen Daten in die aktuellen Softwareversionen integriert (AdV, 2007). Abhängig von den Versatzwerten und den Gauß-Krüger-Streifen sind für verschiedene Regionen unterschiedliche vordefinierte Transformationen verfügbar (FLACKE, 2007).

3.2.2 DGK5

Die **Deutsche Grundkarte 1:5 000 (DGK5)**, ursprünglich aufgrund der Übernahme der Bebauung einschließlich Flurstücksgrenzen aus der Liegenschaftskarte auch als Katasterplankarte bezeichnet, ist das grundlegende topographische Kartenwerk Deutschlands, aus dem die kleinermaßstäbigen Kartenwerke durch Generalisierung abgeleitet werden (Abb. 3.7). Mit ihrem Maßstab von 1:5 000 gehört die DGK5 zu den großmaßstäbigen Karten, die eine sehr genaue Darstellung der Situation, insbesondere der Siedlungen, erlauben. Der „Beirat für das Vermessungswesen“ schlug 1923 vor, dieses Kartenwerk auf Basis einer flächendeckenden, einheitlichen Landesaufnahme als Grundkartenwerk für das damalige Deutsche Reich zu erstellen.

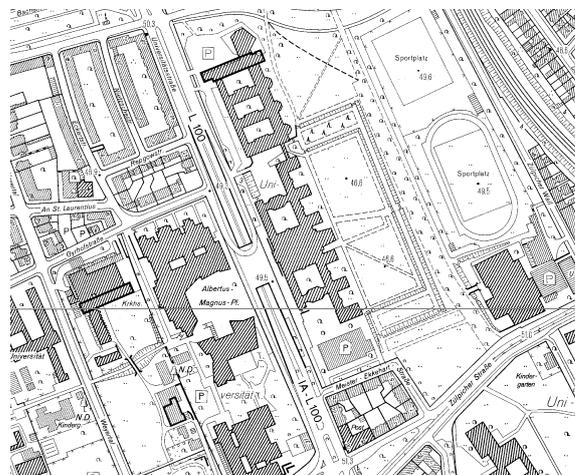


Abb. 3.7: DGK5 – Hauptgebäude der Universität zu Köln (LVermA NRW, 1998)

Seit 1945 liegt die Kartenherstellung im Zuständigkeitsbereich der heutigen Bundesländer mit den Landesvermessungsämtern als verantwortliche und ausführende Dienststellen (KOHLSTOCK, 2004). Die DGK5 wird unter Verwendung von Flurkarten und anderen großmaßstäbigen Karten, terrestrischen und photogrammetrischen Vermessungen (Kap. 3.1.4), Orthophotos und mittels digitaler Verfahren hergestellt. Obwohl als Grundkartenwerk bezeichnet, ist es unvollendet: in

mehreren Bundesländern und Landesteilen wird dieses Kartenwerk nicht hergestellt, weil gleichwertige oder sogar größermaßstäbige Kartenwerke wie die Höhenflurkarte 1:5 000 in Bayern oder 1:2 500 in Württemberg existieren. Derzeit ist der Herstellungsprozess einem tiefgreifenden Wandel unterworfen, da die amtlichen Kartenwerke auf digitale Produkte umgestellt werden. Die DGK5 bildet die Grundlage für die Erfassung der digitalen Geobasisdaten für das ATKIS und wird vom Basis-DLM (Kap. 3.2.1), abgelöst (HAKE et al., 2002; BOLLMANN und KOCH, 2002).

Die DGK5 stellt die Situation grundrisstreu dar, d. h. alle wesentlichen Objekte mit einer Ausdehnung von mindestens 1,5 m (0,3 mm in der Karte) werden in ihren tatsächlichen Ausmaßen abgebildet. Der Darstellung liegt das geodätische Gauß-Krüger-Meridianstreifensystem, bezogen auf das Besselipsoid, zugrunde. Die Kartenblätter zeigen auf 40 * 40 cm² 2 * 2 km² Geländefläche und werden durch Ordinaten und Abszissen des Gauß-Krüger-Systems begrenzt. Das aufgedruckte rechtwinklige Gitter hat einen Abstand von 200 m bzw. 4 cm im Kartenmaßstab. Das Relief wird durch Höhenpunkte und Höhenlinien beschrieben (KOHLESTOCK, 2004; HAKE et al., 2002).

Die landschaftsbeschreibenden Karten, die insbesondere Siedlungen, Verkehrswege, Gewässer, Geländeformen und Eigentums Grenzen wiedergeben, werden neben ihrer Funktion als Grundkarte, auch für technische Planungen wie Stadt- und Verkehrsplanung, Umweltschutz, Freizeit und Tourismus eingesetzt. Sie können in vorhandene Informationssysteme integriert werden, finden Verwendung in Fachinformationssystemen für Rettungsdienste und Katastrophenschutz und geben einen flächenhaften Überblick über die Nutzung von Grundstücken.

3.2.3 DHM

Ergänzend zu den zweidimensionalen ATKIS-Daten erheben, nutzen und vertreiben die Landesvermessungsämter digitale Reliefdaten, die **Digitalen Höhenmodelle (DHM)**. Die Erfassung erfolgt mittels Laserscanning. Zu unterscheiden ist zwischen dem **Digitalen Geländemodell (DGM; DTM: Digital Terrain Model)**, Abb. 3.8, das die natürliche, unbewachsene und unbebaute Topographie der Erdoberfläche widerspiegelt und dem **Digitalen Oberflächenmodell (DOM; DSM: Digital Surface Model)**, das die Oberflächen von auf dem Gelände befindlichen Objekten wie Vegetation und Gebäuden abbildet. Beide Modelle bestehen aus Rasterdaten, deren Zellen jeweils einen Höhenwert repräsentieren. Um DHM von echten dreidimensionalen Daten abzugrenzen, bei denen z. B. zur Darstellung von Felsklippen mit Überhang oder Tunnel und Höhlen mehrere Höheninformationen notwendig wären, werden sie als „2,5D“ bezeichnet (WOOD, 2008). Das primäre DHM besteht aus einer Punktwolke der ursprünglichen Messdaten. Beim sekundären DHM wurden die Informationen aus den ursprünglichen Messdaten dem Verwendungszweck entsprechend gefiltert und z. B. auf ein regelmäßiges Gitter raster transferiert (ALBERTZ, 2007). Das DGM5 des Landes Nordrhein-Westfalen verfügt über regelmäßige Gitterwerte im Abstand von 10 m und einer Höhengenaugigkeit von ± 5 dm. Die Daten der Messpunktwolke des DGM5L haben einen mittleren Abstand von 1–5 m und eine Höhengenaugigkeit von ± 3 dm. Aufgrund der mittlerweile höheren Punktdichte liefern die Laserscanner heute detaillierte Informationen für das DGM2 bzw. DGM2L (Bezirksregierung Köln, 2008b,c,d,e).



Abb. 3.8: DGM – Universität zu Köln (LVermA NRW, 1997–1998)

Für Gebiete, für die weder Luftbilder oder Karten noch Laserscan-Befliegungen vorliegen, können DHM auch aus Satellitenbildern abgeleitet werden: Das Kamerasystem CORONA z. B. nimmt Stereo-Satellitenbilder mit einer räumlichen Auflösung von 1,8 m auf, aus denen automatisch DHM erstellt werden können (ALTMAYER et al., 2002).

Die DHM dienen als Grundlage für „raumbezogene Planungen und Entscheidungsprozesse aller Art“ (Bezirksregierung Köln, 2008b) sowie zur Ableitung von 3D-Gebäudestrukturen (MADHAVAN et al., 2006). Das DGM liefert Daten zur Bildung der Höhenlinien der DGK5, zur Simulation und Prognose von Gefahren- und Schadensfällen, zur Funknetzplanung und zur Visualisierung von Geländeformen. Das DOM wird zusätzlich für Untersuchungen zur Solartauglichkeit von Dachflächen herangezogen (KASSNER, 2007).

3.2.4 Fernerkundungs- und Photogrammetrische Daten

Fernerkundungsdaten, z. B. Luft- (Kap. 3.1.4) oder Satellitenbilder (Kap. 3.1.5), können für verschiedene Anwendungen herangezogen werden: Bei der **visuellen Bildinterpretation** dienen Farben, Helligkeiten und Kontraste der Wahrnehmung und Deutung von Bildinhalten. Die **photogrammetrische Auswertung** macht sich zunutze, dass zwischen der aufgenommenen Gelände- und den Bilddaten geometrische Beziehungen bestehen, aus denen sich mittels messtechnischer Anwendungen Informationen über Größen und Höhen ableiten lassen. Die **digitale Bildauswertung** schließlich nutzt rechnerische Verfahren, um Bildinhalte automatisch und ohne Rücksicht auf das Vermögen menschlicher Wahrnehmung zu bestimmen (ALBERTZ, 2007).

Luft- und Satellitenbilder können in einem WebGIS zur Unterstützung der Visualisierung eingesetzt werden (HÖFFKEN et al., 2008). Dies zeigen auch die verschiedenen kartographischen Web-Angebote wie Geodatenportale (Kap. 2.5.5) und Online-Routingdienste (Kap. 2.6.3), die mithilfe dieser Produkte eine realitätsnähere Darstellung der Erdoberfläche ermöglichen.

Luftbilder

Die aufgenommene Gelände­fläche pro Luftbild misst in Anlehnung an den Blattschnitt der DGK5 ca. 2,8 * 2,8 km². Der für das Luftbildformat von 23 * 23 cm² gängige Maßstab beträgt 1:13 000 (LB13). Die AdV hat mittlerweile den Produktstandard für Luftbilder geändert und fordert eine Bodenauf­lösung von 20 cm pro Pixel. Die im Maßstab 1:8 000 aufgenommenen, 23 * 23 cm² großen Luftbilder (LB20) decken bei einem unveränderten Bildformat 1,8 * 1,8 km² Landesfläche ab. Auch vollzieht sich derzeit ein Wechsel von der analogen zur digitalen Aufnahmetechnik (Bezirksregierung Köln, 2008g).

Luftbilder (Abb. 3.9) werden als Planungsgrundlage, zur Beweissicherung im Schadensfall sowie für archäologische und bodenkundliche Untersuchungen eingesetzt (LVermA NRW, 2006). Seit 2003 liegt für das gesamte Gebiet Nordrhein-Westfalens farbiges Luftbildmaterial vor. Aus der Landesluftbildsammlung können historische Luftbilder bis ins Jahr 1978 abgerufen werden, vereinzelt sind sogar Aufnahmen bis 1954 erhältlich.



Abb. 3.9: Luftbild – Hauptgebäude der Universität zu Köln (LVermA NRW, 2003a)

Luftbildähnliche oder aus Luftbildern abgeleitete Produkte sind:

Orthophoto 1:5 000 (OP5) hochauflösende, verzerrungsfreie, maßstabstreue, photographische Abbildung der Erdoberfläche,

Digitales Orthophoto 1:5 000 (DOP5) georeferenziertes, digitales Orthophoto mit einer Bodenauf­lösung von 30 cm/Pixel und einer mittleren Lagegenauigkeit von ca. 1 m,

Digitales Orthophoto 1:25 000 (DOP25) aus DOP5 abgeleitetes Orthophoto mit einer Bodenauf­lösung von ca. 250 cm/Pixel.

Stereoluftbilder sind mit einer speziellen Stereokamera aufgenommene Luftbildpaare, die eine stereoskopische Betrachtung zulassen. Sie dienen der Gewinnung detaillierter Daten, z. B. bei 3D-Stadtmodellen insbesondere der Dachformen (Städtetag NRW, 2007).

Luftbildkarten werden meist in einem Maßstab zwischen 1:2 000 und 1:25 000 hergestellt. In diesem Bereich übersteigt die topographische Informationsfülle von Luftbildern die

gleichmaßstäbiger Karten weit. Nach HAKE et al. (2002) sind Luftbildkarten mit im Folgenden beschriebenen Gestaltungsmitteln versehene Luftbilder:

- Objekte können aufgrund von Verdeckung (z. B. Waldwege), zu kleinem Maßstab (Denkmäler) oder, weil es sich um abstrakte Sachverhalte handelt (Verwaltungsgrenzen, Naturschutzgebiete), auf einem Luftbild nicht sichtbar sein. In einer Luftbildkarte werden sie **ergänzt**.
- Sachverhalte werden durch Namen oder Abkürzungen **erläutert**.
- Nicht erkennbare Objekte werden durch Nachziehen der Kontur oder Mittellinie oder durch ergänzende Signatur **verdeutlicht**.
- Durch graphische Vereinheitlichung und Betonung werden Sachverhalte **klassifiziert**.

Satellitenbilder

Mit Inbetriebnahme zweier Satelliten, IKONOS-2 im Jahr 1999 und QuickBird-2 im Jahr 2001, veränderten insbesondere zwei Faktoren die Fernerkundungswelt: sie bieten eine höhere Auflösung als die bisherigen Systeme und ermöglichen, nicht nur senkrecht, sondern auch seitwärts aufzunehmen (OLSEN, 2007). IKONOS-2 war der erste kommerziell eingesetzte hochauflösende Satellit (Abb. 3.10). Er hat eine Auflösung von 1 m (panchromatisch: Graustufen) bis 4 m (multispektral: blau, grün, rot und nahes Infrarot). Über eine höhere multispektrale Auflösung von 60 cm verfügen die Sensoren des QuickBird-2-Satelliten. OrbView-3 nimmt mit einer Auflösung von 1 m panchromatisch und 4 m multispektral auf (ALBERTZ, 2007).

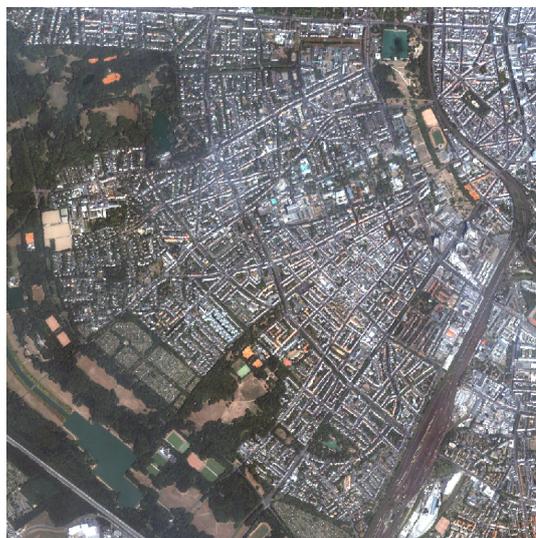


Abb. 3.10: Aufnahme des Satellitensensors IKONOS – Universität zu Köln (European Space Imaging GmbH, 2003)

GeoEye-1 wurde im September 2008 in Betrieb genommen (GeoEye, 2009). Er verfügt über die gleichen Spektralkanäle wie seine Vorgänger aus der OrbView-Reihe, erbringt aber die höchste Auflösung kommerziell arbeitender Satelliten: 0,41 m panchromatisch und 1,64 m im multispektralen Bereich, bei einer Streifenbreite von 15,2 km (PETERSON, 2008). Landsat 7, der jüngste

Satellit aus der seit 1972 aufnehmenden Landsat-Reihe, erfasst sieben multispektrale Bänder mit 30 m-Auflösung sowie einen panchromatischen Kanal mit 15 m und im Bereich der Thermalstrahlung (fernes Infrarot) 60 m (Eurimage, 2009). Eine Übersicht dieser und weiterer Fernerkundungssatelliten gibt ALBERTZ (2007, S. 243ff.).

Anwendungsgebiete für Satellitendaten finden sich z. B. in der Land- und Forstwirtschaft, Geologie und Bodenkunde, Stadt- und Regionalplanung, im Umwelt- und Risikomanagement (LILLESAND et al., 2008), bei Fragen zu Verteidigung und Sicherheit (JASANI und STEIN, 2002) sowie bei Küsten-, Meer- und Eisbeobachtungen (MASSOM und LUBIN, 2006). HEYWOOD et al. (2006) betonen als Vorteile von Satellitenbildern in einem GIS, dass diese Bilder heute immer bereits in digitaler Form vorliegen und dies die Möglichkeit gibt, verschiedene Wellenlängen durch geeignete Wahl der Farbdarstellung hervorzuheben. Außerdem ermöglicht der kleine Maßstab von Satellitenbildern regionale Studien sowie Kartierung, geologische Untersuchungen und Landnutzungsbeobachtung auch von entfernten Regionen.

3.2.5 3D-Daten

Ansichten in drei Dimensionen (3D) entsprechen dem räumlichen Sehen und damit der menschlichen Wahrnehmung des Raums und sind für uns im Alltag selbstverständlich: Größe und Entfernung von Objekten können durch die Anordnung unserer Augen, durch das Blickfeld, mithilfe unserer Erfahrung und der daraus resultierenden Verarbeitung im Gehirn bestimmt werden (HENNIG, 2008).

Neben Karten in Seiten- oder Schrägansicht sowie mit Schraffungen und Höhenlinien werden 3D-Modelle aus verschiedenen Werkstoffen angefertigt, um unseren Lebensraum realitätsnah abzubilden. In der digitalen Datenverarbeitung bewegt man sich mit entsprechenden Simulationen in der „virtuellen Realität“ (virtual reality, VR). Die räumlichen Daten werden mittels Laserscanning erfasst (Kap. 3.1.5). Geländeüberflüge und 3D-Stadtmodelle in digitalen Globen, vgl. S. 43, sowie Computerspiele (LONGLEY und BATTY, 2003) verstärken das öffentliche Interesse an Geodaten in 3D. Die mit vergleichsweise großem Aufwand zu erfassenden Stadtmodelle müssen nach GRÖGER et al. (2005) z. B. in der Kommunalplanung verschiedensten Aufgaben genügen: Katastrophenmanagement, Standortplanung, Funknetzplanung, Simulation von Schadstoffausbreitung und – aufgrund der EU-Richtlinie zum Umgebungslärm – Modellierung der Lärmausbreitung und Erstellung von Lärmkarten (CZERWINSKI et al., 2007). Der Einsatz dreidimensionaler Visualisierungsmethoden macht die Ergebnisse räumlicher Entscheidungen bereits im Vorfeld „interaktiv erlebbar“ (SCHILDWÄCHTER und ZEILE, 2008). LONGLEY und BATTY (2003) z. B. demonstrieren die digitale Rekonstruktion von historischen ägyptischen Stätten: Basierend auf Forschungsergebnissen und unterschiedlichen Interpretationsansätzen wurden in dem Projekt „Digital Egypt for Universities“ z. T. komplett zerstörte Monumente und Gebäude digital nachgebaut und in diversen Szenarien gezeigt, wie sie im Gelände angeordnet gewesen sein und ausgesehen haben könnten.

3D-Stadtmodelle lassen sich oftmals durch nur wenige Ergänzungen der mittlerweile bundesweit vorliegenden Geobasisdaten realisieren. In einem ersten Schritt genügt es, die Gebäude- daten mit Attributen wie Gebäudehöhe oder Stockwerkszahl und Geschoßhöhe zu verknüpfen,

um zweidimensionale Datenbestände zu 3D-Stadtmodellen zu „veredeln“ (SCHILCHER et al., 1999). Eine „Herausforderung besteht darin, existierende 3D-Stadtmodelle fortzuführen und zu pflegen“ (DÖLLNER, 2005), eine andere, die Darstellung durch Dachformen, Fassaden und Gebäudeanbauten wie Balkone, Erker etc. und Maueröffnungen wie Fenster und Türen zu verfeinern. Die Nähe zur Realität wird dabei durch den Feinheitsgrad der Darstellung, das **Level of Detail (LoD)**, bestimmt. MENG und FORBERG (2006) geben einen Überblick über die LoD-Abstufungen verschiedener Autoren. In den drei bis fünf Stufen werden die Detailgrade einzelner Gebäude, ganzer Siedlungen und auch die Topographie der Landschaft mit berücksichtigt. Die Stufen sind hauptsächlich festgelegt durch:

- Auflösung der Sensordaten,
- Genauigkeit der semantischen Information,
- Anforderungen der Anwendung.

Die Special Interest Group 3D (SIG 3D)⁵ legt „Anforderungen an 3D-Datenmodelle fest, die den internationalen Standards der OGC und ISO entsprechen und diese ergänzen“ (GRÖGER et al., 2005). Sie unterscheidet zwischen fünf aufeinander aufbauenden Detaillierungsgraden und beachtet dabei auch das Gelände, s. Abb. 3.11, so dass sich folgende Klassifikation ergibt (GRÖGER et al., 2005, 2004):

LoD 0, Regionalmodell Digitales Geländemodell (DGM) mit Textur, Orthophoto und Flächenutzung, jedoch ohne 3D-Objekte; streng genommen sind in dieser Stufe nur 2,5 Dimensionen vorhanden. Die Geländeoberfläche wird visualisiert und modelliert, damit die Gebäude bei den folgenden Modellen eine Basis haben.

LoD 1, Stadt-/Standortmodell, Klötzchenmodell Basisstufe der Gebäudemodellierung; Gebäude und ihre Bestandteile bilden eine Einheit ohne Ausdifferenzierung einzelner Gebäudeteile. Mehrere Gebäude können zu Komplexen (Krankenhäuser, Universitäten, Kraftwerks- oder Verwaltungstrakte) zusammengefügt werden. Eine Geländeschnittkurve kann anzeigen, an welcher Stelle die Gebäude an die Geländeoberfläche anzuschließen sind.

LoD 2, Stadt-/Standortmodell Explizite Unterscheidung zwischen den Bauteilen eines Gebäudes: Es ist möglich, die semantische Eigenschaft einer Fläche z. B. als Wand-, Boden- oder Dachfläche anzugeben und sie mit individuellen Texturen zu versehen.

LoD 3, Stadt-/Standortmodell Die Gebäudemodelle werden um Fenster- und Türöffnungen ergänzt. Die dargestellten Objekte sollen auch in der Realität vorhanden sein. Modelle des LoD 3 entsprechen Architekturmodellen.

LoD 4, Innenraummodell Modelle des LoD 4 sind geometrisch sehr genau dargestellt und verfügen zudem über modellierte Innenräume. Die Gebäude sind virtuell begehbar. Zur Modellierung bieten sich Systeme aus der computergestützten Planung in der Architektur (Computer-Aided Architectural Design, CAAD) an.

⁵ <http://www.ikg.uni-bonn.de/sig3d> – Zugriffsdatum: 05.2009

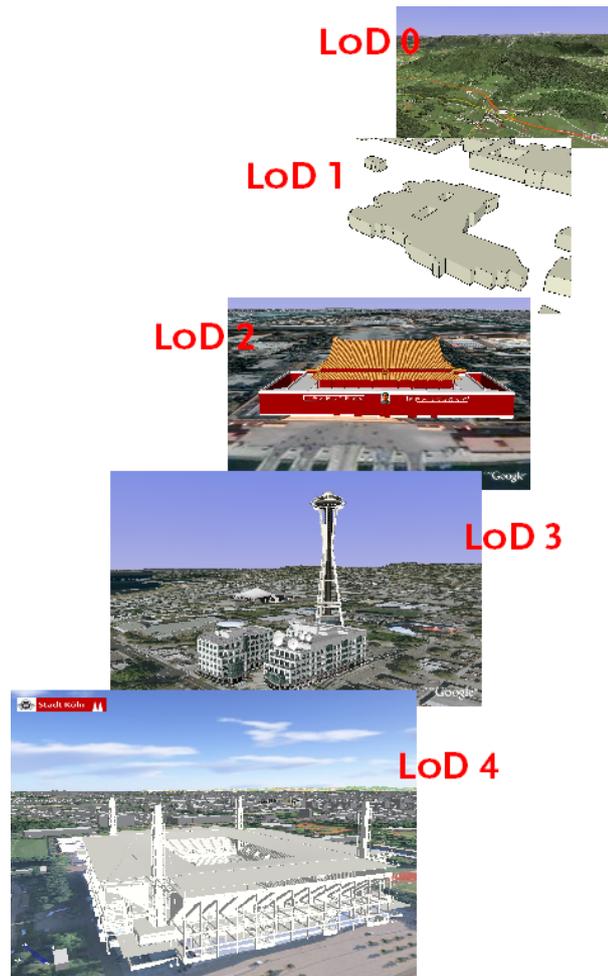


Abb. 3.11: Detailstufen in der 3D-Stadtmodellierung nach SIG 3D (HENNIG (2008); Datengrundlagen: HENNIG (2008); Stadt Köln (2007), <http://earth.google.de> – Zugriffsdatum: 2007)

3.3 Campusrelevante Daten

Die Grundlage eines GIS bilden die raumbezogenen Daten (Kap. 3.2). Zusätzlich können Informationen verfügbar sein, die bisher nicht mit dem Raum in Bezug gesetzt wurden. Eine Kopplung dieser Daten an räumliche Objekte ist jedoch oftmals möglich und kann die Informationstiefe eines GIS erweitern. Dabei kommt der Objekt-ID der Geoobjekte eine zentrale Rolle zu: über sie lassen sich verschiedene Datenbanken miteinander verknüpfen (BARTELME, 2005). Andererseits können Daten auch über räumliche Verschneidung miteinander kombiniert werden (BERNHARDSSEN, 2002). Die Informationen über die Gebäude der Universität zu Köln werden in einer Sachdatenbank, bisher ohne Raumbezug, vorgehalten (Kap. 3.3.1). Daneben existieren CAD-Zeichnungen aus den Bau- und Renovierungsphasen verschiedener Gebäude, die nicht georeferenziert sind (Kap. 3.3.2). Weitere Informationen über Institute, Einrichtungen und das

Personal der Universität, die i. d. R. einem Gebäude, Gebäudeabschnitt oder Raum zugeordnet werden können, sind in zusätzlichen Verzeichnissen und Datenbanken gespeichert (Kap. 3.3.3).

3.3.1 Gebäudedaten

Die Universität zu Köln unterhält komplette Gebäude und Gebäudeteile, Reihenhäuser, Wohnungen und Einzelbüros in 134 in eigenem Besitz befindlichen und 35 angemieteten Objekten (UZK, 2004a, 2009a). Die aktuelle bauliche Situation wurde bereits in Kap. 2.1.2 ausführlich dargelegt.

Das Regionale Rechenzentrum der Universität zu Köln (RRZK) erstellt und pflegt eine Datenbank, in der alle Gebäude, in denen die Universität zu Köln Räume nutzt, verzeichnet sind. Dadurch lässt sich jedes Universitätsgebäude durch eine Gebäudenummer identifizieren (BAASER et al., 2006). In einem GIS können diese Daten raumbezogen visualisiert werden.

Eine Online-Abfrage der Gebäudedatenbank liefert neben Gebäudenummer, -name und Adresse einen Hyperlink zum Lageplan der Universität, auf dem das abgefragte Gebäude gekennzeichnet ist, ein Foto des Gebäudes sowie die darin untergebrachten Einrichtungen, letztere jeweils mit einem Hyperlink zur eigenen Website.

3.3.2 CAD-Daten

Computer-Aided Design (CAD) bezeichnet das computergestützte Konstruieren insbesondere in den Bereichen Architektur und Ingenieurwesen. Dabei können die Buchstaben A und D als Abkürzung für unterschiedliche Begriffe stehen; so sind neben Computer-Aided Design auch Computer-Assisted (unterstütztes) Design, Computer-Aided oder -Assisted Drafting (Entwerfen) oder Drawing (Zeichnen) gängige Formulierungen. Daneben stehen CADD für Computer-Aided Drafting and Design (computergestütztes Entwerfen und Konstruieren), CAM für Computer-Aided Mapping (Kartieren) und CAC für Computer-Aided Cartography (Kartographie). Im Gegensatz zu GIS (Kap. 2.2), die als hybride Systeme sowohl Vektor- als auch Rasterdaten verarbeiten können und aufgrund der Topologie-Erkennung als ‚intelligent‘ bezeichnet werden (ASTROTH, 2008), ist ein CAD-System auf die Verarbeitung von Vektordaten ohne Topologie-Kennntnis beschränkt. Dennoch weisen CAD und GIS viele Ähnlichkeiten auf. Die Merkmale beider Systeme werden vergleichend in Tab. 3.1 dargestellt.

Die öffentlichen Verwaltungen nutzen in vielen Arbeitsbereichen CAD und GIS parallel, um den gesamten Lebenszyklus ihrer Infrastrukturen zu begleiten und notwendige Entscheidungen mithilfe der dort gespeicherten Informationen zu unterstützen. Trotz der Überlappungen wurden beide Systeme unabhängig voneinander und für verschiedene Zwecke entwickelt, so dass deutliche Unterschiede bezüglich der verwendeten und unterstützten Datenformate, der Terminologie und der semantischen Begrifflichkeit bestehen. Immer öfter wird bei digitalen Daten jedoch die Präzision von CAD-Zeichnungen und gleichzeitig der Raumbezug verlangt. Fehlende Interoperabilität zwischen CAD- und GIS-Plattformen führen so zu Ineffizienz und steigenden Kosten, insbesondere durch die doppelte Datenerfassung und redundante Datenhaltung. Der manuelle

Tab. 3.1: Unterschiedliche Funktionen von CAD- und GI-Systemen (ergänzt nach SCHAEFFER, 2008a, eigene Darstellung)

CAD	GIS
Vektordaten	Vektor- und Rasterdaten
Konstruieren und Erstellen graphischer Objekte, minimale Datenbank-Fähigkeiten.	Raumbezogene Datenbank, die graphische Objekte zur Anzeige von räumlichen Analyseergebnissen nutzt; graphische Bearbeitung ist zweitrangig.
Eigenschaften (wie Ebenennamen, Darstellungsfarbe etc.) können an graphisches Objekt „angeheftet“ werden; nicht-räumliche Eigenschaften können an separates Punkt-Objekt angeheftet werden; keine tabellarische Datensammlung.	Objekte sind mit Datenbank verknüpft, die geometrische Informationen wie auch nicht-räumliche Eigenschaften enthält; tabellarische Datensammlung.
Alle graphischen Objekte sind Teil einer Abbildung und nur über diese erreichbar.	Karte ist eine Sammlung von Verweisen auf verschiedene Daten-Dateien, die jeweils auch in anderen GIS-Projekten verwendet werden können.
Objekte sind thematisch organisiert, Bsp.: eine Straße kann als Ebene Punkte, Polygone, Schraffierung, Muster und Text enthalten.	Objekte sind nach Geometrietyp (Punkte, Linie oder Polygon) organisiert: die Daten können dann zu thematischen Ebenen gruppiert werden.
Keine Topologie: vier Linien, die ein Polygon darstellen, werden nicht als solches erkannt.	Räumliche Analysemöglichkeiten, weil Topologie vorhanden.

Transfer der heterogenen Daten- und Anwendungsstrukturen von CAD und GIS muss durch interoperable Lösungen ersetzt werden (AKINCI et al., 2008; PEACHAVANISH et al., 2006). GIS-Software-Firmen bemühen sich, Module zur Verfügung zu stellen, mit denen CAD-Daten in einem GIS integriert werden können (Kap. 3.4.4).

3.3.3 Personendaten

An der Universität zu Köln sind derzeit noch zwei Verwaltungssysteme für Personendaten im Einsatz: Das von der uniflash GmbH⁶ entwickelte System *uk-online* (Universität und Kommunikation) „verwaltet den kompletten Lehrbetrieb, vernetzt die bislang voneinander getrennten Arbeitsschritte und führt zu einer integrativen und transparenten Lösung der verschiedenen, aber aufeinander bezogenen Felder der universitären Administration“ (Uniflash GmbH, o. J.). Es ist seit dem Wintersemester 2001/02 im Einsatz, wird jedoch nicht von allen Fakultäten benutzt. Das Rektorat der Universität zu Köln hat die universitätsweite Einführung des **Kölner Lehr-**

⁶ <http://uniflash.de> – Zugriffsdatum: 07.2009

Informations- und Prüfungs-Service (KLIPS) veranlasst, das auf verschiedenen Softwaremodulen der HIS GmbH⁷ basiert. Dieses System wird von den Fakultäten sukzessive mit vorangehenden Pilotphasen seit dem Sommersemester 2007 eingeführt und soll die hochschulweite Prüfungs- und Veranstaltungsverwaltung unterstützen. Um eine einheitliche universitätsweite Lehrinfrastruktur zu schaffen, verfügt die Weboberfläche aller KLIPS-Anwendungen über eine einheitliche Struktur sowie über ein auf den Vorgaben des Corporate Design der Universität zu Köln basierendes homogenes Layout und wird in naher Zukunft *uk-online* ablösen.

uk-online

Das datenbankgestützte Managementsystem (DCM: Database Content Management) *uk-online*⁸ unterstützt jegliche Kommunikationsprozesse im Lehr- und Forschungsbetrieb einer Universität. Personen-, Forschungs- und Lehrinformationen werden von verschiedenen Einrichtungen der Universität zu Köln über dieses System bereitgestellt (BAASER et al., 2006). Ein plattformunabhängiges Webformular dient als Schnittstelle zur Dateneingabe in eine dezentrale Datenbank. Eine ebenso plattformunabhängige Weboberfläche zeigt dem Nutzer die dort ausgelesenen Informationen an. Das System sieht verschiedene Nutzergruppen wie Studierende, Lehrende, Geschäftszimmer der Institute, Dekanate, Rektorate, Einrichtungen (z. B. Rechenzentrum, Bibliothek) und deren Mitarbeiter vor, die über jeweils unterschiedliche Funktionen und Nutzungsrechte verfügen. Durch das Erstellen von Vorlesungsverzeichnissen, Belegungsplänen, Aushängen und Listen sowie das digitale Führen der Studierendenkartei werden administrative Prozesse auf Seiten der Universität verkürzt und gebündelt. Studierende können sich online zu Lehrveranstaltungen anmelden, wodurch Teilnehmerlisten für den Lehrenden als auch Stundenpläne für den Studierenden generiert werden können. In einem öffentlichen Bereich sind Vorlesungsverzeichnisse, Dekanats-, Instituts-, Einrichtungsseiten sowie ausgewählte personelle Informationen allgemein zugänglich. Passwortgeschützte Informationen können nur von bestimmten Nutzergruppen eingesehen und bearbeitet werden (Uniflash GmbH, 2004). Die Mitarbeiter der Universität können bei ihren Daten u. a. das Gebäude auswählen, in dem sich ihr Büro befindet. Über diese Information kann ein Bezug zu den Geodaten hergestellt werden.

KLIPS

Die zur Vereinheitlichung des europäischen Hochschulwesens durch den Bologna-Prozess⁹ geforderten modularisierten Studiengänge Bachelor und Master bedingen eine „Reorganisation der hochschulweiten Prozessabläufe“ (MOOG, 2007). Um den neuen Anforderungen, insbesondere der fächerübergreifenden Verknüpfung des Prüfungs- und Veranstaltungsmanagements gerecht zu werden, setzt die Universität zu Köln verschiedene aneinander gekoppelte Module zur Studierenden- und Prüfungsverwaltung ein (UZK, 2007a). Die Web-Anwendung für Lehre, Studium und Forschung (LSF) „bietet Funktionen für die Erfassung und die Präsentationen von Lehrveranstaltungen und Forschungsprojekten und den damit verbundenen Ressourcen (Einrichtungen, Personen, Räume)“ (UZK, 2007b). Die Verknüpfung der im KLIPS vorgehaltenen Informationen mit Geodaten kann über Programmier-Schnittstellen realisiert werden (UZK, 2008c).

⁷ <http://www.his.de> – Zugriffsdatum: 07.2009

⁸ <http://uk-online.uni-koeln.de> – Zugriffsdatum: 07.2009

⁹ <http://www.bmbf.de/de/3336.php> – Zugriffsdatum: 07.2009

3.4 Datenspeicherung und -organisation

Die Speicherung und Organisation von Daten in einem GIS wird der funktionalen Komponente „Verwaltung“ zugeordnet. Die Daten müssen so gespeichert werden, dass sie wieder aufgefunden, aufgerufen, bearbeitet und genutzt werden können. Dabei stellt die Speicherung von Geodaten spezielle Anforderungen, weil neben den alphanumerischen Attributdaten auch die damit verknüpften Geometrien verwaltet werden müssen. Dieser komplexen Aufgabe waren gängige Datenbanksysteme bis zum Ende der 1990er Jahre nicht gewachsen, so dass die Daten in Dateien oder GIS-spezifischen Datenspeicherungssystemen abgelegt wurden. Problematisch war dabei das Fehlen üblicher Standards, so dass die Datenhaltung vielfach eine enge Bindung an einen bestimmten Systemanbieter bedingte und fehlende Interoperabilität den Datenaustausch erschwerte.

Wegen der Komplexität von GIS konnten GIS-Anbieter nur Teile ihrer Kapazitäten der Entwicklung von Datenbanksystemen widmen, so dass die GIS-spezifischen Datenhaltungskomponenten hinter dem allgemeinen technologischen Fortschritt zurückblieben. Seit sich GIS in offene IT-Infrastrukturen integrieren müssen und nicht mehr nur als Fachanwendung angesehen werden, sind offene Standards und Interoperabilität unabdingbar. Moderne GIS verfügen daher über OGC-konforme Datenformate und Schnittstellen zu handelsüblichen Datenbanksystemen oder integrieren diese (Kap. 3.4.1). Datenbanksysteme, die Geodaten persistent speichern¹⁰ und räumliche Abfragen bearbeiten können, werden als räumliche Datenbanksysteme oder Geodatenbanksysteme bezeichnet. Sie beinhalten Daten mit geometrischen Eigenschaften und einem Raumbezug zur Beschreibung von Objekten und Erscheinungen der realen Welt, sogenannte Geoobjekte (engl. geographic features oder spatial objects) (BRINKHOFF, 2008). Herkömmliche relationale Datenbanken sind als Geodatenbanken nur bedingt geeignet. Eine bessere Integration von Geometrien bieten dagegen objektrelationale Geodatenbanksysteme. Diese basieren auf objektrelationalen Datenbanksystemen (ORDBS) (Kap. 3.4.2), die durch entsprechende Klassen sowie Methoden und Verfahren zur Bearbeitung räumlicher Daten erweitert und damit für raumbezogene Anwendungen optimiert werden (SCHEUGENPFLUG, 2005).

Aufgrund der weiten Verbreitung widmet sich Kap. 3.4.3 zweier Datenformate des GIS-Software-Marktführers Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI) (MAGUIRE et al., 2005a). Ein **Datenformat** gibt die Struktur vor, wie ein Computerprogramm Daten zum Laden, Speichern und Verarbeiten interpretieren muss. Der Begriff ist von dem des Dateiformats abzugrenzen: Ein **Dateiformat** definiert die Datenorganisation innerhalb einer Datei. Es ist anhand der verschiedenen meist drei- oder vier-buchstäbigen Dateinamenserweiterung wie *.pdf, *.jpg oder *.docx zu erkennen. Das Shapefile-Format wird von den meisten Desktop-GIS unterstützt und hat sich so zum Quasi-Standard entwickelt (S. 93). Das ESRI Geodatabase-Design (S. 93) unterstützt den Zugriff auf Geometrien und Attributdaten in ORDBS mit der Structured Query Language (SQL) (ESRI, 2009b). Möglichkeiten der Implementierung von CAD-Zeichnungen in GIS werden in Kap. 3.4.4 exemplarisch anhand von GIS-Software-erweiternden Modulen aufgezeigt.

¹⁰ *persistent* bedeutet nach SCHUBERT (2004) in der Informatik die dauerhafte Speicherung unabhängig von der Laufzeit eines Programmes oder des Computers

3.4.1 OGC-Datenmodelle

Das Open Geospatial Consortium (OGC, vgl. Kap. 2.5.1) konzipiert und definiert übergreifende Datenmodelle, die schematisch die Struktur von Datenformaten beschreiben. Zur Modellierung der Datenmodelle wird meist die vereinheitlichte Modellierungssprache UML (Unified Modeling Language) verwendet.

„Ein Datenmodell beschreibt die grundlegenden Eigenschaften, die für alle Erscheinungen einer bestimmten (fachbezogenen) Sicht auf die Wirklichkeit eine einheitliche Abbildung erleichtern. Es bestimmt die grundsätzlichen Strukturen, die Beziehungen, die prinzipiell möglich sind, und die Eigenschaften, die zugeordnet werden können. (...)“ (BILL, 1999a)

Das „Spatial Schema“ ist als eines der ersten OGC-Dokumente im Wesentlichen ein allumfassendes Datenmodell, das den Rahmen für die Gestaltung von OGC-Spezifikationen vorgibt. Das Spatial Schema ist inzwischen in der ISO 19107:2003 (Spatial Schema) enthalten (BUEHLER, 2003). Die ISO 19107:2003 legt das Konzept zur Beschreibung der räumlichen Ausprägungen von Geoobjekten fest. Sie befasst sich mit Vektor-Geometrien und -Topologien mit bis zu drei Dimensionen, die die Erscheinungen der realen Welt als geometrische Primitive - Punkt, Linie oder Polygon - mit räumlichem Bezug und ihren Attributen abbilden und definiert den Zugriff, die Abfrage, die Verwaltung, die Prozessierung und den Datenaustausch dieser Geoinformationen (ISO, 2008). Damit ist sie die Basis u. a. für die OpenGIS Simple Feature-Spezifikationen und die OpenGIS Geography Markup Language (GML) Implementation-Spezifikation.

Fast alle OGC-Spezifikationen nutzen zur Client-Server-Kommunikation die Auszeichnungssprache GML, die in der ISO 19136:2007 genormt ist. Sie wird auch zur Übermittlung sowie zum Austausch von AAA-Bestandsdaten über die NAS (Kap. 3.2.1) verwendet (STROBEL und REINHARDT, 2007) und ist Basis der CityGML zur Beschreibung von 3D-Stadtmodellen.

3.4.2 Relationale und objektrelationale Datenbanken

Zunächst sollen einige allgemeine Begriffe und Abkürzungen definiert werden: Eine **Datenbank (DB)** ist eine Sammlung von Daten, die einheitlich beschrieben und persistent gespeichert werden. Die Organisation und der Zugriff auf die Daten werden durch eine Benutzer- oder Programmschnittstelle, das **Datenbankmanagementsystem (DBMS)**, realisiert. Durch Kombination von DB und DBMS entsteht ein **Datenbanksystem (DBS)**. Die Strukturen und Methoden, die zur Bearbeitung der Daten in einer DB verwendet werden, werden im **Datenbankmodell** festgelegt. Das **Datenbank-Schema** gibt die Logik zur Beschreibung der Daten vor; es definiert ihre Namen, ihre Größe und weitere Eigenschaften sowie die Beziehung zwischen den Daten (KLEINSCHMIDT und RANK, 2004; BRINKHOFF, 2008; SCHUBERT, 2004; BILL et al., 2001–2008).

Als **Relationale DB (RDB)** wird das von CODD (1970) entworfene Datenbankmodell bezeichnet, das die Grundlage vieler heute benutzter DB bildet. Eine RDB ist eine Sammlung von Tabellen, in denen Elemente durch Eigenschaften und Beziehungen beschrieben werden. Die

Zeilen einer RDB-Tabelle werden als Datensatz, Tupel oder Entität bezeichnet, die Spalten als Attribute oder Felder. Die Werte, die in den Spalten eingetragen werden und die Eigenschaften der Datensätze beschreiben, sind die Attributwerte. Jeder Datensatz existiert nur einmal, so dass es keine identischen Zeilen geben kann. Auch die Spalten der Tabelle dürfen nie doppelt vorhanden sein. Alle Werte einer Spalte haben den gleichen Datentyp. Das Schlüsselattribut (Primärschlüssel) bezeichnet die Datensätze eindeutig. Es wird in den verknüpften Tabellen als Fremdschlüssel aufgenommen, um die Datensätze miteinander zu verbinden, so dass Beziehungen (Relationen) entstehen (WURGLITSCH, 2005). Die Beziehungen können graphisch in einem Entitäten-Relationenmodell (entity-relationship model, ER-Modell) aufgezeigt werden. Dabei werden die einzelnen Tabellen graphisch dargestellt, bei Verknüpfung mit einer Linie verbunden und der Beziehungsgrad (Kardinalität) zwischen den Entitäten angegeben: In einer 1:1-Beziehung steht jedes Element aus einer Tabelle mit genau einem in der damit verknüpften anderen Tabelle in Beziehung. Bei einer 1:n-Beziehung ist jedes Element einer Tabelle mit mindestens einem aus der anderen Tabelle verknüpft. Eine m:n-Beziehung erlaubt beliebig viele Verknüpfungen zwischen den Entitäten zweier Tabellen. Zur Definition, Bearbeitung und Abfrage der Datensätze wird häufig die für RDB standardisierte Datenbanksprache Structured Query Language (SQL) eingesetzt (BRINKHOFF, 2008).

Mit der Entwicklung von objektorientierten Programmiersprachen wie C++, C# oder Java entstanden auch objektorientierte Datenbanken (OODB). Diese haben sich aber bisher nicht richtig durchgesetzt. Stattdessen wurden RDB um objektorientierte Konzepte zu **objektrelationalen Datenbanken (ORDB)** erweitert. Das ORDB-Konzept sieht die Definition eigener Datentypen und zugehöriger Operationen (Klassendefinitionen) vor, die das Verhalten der Objekte festlegen. So lassen sich z. B. die in einer RDB gespeicherten thematischen Fachdaten mit als Objekten gespeicherten räumlichen Datentypen verknüpfen. Objektrelationale Datenbankmanagementsysteme (ORDBMS), z. B. IBM Informix und DB2 mit den Erweiterungskomponenten Spatial DataBlade und Geodetic DataBlade, Microsoft SQL Server, PostgreSQL mit PostGIS und Oracle Spatial, werden von den meisten gängigen GIS unterstützt und bilden vielfach die Basis von Geodatenbanken (vgl. Kap. 3.4.3) (LUFTER, 1999; KLEINER et al., 2000). Auch das ATKIS-Datenmodell ist objektorientiert und kann in einer ORDB gespeichert werden (KLEINER et al., 2000).

3.4.3 ESRI-Datenformate

Die ArcGIS-Produktpalette aus dem Hause ESRI ermöglicht den Import einer Vielzahl auch fremder Datenformate. Die Erweiterung Data Interoperability erlaubt die Nutzung und Verteilung von Daten in zusätzlichen Formaten. Damit wird das Lesen von mehr als 100 Geodatenformaten und der Export von über 70 Formaten unterstützt (ESRI, 2008f). Im Folgenden sollen exemplarisch die proprietären, ESRI-eigenen Datenformate Shapefile und Geodatabase vorgestellt werden. Als Mitglied des OGC ermöglicht ESRI, in ArcGIS verarbeitete Daten OGC-konform mittels Webservices oder auch über GML-Spezifikationen auszutauschen (ESRI, 2009h).

Shapefile

Ein Shapefile ist ein „einfaches, nicht-topologisches Format zur Speicherung der geometrischen Lage und Attribut-Informationen räumlicher Objekte“ (ESRI, 2009a). Das Shapefile-Format speichert die Geometrie und die alphanumerischen (Sach-)Attribute von Geodaten in getrennten Dateien. So besteht ein Shapefile tatsächlich aus mindestens drei Dateien, die vor der Dateieindung den gleichen Namen haben und im selben Arbeitsverzeichnis abgelegt sein müssen:

dateiname.shp Die Hauptdatei speichert die geometrischen Eigenschaften der Geoobjekte.

dateiname.dbf Die dBASE-Tabelle speichert Attribut-Informationen der Geoobjekte. Es besteht eine 1-zu-1-Beziehung zwischen Geometrie und Attribut-Information.

dateiname.shx Die Index-Datei speichert die Kennziffern jedes Geoobjekts und verbindet damit die *.shp- mit der *.dbf-Datei.

Auf Grundlage dieser Dateien und je nach Bearbeitung erstellt ArcGIS zusätzliche Dateien, die hier nicht alle aufgeführt werden sollen. Von Bedeutung sind jedoch außer den genannten insbesondere die optionalen

dateiname.prj mit den geographischen Referenz-Informationen sowie

dateiname.xml mit den Metadaten.

Form und Lage der Geoobjekte sind in diesem Datenmodell als binäres Objekt unter dem Attribut SHAPE gespeichert. In diesem Feld der DBF-Datei sind daher nicht die Koordinaten, die das Geoobjekt begrenzen, sondern nur der geometrische Typ (Punkt, Linie oder Polygon) angegeben (HENNERMANN, 2006). Alle Geoobjekte innerhalb eines Shapefiles haben den gleichen Geometriotyp.

Geodatabase

Eine Geodatenbank (Geodatabase: GDB) ist ein Behälter zur Speicherung von GIS-Daten verschiedener Typen in einem Dateiverzeichnis (File-GDB, *.gdb), einer Microsoft Access-DB (Personal-GDB, *.mdb) oder einer Relationalen Datenbank (RDB) wie z. B. Oracle oder MS SQL Server. Die ESRI-File-GDB wird in den folgenden Absätzen ausführlich beschrieben. Eine ESRI-Personal-GDB basiert auf einer speziellen Microsoft Access-DB, die neben regulären Tabellen auch räumliche Daten zu speichern vermag. Das Speichergößenlimit liegt pro Access-DB bei 2 GB, jedoch ist oftmals eine Schwächung der Leistungsfähigkeit (performance) schon bei einer Dateigröße zwischen 250 und 500 MB zu erkennen. Ein editierender Mehrnutzerezugriff ist bei der Personal-GDB nicht möglich; während die Daten von einer Person bearbeitet werden, können andere nur lesend zugreifen, also die Daten anzeigen, analysieren oder kartographisch darstellen, aber nicht verändern. Für größere Projekte und den Mehrfachzugriff benötigt eine GDB ein zugrunde liegendes RDBMS (ESRI, 2009b).

Eine GDB besteht aus Datensätzen unterschiedlicher Typen. Die Primärtypen sind Objektklassen (feature classes), Rasterdatensätze und Tabellen. Die Objektklassen können in einem Datensatz (feature dataset) gruppiert und organisiert werden. Durch Verknüpfung von Objektklassen mit Tabellen lassen sich Beziehungen, sogenannte relationship classes, herstellen. Eine GDB gibt sowohl das DB-Schema als auch Regeln für jeden Geodatensatz vor. Die Speicherung in

einer GDB basiert auf objektrelationalen Prinzipien, denn die Attribut-Daten werden in Tabellen gespeichert und dabei bildet jede Tabellenzeile ein Geobjekt und die Spalteneinträge die zugehörigen Eigenschaften (ESRI, 2009d). Die Spalte SHAPE benennt den Geometriotyp des Geobjekts: Punkt (point), Linie (line) oder Polygon (polygon) stehen wie bei dem Shapefile-Format als Verweis auf die Koordinaten- und Geometrieinformationen des Geobjekts.

Zur Arbeit mit ArcGIS empfiehlt die Fa. ESRI aufgrund der höheren Leistungsfähigkeit (performance) sowie Vorteilen in Struktur und Datenverwaltung die systemeigene **File-GDB** (CHILDS, 2009). Die Daten in einer File-GDB werden in einem Verzeichnis mit der Dateierdung .gdb abgelegt. Während ArcCatalog¹¹ das Verzeichnis mithilfe der verschiedenen Dateitypen – das können u. a. Objektklassen-, Netzwerk- oder Geländedatensätze, Rasterkataloge, Tabellen und Beziehungen sein – strukturiert, stellt der Dateimanager von z. B. Windows eine Sammlung mit kryptischen Dateinamen dar (Abb. 3.12). Dabei bilden immer zwei separate Dateien mit dem gleichen Dateinamen einen Datensatz, von denen eine die Geometrie- und die andere die Attributdaten beinhaltet.

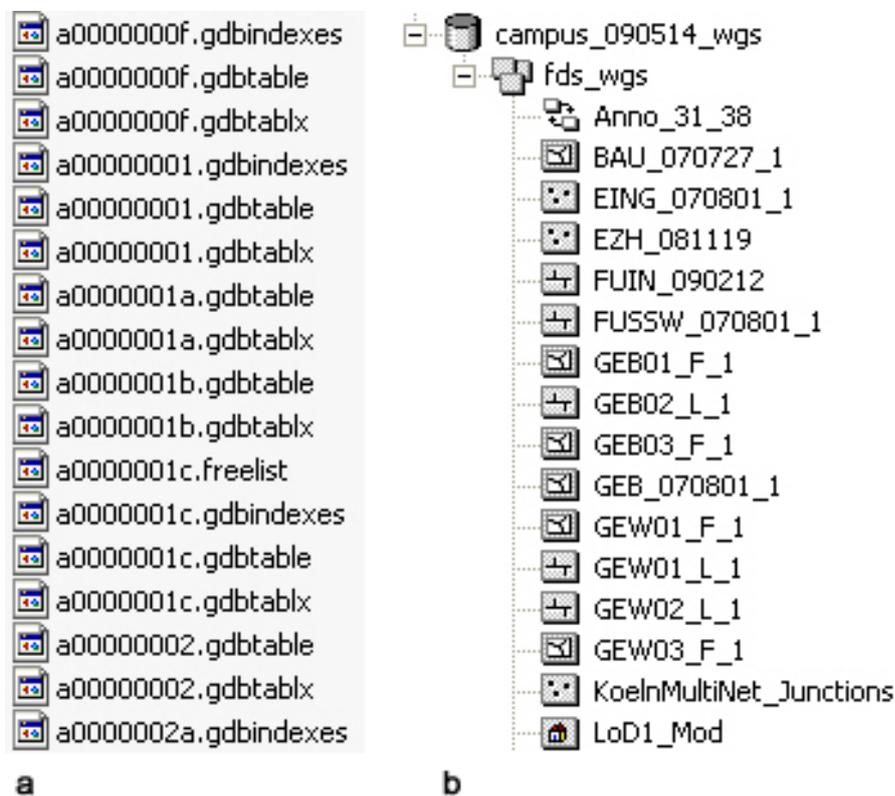


Abb. 3.12: File-Geodatabase - Dateistruktur (a) im Windows-Dateimanager und (b) in ArcCatalog (eigene Darstellung)

¹¹ ArcCatalog ist neben ArcMap eine der beiden Anwendungen der ESRI-Software ArcGIS. ArcCatalog wird als Managementoberfläche für alle GIS Datentypen und Dokumente bezeichnet, während ArcMap mit einer Daten- und einer Layout-Ansicht das Erstellen und Auswerten von Geodaten unterstützt (<http://www.esri.de>)

Jeder Datensatz kann eine Größe von bis zu 1 TB erreichen, die für extrem große Rasterdaten auf bis zu 256 TB erweitert werden kann (ESRI, 2009b). Eine File-GDB ist betriebssystemunabhängig und kann mit verschiedenen RDBMS kombiniert werden (KENNEDY, 2009).

3.4.4 CAD-Zeichnungen und GIS

Als Vektordaten können CAD-Zeichnungen in viele GIS integriert werden (vgl. Kap. 3.3.2). Da sie jedoch in der Regel nicht georeferenziert sind, müssen die räumlichen Lageinformationen zunächst ergänzt werden. Vor allem im Bereich dreidimensionaler Datenverarbeitung sind die Leistungen der GIS begrenzt, so dass CAD-Zeichnungen oft nur angezeigt, aber nicht weiterverarbeitet werden können (read-only). Verschiedene CAD- und GIS-Software-Hersteller haben mittlerweile den Bedarf des Datenaustauschs und der interoperablen Verarbeitung erkannt und für ihre Produkte Erweiterungen für den Im- und Export der jeweils anderen Datenformate entwickelt: Autodesk bietet integrierte Lösungen zur Erstellung, Integration und Verwaltung von CAD und GIS, die weder auf Präzision noch Topologie verzichten (Autodesk, 2004). ESRI's **ArcGIS for AutoCAD**¹² ist eine kostenfreie Erweiterung für die AutoCAD-Umgebung, um nahtlose Interoperabilität zwischen AutoCAD und der ArcGIS-Plattform herzustellen. Mit diesem Werkzeug können GIS-Informationen von öffentlichen und privaten ArcGIS Server-Websites angezeigt und abgefragt werden, ohne dass sie in ein anderes Datenformat übersetzt werden müssen. Auch die Projektion wird durch eine automatische Transformation an das Koordinatensystem der CAD-Zeichnung angepasst. Zusätzlich hat ESRI eine Zeichenvorschrift zum Speichern, Bearbeiten und für den Austausch von raumbezogenen Informationen in einer DWG- oder DXF-Datei entwickelt, die Bestandteil der aktuellen Versionen von ArcGIS for AutoCAD (Vers. 2007, 2008 und 2009) und ArcGIS (ab Vers. 9.3) ist: Die **Mapping Specification for DWG/DXF (MSD)** setzt Informationen einer DWG- oder DXF-Datei in GIS-Feature classes mit einem räumlichen Koordinatensystem um, das von ESRI ArcGIS-Software erkannt wird (ESRI, 2009).

In allen Ansätzen spielen sowohl der De-facto-Standard DXF als auch die Berücksichtigung der CAD-Thematik in Arbeitsgruppen und Diskussionen des OGC eine wichtige Rolle. Neben ESRI sehen auch AKINCI et al. (2008) in semantischen CAD- und GIS-Webservices die Möglichkeit, Probleme zu lösen, die sowohl CAD- als auch GIS-Daten benötigen, und den Nutzer vor Wissenslücken und Unklarheiten in der Semantik zu schützen.

3.5 Raumbezogene Anwendungen

Die dritte funktionale Komponente des EVAP-Modells, die Analyse raumbezogener Daten, ist die bedeutendste Funktionalität eines GIS: Bei der Analyse werden aus dem Rohmaterial Geodaten mittels Prozessierung neue Informationen generiert (MALCZEWSKI, 1999). Mit ihrem räumlichen Kontext können sie Planungen, Dokumentationen und Entscheidungsfindungsprozesse jeglicher raumbezogener Art unterstützen (BILL, 1999b).

¹² <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-autocad> – Zugriffsdatum: 06.2009

Bevor in digitalen Daten abgebildete Phänomene der Erdoberfläche mittels GIS-Technologie analysiert werden können, müssen mithilfe des Anwender-Fachwissens ein Problem bzw. eine Fragestellung definiert, Lösungsansätze entwickelt und geeignete Daten entsprechend der geographischen Lage und des thematischen Inhalts ausgewählt werden. Die Datenanalyse ist auf verschiedenen Ebenen möglich: Die Daten der Attributtabelle können zur Präsentation in Tabellen oder Berichten nur selektiert oder sortiert oder aber durch arithmetische, booleansche oder statistische Operationen zuvor prozessiert werden (BERNHARDESEN, 2002). Die Methoden reichen von geometrischen, logischen und relationalen Verknüpfungen der Daten bis zu statistischen Verfahren. Bei den geometrischen Daten sind Flächenverschnidungen, Interpolation von Punkten und Netzwerkanalysen Beispiele für eine Vielzahl gängiger Operationen (BILL, 1999a).

Aus dem breiten Anwendungsspektrum für raumbezogene Informationen werden bedeutende Methoden im Folgenden exemplarisch vorgestellt: die Abfrage der Attribute zu Geoobjekten sowie die Auswahl von Geoobjekten aufgrund ihrer Attribute sind GIS-Standardanwendungen, wenn die Funktionen nur auf die unmittelbar mit den Geoobjekten abgespeicherten Eigenschaften zurückgreifen. In dieser Form sind sie in vielen WebGIS implementiert. Darüberhinaus ist es möglich, über Objekt-IDs Datenbanken mit den Geoobjekten zu verknüpfen und so auch extern gespeicherte Eigenschaften abzufragen, für Analysen zu nutzen und darzustellen (Kap. 3.5.1).

Durch den Einsatz präziser und automatisierter Ortsbestimmung in Echtzeit gewinnen LBS an Nutzerfreundlichkeit und Mehrwert (Kap. 3.5.2). Sollen dem mobilen Nutzer Routinganwendungen bereitgestellt werden, ist auf die Methoden der Netzwerkanalyse zurückzugreifen (Kap. 3.5.3). Sie nutzt die drei Komponenten Topologie, Modellierung eines multimodalen Netzwerks und einen Algorithmus zur Kürzeste-Wege-Berechnung (BAASER et al., 2010).

3.5.1 Attributabfragen und attributive Selektion

Für raumbezogene Abfragen stellen die verschiedenen GIS-Softwareprodukte unterschiedliche Werkzeuge zur Verfügung, z. B.:

- Schaltflächen wie „Identifizieren“, mit denen ein Maus-Klick auf ein Geoobjekt dessen Eigenschaften abrufen,
- alphanumerische Eingabe von Suchbegriffen,
- vorbereitete Aufklappmenüs (pull down menus),
- Selektion nach Attributen,
- Selektion nach geographischer Lage, Nachbarschaftsbeziehungen o. ä.,
- formale SQL-Abfragen.

Diese Abfragewerkzeuge greifen entweder auf die geometrischen Daten, die in einer Karte dargestellt werden, oder auf die in Tabellen und Datenbanken enthaltenen Objekteigenschaften, die Attribute, zu. Zu den Grundfunktionen eines GIS gehört die Attributabfrage (identify), die die Eigenschaften der Geoobjekte ausliest. Das GIS-Werkzeug, das diese Funktion ausführt, wird in der Regel mit einem „i“ dargestellt. Ist das Werkzeug aktiviert, erzeugt das Anklicken eines Geoobjekts eine Abfrage der mit dem Objekt verknüpften Tabelle oder Datenbank und darauf folgend eine Ausgabe der dort gespeicherten Eigenschaften.

Im Vergleich dazu funktioniert die attributive Selektion entgegengesetzt: Mit diesem Werkzeug, oft durch ein Fernglas dargestellt, werden bestimmte Eigenschaften in den mit den Geoobjekten verknüpften Datenbanken gesucht (LONGLEY et al., 2005). Dafür werden i. d. R. mittels SQL-Ausdrücken ein oder mehrere aus Attributen, Operatoren und Berechnungen bestehende Kriterien definiert (ESRI, 2009i). Die Abfrage-Ergebnisse werden markiert oder gesondert angezeigt. Aufgrund der Verknüpfung der Attribute mit den Geoobjekten über eindeutige Objektidentifikatoren (vgl. Kap. 2.2.3) werden die durch die attributive Selektion ermittelten Geoobjekte auch in der Kartenansicht hervorgehoben (BURROUGH und MCDONNELL, 1998).

3.5.2 Ortsbestimmung

LBS sind Dienste, die sich am aktuellen Aufenthaltsort des Nutzers orientieren (vgl. Kap. 2.6). Bei stationärer Nutzung des Internets sind Ort und Profil des Anwenders in der Regel gleichbleibend. Kennzeichen mobiler Anwendungen dagegen ist, dass sich der Ort des Anwenders ändern kann (DIEKMANN und GEHRKE, 2003). Mit den Methoden der Ortsbestimmung kann die Nutzerposition ermittelt werden. Als einfachste Methode nennen STAUDINGER und HASSELGRÜBLER (2002, S. 150) die „direkte Angabe durch den Nutzer“. Diese muss dem Nutzer aufgrund ausreichend genauer Ortskenntnis bekannt sein. Dazu stehen ihm nach HIGHTOWER und BORRIELLO (2001a) folgende Techniken zur Verfügung:

Triangulation Errechnung der Position durch Distanzmessung oder Winkelbestimmung zwischen bekannten Punkten

Näherung Positionsbestimmung durch Näherung an benachbarte, bekannte Punkte

Szenenanalyse Ortsbestimmung durch Orientierung an markanten Landschaftsobjekten in der Umgebung

Jedoch sollen hier elektronische Verfahren vorgestellt werden, damit sich der Nutzer vor der Anwendung nicht orientieren muss und auch eine Navigation in unbekanntem Terrain möglich ist. Je nach Verfügbarkeit wird die Nutzerposition von einem Empfänger im Endgerät des Nutzers mittels der sogenannten Onboard-Positionierung, oder alternativ server-basiert ermittelt.

Verfügt der Computer oder das mobile Endgerät über einen Empfänger für GNSS-Daten (vgl. Kap. 3.1.3), ist eine sehr genaue Standortbestimmung mittels der **Satellitenpositionsbestimmung** möglich. Die von dem Empfänger ermittelten Koordinaten werden über ein Kommunikationsprotokoll an das Netzwerk übermittelt und der Nutzer kann über seine Positionsinformationen verfügen und diese auch weiterverwenden. Problematisch sind Ungenauigkeiten in bebautem Gebiet und Unerreichbarkeit innerhalb von Gebäuden. Dort können **Innenraum-Positionsbestimmungsmethoden** Abhilfe schaffen: Ortsfeste Sensornetzwerke erkennen Objekte in ihrer Nähe oder ermitteln die Position durch Triangulation basierend auf verschiedenen Messungen der Signalstärke. Diese Methoden sind jedoch vergleichsweise teuer und können nur kleine Regionen abdecken.

SAEED et al. (2010) stellen zusätzlich die Positionsbestimmung mittels eines 2D-Barcode-Systems vor: Diese an gut sichtbaren Stellen, z. B. auf Eingangstüren oder Schildern, angebrachten Etiketten enthalten Informationen über das Objekt, das sie kennzeichnen. Ein im Mobiltelefon

implementiertes Programm dekodiert das Etikett, nachdem es von der Mobiltelefonkamera aufgenommen wurde. Über eine Internetverbindung lassen sich zusätzliche Informationen abrufen.

Weitere Ortsbestimmungsmethoden lassen sich unter dem Begriff **Netzwerklösungen** zusammenfassen: Über Basisstationen, Funktürme und Radiowellen werden die Funkzellen identifiziert, in denen das mobile Endgerät angemeldet ist. Dies können z. B. Handy- oder W-LAN-Funkzellen sein. Die Genauigkeit ist abhängig von der Größe der Funkzellen, d. h. in Gebieten mit einer höheren Besiedlungsdichte sind die Funkzellen kleiner und die Genauigkeit damit höher. Eine Verbesserung der Positionsbestimmung ist möglich, wenn zur Berechnung der Winkel zu zwei Basisstationen ermittelt wird oder die Nutzerposition aus mindestens drei Basisstationen über Zeitdifferenz-Messungen trianguliert wird. Wenngleich diese Berechnungen die Satellitenpositionsbestimmung in städtischen Gebieten und in Gebäuden erhöhen können, sind die ermittelten Positionen doch weniger genau als gewünscht (BRIDWELL, 2008a).

Im stationären und mobilen Internet werden Webbrowser und Webbrowser-PlugIns benutzt, um mithilfe von JavaScript Lageinformationen vom Client zum Server zu übergeben. Beispiele solcher Anwendungen sind das Firefox Geode-PlugIn¹³ oder die Geolocation-API¹⁴ (KARPISCHEK et al., 2009). Das Geode-PlugIn erlaubt dem Nutzer, die Genauigkeit der Standortbestimmung zu beeinflussen. Dafür kann er nur das städtische Gebiet oder etwas präziser einen Nachbarschaftsbereich anzeigen lassen, in dem er sich befindet. Zusätzlich ist eine exakte Ortung wählbar, die eine Genauigkeit von 10–20 m innerhalb einer Sekunde erreichen soll. Das Geode-PlugIn ist eine frühe Implementierung der W3C-Geolocation-Spezifikation, die zu Entwicklungs- und Testzwecken zur Verfügung gestellt wurde. Das Ziel ist den Standort des Nutzers über einen oder mehrere vom Nutzer selbst wählbare Serviceanbieter und Methoden zu ermitteln, um ihm LBS anbieten zu können (Mozilla Labs, 2005–2009).

Einen vergleichbaren Ansatz, nämlich die Nutzung verschiedener Ortsbestimmungsmethoden, verfolgt Google mit der Geolocation-API (Kap. 2.3.3), die auch in den Firefox-Browser seit Vers. 3.5 implementiert ist. Neben Informationen über nahe gelegene Funkzugangsknoten nutzt dieser Google Location Service die Internetprotokoll-Adresse (IP), mit der alle an das Internet angeschlossenen Geräte versehen sind. Darüber kann oftmals ein bestimmter Adressraum und damit wiederum eine geographische Region ermittelt werden (DIEKMANN und GEHRKE, 2003; Mozilla Corporation, 2005–2009a).

3.5.3 Netzwerkanalyse: Das Kürzeste-Wege-Problem

Netzwerkanalysen mit überwiegend linienhaften Geobjekten sind ähnlich bedeutende GIS-Anwendungen wie Verschneidungen von Flächen oder die Interpolation von punktförmigen Objekten (BILL, 1999b). Netzwerke werden konstruiert, um den Fluss z. B. von Gütern oder Daten zu simulieren. Dabei kann es sich beispielsweise um den Verkehr auf Straßen oder Schienen in einem Transportnetz, um Wasser oder Elektrizität in einem Versorgungs- oder um Öl oder Gas in einem Rohstoffleitungsnetz handeln (CURTIN, 2008). Die folgenden Ausführungen beziehen

¹³ <https://mozillalabs.com/blog/2008/10/introducing-geode> – Zugriffsdatum: 14.12.2009

¹⁴ http://code.google.com/intl/de-DE/apis/gears/api_geolocation.html – Zugriffsdatum: 14.12.2009

sich auf die Transportnetze. Nach LUPIEN et al. (1987) werden gemeinhin zwei grundlegende Flussanalysen auf diese Netzwerk-Datensätze angewendet, auf deren Basis viele verschiedenartige Fragestellungen zu beantworten sind:

Bester Weg (pathfinding procedure) Gegeben sind ein Start- und ein Zielort, gesucht wird die beste Verbindung.

Bester Standort (allocation procedure) Gesucht wird ein Standort mit minimalen Wegekosten für die potentiellen Interessenten im Einzugsgebiet, z. B. für den Bau eines neuen Krankenhauses, Kaufhauses oder einer Schule.

Andere Autoren, vgl. BILL (1999b), BERNHARSDEN (2002), GRITZMANN und BRANDENBERG (2005) und CURTIN (2008a), ergänzen noch eine dritte Analyse, das

Reisenden-Problem (travelling salesman problem) Gesucht wird die günstigste Route für eine Rundreise durch verschiedene Städte, bei der der Reisende keine Stadt zweimal besuchen, jedoch am Ende wieder in der Ausgangsstadt ankommen soll.

Die Fragestellung nach dem besten Weg, bekannt als Routenplanung oder Routing, führt zu Vorschlägen, wie der optimale Weg zwischen zwei oder mehr Ortspunkten – basierend auf verschiedenen, denkbaren Anforderungen wie z. B. die Minimierung der Wegstrecke oder der Reisezeit, allgemein als **Kosten** bezeichnet – gefunden werden kann (CURTIN, 2008a; SAEED et al., 2010).

Modellierung eines Netzwerks

Als **Netzwerk** sind alle Systeme zu bezeichnen, auf denen „bewegliche Güter transportiert“ (BERNHARSDEN, 2002, S. 109) werden. Dazu zählen neben Ver- und Entsorgungsleitungsnetzen und Datennetzen in der Informatik auch das Wegenetz, das in einem GIS als Netzwerkmodell dargestellt und im Folgenden näher betrachtet werden soll. Die Grundbestandteile eines Netzwerks sind die beiden topologischen Primitiven Knoten und Kanten: Ein **Knoten** (node, vertex) ist ein Punkt, der in der Graphentheorie als Anfangs- oder Endpunkt einer Kante oder als Kreuzungspunkt (junction) mehrerer Kanten wahrgenommen wird. Eine **Kante** (edge, arc) ist die linienhafte Verbindung zweier Knoten. An Knoten zusammengesetzte Kanten bilden einen **Graphen** (Abb. 3.13), der damit die mathematische Grundlage zur Beschreibung eines Netzwerks darstellt (CURTIN, 2008). Die von Kanten eingeschlossene Fläche wird in der Graphentheorie als **Masche** bezeichnet.

Fungiert in einem Netzwerk ein Knoten als Anfangs- und der andere als Endpunkt, handelt es sich bei der linienhaften Verbindung dieser Knoten um einen **gerichteten Graphen (Bogen)**, der auch als Digraph (di von directed, gerichtet) bezeichnet wird. Damit kann z. B. eine Einbahnstraße modelliert werden. Ein **zusammenhängender Graph** ermöglicht, dass von jedem beliebigen Knoten aus mindestens ein Weg zu jedem anderen Knoten führt. Befinden sich alle Kanten und Knoten eines Graphen auf einer Ebene, handelt es sich um einen **planaren Graphen**. So muss ein Graph, der etwa Grundstücksgrenzen darstellt, sowohl der Forderung nach Planarität genügen als auch zusammenhängend sein. Dagegen ist die Planarität für ein Leitungsnetz unbedeutend, zusammenhängend muss es jedoch sein (BARTELME, 2005). Als **Baum** wird ein Graph bezeichnet, der zwei beliebige Punkte immer durch genau einen Pfad verbindet.

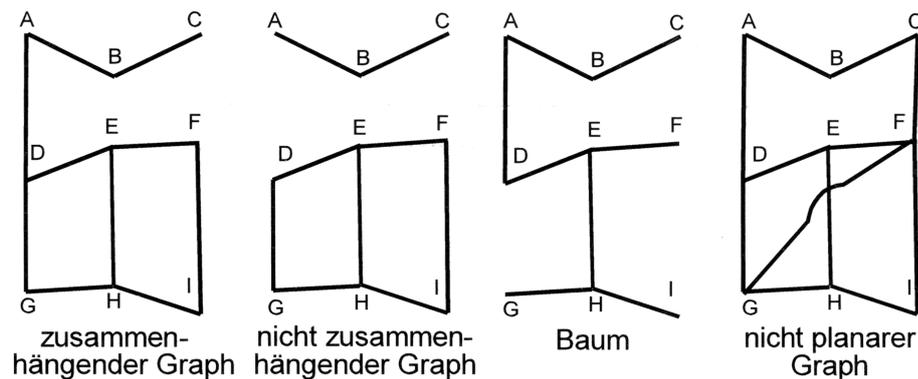


Abb. 3.13: Graphen-Typen (verändert nach DE LANGE, 2005)

Als Elemente eines Graphen dienen die Knoten und Kanten als Träger fachspezifischer Daten, sogenannter **Gewichte**. In der Regel gibt eine Längeneinheit, nämlich die Wegstrecke zwischen den beiden benachbarten Knoten, das Kanten- oder Bogengewicht an. Multipliziert mit einer angenommenen oder durch Geschwindigkeitsbegrenzungen vorgeschriebenen Geschwindigkeit kann das Kantengewicht auch die Zeit angeben, in der die Kante passiert wird. Daneben sind Fahrverbote oder Absperrungen (barriers; Einbahnstraßen, Straßensperren), Beschränkungen (restrictions; Höhen- oder Gewichtsbegrenzungen) und Widerstände (impedance; Geschwindigkeitsbegrenzungen, Baustellen, Ampeln, Verkehrsstockungen und Staus, scharfe Kurven etc.) Kanten- und Knotenattribute und damit als Parameter bei der Berechnung des kürzesten Weges zu berücksichtigen (BERNHARDSEN, 2002). Der Verkehrsfluss wird also zwar von physikalischen Gesetzen beeinflusst, jedoch oftmals durch rechtliche Beschränkungen dominiert (LUPIEN et al., 1987). Welche Widerstandswerte in eine Modellierung mit eingehen, bestimmt die Fragestellung (BILL, 1999b; ELIAS, 2007). Auch die Zielgruppe der Berechnung ist entscheidend: Fußgängerzonen dürfen nur in Ausnahmefällen, z. B. vom Lieferverkehr, bei einer Routenberechnung für Fahrzeuge verwendet werden; Autobahnen sind für Fußgänger tabu usw.

Die räumlichen Beziehungen von Knoten und Kanten im Raum werden in der **Topologie** gespeichert. Die Topologie gibt Auskunft über die Nachbarschaften (adjacency) und Verbundenheit (connectivity) von Geobjekten: Zwei Knoten sind als benachbart zu bezeichnen, wenn sie durch eine Kante verbunden werden; zwei Kanten sind benachbart, wenn sie über einen gemeinsamen Knoten verfügen (DE LANGE, 2005). Bei der Datenerfassung werden topologische Eigenschaften oftmals noch nicht berücksichtigt, so dass Punkte und Linien getrennt von ihren Nachbarn gespeichert werden. Die topologische Struktur ist dann im Nachhinein zu bilden. Nach BARTELME (2005) sind dann typischerweise verschiedene Fehler im Netzwerk zu erkennen, die durch eine überwachte Anwendung von Algorithmen behoben werden können und müssen:

Undershoot-Effekt Eine zu kurz geratene Linie muss verlängert werden, bis sie auf die Linie trifft, mit der sie durch einen Knoten verbunden ist.

Overshoot-Effekt Eine Linie ist zu lang, kreuzt eine andere und endet dann im Nichts: Sie muss verkürzt werden.

Punktmittelung Punkte, die scheinbar unterschiedliche Koordinaten aufweisen, sind eigentlich identisch und müssen vereint werden.

Verschneidung Sich kreuzende Linien werden durch einen Knoten topologisch verbunden.

Die Algorithmen sind überwacht anzuwenden, weil das reale Wegenetz Situationen beinhaltet, bei denen scheinbare Fehler die Realität abbilden. So können sich z. B. Kanten kreuzen, ohne dass ein Wechsel von einer Kante auf die andere möglich ist, z. B. bei einer Verkehrskreuzung auf unterschiedlichen Ebenen (Über-/Unterführung) oder auch durch Abbiegeverbote bedingt.

Die gemeinsame Modellierung unterschiedlicher Netze führt zu einem **multimodalen Netzwerk**. Damit ist es möglich, Übergänge zwischen verschiedenen Topologien auszunutzen, um etwa Straßen, Fußwege, das Radwege-, Schienen- und Schifffahrtsnetz zusammen in einem komplexen Verkehrswegenetz abzubilden. Dies ermöglicht die wechselnde Nutzung verschiedener Verkehrsmittel. Welche Netze herangezogen werden, um ein multimodales Netzwerk zu bilden, hängt von der jeweiligen Fragestellung ab. In dem Beispiel des kürzesten Weges zwischen einem Anfangs- (origin) und einem Endpunkt (destination) wäre es nicht zielführend, beispielsweise Freileitungen, die auch Netzwerke bilden und das Verkehrswegenetz kreuzen, mit „diesem zu verschneiden oder topologisch in Einklang“ (BARTELME, 2005, S. 77) zu bringen.

Kürzeste-Wege-Algorithmen

Um den kürzesten Weg in einem Netzwerk zu bestimmen, sind verschiedene Algorithmen verfügbar. Neben z. B. dem A*-, dem Bellman-Ford- und dem Floyd-Warshall-Algorithmus ist der 1959 von Edsger W. Dijkstra entwickelte Algorithmus der wohl bekannteste und am meisten zitierte, vgl. ESRI (2009f) und CURTIN (2007). Im Folgenden werden die genannten Algorithmen vergleichend betrachtet.

DIJKSTRA (1959) setzt zusammenhängende und mit positiven Werten gewichtete Graphen voraus (vgl. Kap. 3.5.3). Die Grundüberlegung bezieht sich auf einen gerichteten Graphen, jedoch können für jede Kante eines ungerichteten Graphen auch zwei Bögen entgegengesetzter Richtung gespeichert und dadurch ein gerichteter Graph simuliert werden (JONES, 2010). Der Algorithmus ermittelt beginnend bei einem Anfangsknoten die Distanzen zu allen Nachbarknoten (DEVLIN et al., 2008). Diese werden zunächst als ‚besucht‘ markiert (labeled), damit jeder Knoten nur einmal betrachtet wird, und mit der Distanz zum Anfangsknoten belegt. Der Knoten mit der geringsten Distanz wird in einer Merkliste (array) der Vorgängerknoten gespeichert und aktualisiert den jeweils letzten Knoten geringster Distanz. So werden schrittweise sämtliche möglichen Routen vom Anfangs- zum Zielknoten ermittelt bis die optimale Route gefunden und das Ziel erreicht ist (CURTIN, 2008a; GRITZMANN und BRANDENBERG, 2005).

BELLMAN (1958) und FORD (1956) sind die Namensgeber für den Bellman-Ford-Algorithmus, der auch unter dem Namen Bellman-Ford-Moore bekannt ist, weil MOORE (1959) ebenfalls daran mitgewirkt hat. Sie beziehen ihre Überlegungen zur Lösung des Kürzesten-Wege-Problems auf n Städte, von denen jeweils zwei durch eine Straße miteinander verbunden sind. Die Zeiten, die zum Passieren der Straßen benötigt werden, sind bekannt. Sie sind jedoch nicht proportional zur Entfernung, weil es sich um unterschiedliche Straßenkategorien und unterschiedliches Verkehrsaufkommen handeln kann.

Übersetzt in die mathematische Graphentheorie wird ein ungerichteter Graph mit n Knoten betrachtet, dessen m Kanten mit Transferzeiten als Kantengewichte belegt sind. Betrachtet wird nach dem FIFO-Verfahren immer der dem Start, bzw. dem zuletzt betrachteten Knoten nächste. FIFO steht für First-in-first-out und bedeutet, dass die Reihenfolge der Knoteneingabe befolgt wird; d. h. der zur Liste zuerst hinzugefügte Knoten wird auch als erstes betrachtet. Beginnend bei einem Anfangsknoten werden alle benachbarten Knoten nacheinander in einer Reihe betrachtet und mit den Transferzeiten seit dem letzten Knoten belegt. Jeder Knoten, der so bezeichnet wurde, wird an das Ende der Reihe verschoben. Weil jeder Knoten so – das ist ein Unterschied zum Dijkstra-Algorithmus – mehrmals betrachtet werden kann, entstehen bei diesem Algorithmus unter Umständen sehr viel längere Rechenzeiten (CHERKASSKY et al., 1996). Die Gewichte dürfen negative Werte enthalten; dies ist ein weiterer bedeutender Unterschied zu dem zuvor beschriebenen Algorithmus von Dijkstra. Allerdings dürfen auch in der Theorie des Bellman-Ford-Algorithmus keine Kreise mit negativen Werten enthalten sein. Kreise sind Wege, die über mehrere Knoten hinweg verlaufen und dann wieder bei einem bereits besuchten Knoten ankommen. Würden negative Kreise mittels Schleifen mehrmals hintereinander durchlaufen werden, könnte der Gesamtweg immer kürzer und ggf. sogar negativ werden. Sind negative Kreise im Graph enthalten, erkennt dies der Algorithmus und bricht die Berechnung ab (GOLDBERG und RADZIK, 1993).

Die Idee des A*-Algorithmus ähnelt den Überlegungen von Dijkstra, berücksichtigt bei der Wahl des nachfolgend zu betrachtenden Knotens jedoch die Wahrscheinlichkeit, ob dieser Knoten am schnellsten zum Ziel führt. Dafür werden die Transfergewichte aller Knoten zum Anfangsknoten gespeichert und daraus die Wahrscheinlichkeit abgeleitet (DECHTER und PEARL, 1985). Der Algorithmus folgt somit einem heuristischen Ansatz. Zu Beginn des Algorithmus ist nur der Startknoten bekannt. Mit jedem besuchten Knoten wachsen die Informationen und die Wahrscheinlichkeiten können berechnet werden. Nachteilig wirkt sich aus, dass das Speichern aller besuchten Knoten einen extrem großen Speicherplatz benötigt (KIM und JEONG, 2009). Das Einbeziehen der Wahrscheinlichkeit kann die Rechenzeit positiv beeinflussen und ist daher als Vorteil anzusehen (DE SMITH et al., 2006–2009).

Ebenfalls in der Literatur oft erwähnt wird der Floyd-Warshall-Algorithmus. Er erlaubt – wie der Bellman-Ford-Algorithmus – negative Kantengewichte. Allerdings werden negative Kreise von diesem Algorithmus nicht erkannt, so dass bei der Kürzesten-Wege-Berechnung negative Wegkosten berechnet werden können. Dies widerspricht der Realität, so dass dieser Algorithmus, der außerdem viel Speicherplatz und Rechenleistung benötigt (KIM und JEONG, 2009), an dieser Stelle nicht weiter beachtet werden soll.

Die Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile zeigt, dass der von DIJKSTRA (1959) beschriebene Algorithmus zur Berechnung des Kürzesten-Wege-Problems zu bevorzugen ist. Dies begründet auch, warum sowohl viele Routinganwendungen als auch die Network Analyst-Extension von ESRIs ArcGIS-Software auf diesem Algorithmus basieren. Auch neuere Versuche wie von ORLIN et al. (2010), verbesserte Algorithmen zur Lösung des Kürzesten-Wege-Problems zu finden, greifen auf den „klassischen“ Ansatz von Dijkstra zurück (KUMARI und GEETHANJALI, 2010). Ein Algorithmus, der sowohl die Anforderungen an die Speicherauslastung als auch an die Rechenleistung demgegenüber signifikant verbessert, konnte bisher nicht entwickelt werden.

3.6 WebGIS – das webgestützte Werkzeug für raumbezogene Anwendungen

Bereits in der Grundschule werden Kinder mit der graphisch-bildhaften Visualisierung von Geodaten, dem Lesen von Karten und der Interpretation von räumlichen Zusammenhängen vertraut gemacht. Auch im Internet werden Karten und Geodaten verwendet, um raumbezogene Abfragen und Analysen zu bearbeiten. Ein WebGIS analysiert webgestützt raumbezogene Fragestellungen und generiert dynamisch Karten oder andere Graphiken, um die räumliche Situation, ebenfalls webgestützt, graphisch darzustellen. Der technische Aufbau eines WebGIS wird in Kap. 3.6.1 erläutert. Kap. 3.6.2 widmet sich einer bestimmten Form von Geodatendiensten, den Kartendiensten (map services) als ein mögliches Ausgabeformat eines WebGIS. Sowohl Karten oder kartenähnliche Produkte als auch Webseiten fungieren als Informationsträger und sollen Fakten kommunizieren. Geodatendienste verknüpfen die kartographische Visualisierung (Kap. 3.6.3) und das Webdesign (Kap. 3.6.4). Besondere Aspekte ergeben sich damit durch die Web-Kartographie, die im Vergleich zur traditionellen Kartographie sehr jung ist und als „Trend“ derselben angesehen werden kann (KRAAK, 2003a). Die graphische Gestaltung beider Produkte soll dem Nutzer einen visuellen Gesamteindruck vermitteln und eine rasche und eindeutige Erfassung des Inhalts ermöglichen (RÄBER und JENNY, 2003; BALZERT, 2004). So dürfen wahrnehmungspsychologische und ergonomische Ansätze nicht außer Acht gelassen werden: Sie werden in den Eigenschaften Benutzerfreundlichkeit und Benutzbarkeit, die oftmals synonym mit dem englischen Ausdruck usability bezeichnet werden, sowie Funktionalität und Zielorientiertheit widergespiegelt.

3.6.1 Implementierung

Die Implementierung von Karten und raumbezogenen Daten in Websites ist auf verschiedene Arten möglich. Am einfachsten ist es, statische Karten in ein HTML-Dokument einzubinden. Diese Karten zeigen Situationen und Phänomene, verfügen jedoch über keine GIS-Funktionalitäten. Werden Bildpunkte mit zusätzlichen HTML-Dokumenten, anderen statischen oder dynamischen Inhalten wie Bildern oder Datenbanken verknüpft, entstehen sensitive Karten (clickable maps), die rudimentäre Interaktionen zulassen (DICKMANN, 2001).

Den vollen Umfang webgestützter Informationssysteme für raumbezogene Abfragen erlauben allerdings nur WebGIS, die sich mindestens aus den drei Komponenten Webserver, GIS-Server und DBMS zusammensetzen (Abb. 3.14): Der Webserver übernimmt die Kommunikation mit dem Client (vgl. Kap. 2.3.1). Mit clientseitigen Anfragen können Dokumente, verschiedene Dateiformate, mobile Komponenten wie Java-Applets oder ActiveX-Steuerdateien sowie Attribute aus Datenbanken abgerufen werden, die der Webserver via HTTP liefert. Anfragen nach PHP-Dokumenten sendet der Webserver zunächst an ein interpretierendes Programm (Interpreter), das die Ausgabe in HTML übersetzt, damit der Quellcode versteckt bleibt (PESCH et al., 2007). Gängige Webbrowser sind Apache, Tomcat oder der Microsoft Internet Information Server (IIS).

Raumbezogene Anfragen leitet der Webserver an den GIS-Server weiter. Zur Bearbeitung ruft dieser Daten aus Datenbanken ab und kommuniziert ggf. mit anderer Software, um Services oder Geodaten abzurufen. Er führt basierend auf den vom Nutzer angegebenen Kriterien räumliche

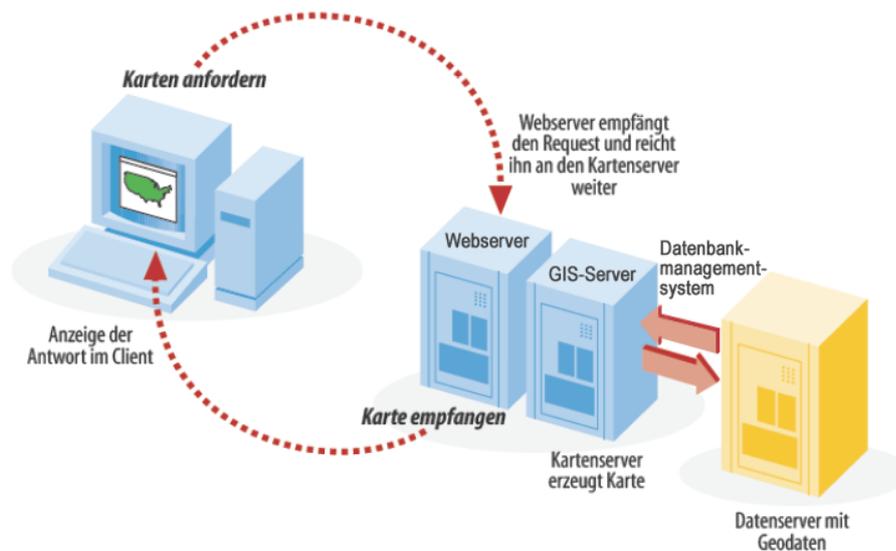


Abb. 3.14: WebGIS-Implementierung (verändert nach MITCHELL et al., 2008)

Analysen aus und erzeugt Karten. Vorgaben zur Kartengenerierung entnimmt der GIS-Server den Kartendateien (map files), in denen Datenbank-Verbindungen, Pfade zu verfügbaren Daten, Layout-Vorgaben, Projektion, Maßstab, Legende und das Ausgabeformat definiert sind. Als GIS-Server kommen z. B. der UMN-MapServer, ESRI's ArcIMS oder ArcGIS Server zum Einsatz. Die zugehörigen Kartendateien sind z. B. MAP-, AXL- oder MXD-Dateien (Kap. 3.6.2).

Das DBMS wird vom GIS-Server angesprochen, um die benötigten Daten aus der DB zu extrahieren. Damit wird auf Grundlage der Kartendatei eine Karte generiert und ggf. mit weiteren Informationen vom GIS- an den Webserver gesendet.

3.6.2 Kartendienste

Geodatendienste, die ein Kartendokument über das Internet ausliefern, werden als Kartendienst bezeichnet. Bevor eine Karte angezeigt werden kann, muss sie erstellt und an den Nutzer gesendet werden. Diese Vorgänge werden in Kap. 3.6.1 beschrieben. Neben den in Kap. 2.5.1 genannten OGC-Kartendiensten bieten die verschiedenen Softwarehersteller auf die eigenen Produkte abgestimmte Webdienste an. Im Folgenden sollen exemplarisch die Dienste aus der ArcGIS-Produktpalette vorgestellt werden (ESRI, o. J. b).

ArcIMS bietet drei Diensttypen, die sich insbesondere in Hinblick auf die Kartenkonfigurationsdatei und das Ausgabeformat unterscheiden. Über Schnittstellen, die von Java-Webapplikationen zur Verfügung gestellt werden, können die Kartendienste auch die WMS- bzw. WFS-Standards des OGC erfüllen. Diese Diensttypen werden im Folgenden vorgestellt.

ArcIMS Image Service Karten werden als Rasterdatei im JPG-, PNG- oder GIF-Format an den Nutzer gesendet. Aufgrund dieser Datenformate ist eine Darstellung im Webbrowser direkt möglich, ohne dass zusätzliche Software benötigt wird (BAASER, 2003). Die meisten mit ArcIMS veröffentlichten Webdienste nutzen den ArcIMS Image Service. Die Kartendarstellung wird in einem ArcXML-Dokument (AXL) definiert. Der WMS-Connector kann OGC-standardisierte WMS-Anfragen empfangen, in ArcXML umformulieren und die ArcXML-Ausgabe wiederum in OGC-Standard zurückübersetzen.

ArcIMS Feature Service Mit dem ArcIMS Feature Service werden komprimierte Vektordatenströme an den Nutzer gesendet. Für die Darstellung benötigt der Nutzer ein Browser-Plug-In oder GIS-Daten-kompatible Software. Auch die Kartendarstellung eines ArcIMS Feature Service basiert auf einer AXL-Kartenkonfigurationsdatei. Die Übersetzung von Anfragen und Ausgaben entsprechend der OGC-Standards können vom WFS-Connector übernommen werden.

ArcMap Server Image Service Der ArcMap Server Image Service stellt über das Internet Abbildungen aus ArcMap zur Verfügung. Die Visualisierung der Geodaten wird durch eine MXD-Datei vorgegeben. Wie beim ArcIMS Image Service kann auch hier der WMS-Connector eingesetzt werden, um dem OGC-WMS-Standard zu genügen.

Auch der ArcGIS Server bietet neben anderen Geodatendiensten einen Kartendienst, den **Map Service**, an. Dieser basiert auf einer in ArcMap erstellten MXD- oder MSD-Datei. Diese Dateien speichern die Zusammenstellung mehrerer Geoobjektebenen und die Parameter zur Visualisierung. Eine mit ArcGIS 9.3.1 erschienene Werkzeugleiste ermöglicht die Überprüfung, ob ein Kartendokument kompatibel ist für die Veröffentlichung als ArcGIS Server-Kartendienst und erlaubt die Speicherung des Kartendokuments in einer speziellen Kartendienstdefinition (Map Service Definition, MSD). Gegenüber der MXD-Datei benötigt die MSD-Datei weniger Speicherplatz und unterstützt die Erstellung hochperformanter und skalierbarer Kartendienste, wodurch die Zugriffs- und Visualisierungsgeschwindigkeit erhöht wird (ESRI, 2009j).

Anhand des zugrundeliegenden Kartendokuments und der in diesem Dokument vorhandenen Ebenentypen stehen verschiedene Leistungsmerkmale des zu erstellenden Kartendienstes zur Verfügung. Mit einem MSD-Dokument können z. B. nur Karten- (mapping), WMS-kompatible und KML-Dienste veröffentlicht werden. MXD-Dokumente können zusätzlich WFS- und WCS-Dienste, diverse Geoprozessierungen sowie den Datenzugriff von mobilen Endgeräten unterstützen (ESRI, o. J. c).

Der Kartendienst, der für jedes Kartendokument freigegeben ist (mapping), ermöglicht eine Limitierung der für den Nutzer verwendbaren Dienste auf die Operationen „Karte“ (map), „Abfrage“ (query) und „Daten“ (data). In diesen Operationen sind jeweils mehrere Methoden zusammengefasst, die über die Operationen gruppenweise aktiviert oder deaktiviert werden können. In der Voreinstellung der ArcGIS Server-Software sind alle drei Operationen aktiviert. Eine Anpassung durch Deaktivierung ist über die Diensteigenschaften jederzeit möglich (ESRI, o. J. a).

3.6.3 Kartographische Visualisierung

Die Hauptaufgabe der Kartographie ist die anwendungsorientierte und benutzerangepasste Darstellung der Vielzahl an Geoobjekten der realen Welt. Das graphische Präsentieren der Objektinformation wird als Visualisierung bezeichnet (HAKE et al., 2002). Das Internet, insbesondere das WWW, hat die Art der Erstellung und Nutzung von Karten in einem solchen Maße verändert, dass die Internationale Kartographische Vereinigung (International Cartographic Association: ICA) mit der Gründung der Kommission für Karte und Internet (Commission on Maps and the Internet¹⁵) darauf reagierte (PETERSON, 2003). Durch das Internet bedingte Veränderungen in der Kartographie lassen sich laut der Kommission und nach GARTNER (2003) insbesondere erkennen durch

- die augenblickliche Lieferung und unmittelbare Nutzung der Karten direkt nach Anforderung,
- die permanent aktualisierten Daten und Anzeige, z. B. dynamische Applikationen im Bereich Wetter oder Verkehr,
- die durch die Hyperlink-Struktur bedingte und ermöglichte Verfügbarkeit verknüpfter Daten ,
- die Möglichkeiten der Interaktivität sowie
- die einfachere Verteilung verschiedener kartographischer Darstellungen, z. B. Animationen.

Die Entwicklung multimedialer Technologien erweitert die kartographische Zeichensprache und damit auch die kartographische Produktpalette: Neben zweidimensionalen Abbildungen gewinnen „dynamische, interaktive, Web-basierte, multidimensionale und multimediale Präsentationen geo-räumlicher Strukturen und Prozesse an Bedeutung“ (MENG, 2001). Die Wandlung digitaler Datensätze in Bilder hat das Ziel, das Verständnis der Datensätze zu erleichtern und wird als Computervisualisierung bezeichnet. Dabei sind die Darstellungsformen dem elektronischen Medium anzupassen, denn Bildschirmdarstellungen wie digitale thematische Karten, statistische Diagramme, 3D-Darstellungen oder Animationen erfordern andere Methoden und Eigenschaften als z. B. Druck-Erzeugnisse (JUNG, 1998). Aufgabe der digitalen Kartographie ist somit aufbereitete Geodaten sinnvoll auszuwählen, um sie in einwandfrei lesbarer, dem Maßstab und den technischen Anforderungen des Ausgabemediums angepasster, graphischer Form auf Papier oder elektronischen Medien auszugeben (LECHTHALER und STADLER, 2006). Die Kartographie fungiert also auch im GIS-Kontext als „Methodenlieferantin zur optimalen Präsentation raumbezogener Objekte, Eigenschaften und Phänomene“ (HURNI und SCHNEIDER, 2000). Ein GIS ermöglicht unterschiedliche Darstellung und Symbolisierung für verschiedene Maßstabsebenen; detaillierte Inhalte und Beschriftung etc. können in großen sowie in kleinen Maßstabsbereichen ein- und ausgeblendet werden (KRAAK und ORMELING, 2003).

¹⁵ <http://maps.unomaha.edu/ICA> – Zugriffsdatum: 08.2009

Für die Akzeptanz einer digitalen Karte, auch Bildschirmkarte genannt, ist nach LECHTHALER und STADLER (2006) entscheidend, dass

- die durch die Kartengraphik übertragenen Karteninformationen eine Bilddichte ergeben, welche gut wahrnehmbar bzw. lesbar ist,
- die Darstellungen mit möglichst feiner graphischer Auflösung aufgebaut sind, die dem Ausgabemedium angepasst ist,
- die Signaturen gut differenzierbar sind,
- eine harmonische Farbgebung verwendet wird und
- die Darstellungen ein gutes, überzeugendes Layout aufweisen.

GARTNER (2003) unterscheidet in der Web-Kartographie zwei Visualisierungsmethoden: Auf Rasterdaten basierende Karten können über anklickbare Bereiche verfügen und somit partielle Interaktivität ermöglichen. Volle Interaktivität kann nur bei Vektorgraphikformaten und durch die Einbindung kartographischer Informationssysteme erreicht werden. Gegenüber einer gedruckten oder auch statischen Web-Karte führt die Nutzung eines GIS zu einem bedeutenden Informationsgewinn, denn die digitale Karte dient nicht nur der Visualisierung, sondern wird zur graphischen Benutzeroberfläche und Benutzerschnittstelle, über die dem Nutzer Zugriff auf die primären Daten gewährt wird (LECHTHALER und STADLER, 2006).

Spezielle Anforderungen an die Kartographie und Visualisierung stellen mobile Endgeräte: Zu beachten ist, dass der Bildschirm als Informationsträger sehr klein ist und das mobile Internet als Transportmedium (noch) keine allzu großen Datenmengen zulässt. Nur mit einer „Simplifizierung“ der Darstellung“ (GARTNER, 2003) können Karten unter Einhaltung der von KRAAK und BROWN (2000) genannten neuen Faktoren der Kartographie, Erreichbarkeit (availability) und Zugänglichkeit (accessibility) für kleine bzw. heterogene Ausgabemedien sinnvoll gestaltet werden. Durch die Verknüpfung der in der Karte dargestellten Geoobjekte mit weiteren Informationen und den Einsatz von Interaktivität können die aufgrund des begrenzten Formats und der begrenzten Auflösung nichtdargestellten Informationen dem Nutzer dennoch zugänglich gemacht werden. Unabhängig von den genannten Distributions- und Nutzungseigenschaften telekartographischer Applikationen sowie als Ergebnis des rapiden technologischen Fortschritts und der zunehmenden Personalisierung von Geodiensten sollte das Kartenbild den Anforderungen des mobilen Nutzers angepasst werden: Die allozentrische Ansicht, bei der eine Karte überall den gleichen Maßstab aufweist, weicht einer egozentrischen Darstellung, bei der der Standpunkt des Nutzers den Mittelpunkt bildet. Nutzernahe Bereiche werden zentriert und mit hoher Informationsdichte dargestellt, während die Umgebung konzentrisch abgebildet und mit zunehmender Entfernung vom Nutzer vereinfacht oder verdrängt wird (MENG, 2005, 2004).

3.6.4 Webdesign

Das Webdesign umfasst die inhaltliche und graphische Planung und Gestaltung einer Website. Dabei sind Softwareergonomie, Benutzerfreundlichkeit im Sinne der Nutzerführung, Funktionalität und Zielorientiertheit zu beachtende, grundlegende Eigenschaften (PFLÜGER-CARNAGHI, o. J.). Diese können durch ein funktionales und harmonisches Zusammenspiel von Orientierungs-, Navigations-, Interaktions- und Motivationselementen erreicht werden. Mit einer kon-

sequenten Wiederholung derselben Elemente an den gleichen Stellen auf allen Seiten einer Website wird gewährleistet, dass die Informationen und Inhalte vom Anwender schnell und klar wahrgenommen werden können. Der Inhalt kann durch Auszeichnung von Überschriften verschiedener Ebenen mit den HTML-tags `<h1>` bis `<h6>`, Fließtext `<p>` und Aufzählungen sinnvoll strukturiert werden. Abbildungen lockern eine Seite auf und verdeutlichen durch die Visualisierung den Inhalt.

Weil – nach einer Studie von NIELSEN (1997) – sehr viele Nutzer (79%) Webseiten nicht lesen, sondern nur „scannen“, muss die Website der Methode **KISS** – Keep It Short and Simple (Drück Dich kurz und einfach aus) – genügen. Laut der Drei-Sekunden-Regel gehört alles, „was mehr als drei Sekunden Lesezeit braucht (...) in ein Print-Medium“ (SCHMIDER, 2003, S. 19). Soll es dennoch im Internet abrufbar sein, sollte es als PDF-Dokument zum Herunterladen und Ausdrucken zur Verfügung gestellt werden. Eine Webseite ist nach NIELSEN (1997) zu strukturieren durch:

- hervorgehobene Schlüsselbegriffe,
- aussagekräftige Überschriften,
- Aufzählungen,
- Formulierung nur eines Gedanken pro Absatz und
- kopfständigen Pyramidenstil, d. h. Ergebnisse und Schlussfolgerungen stehen zu Beginn der Seite.

Dementsprechend werden auch an die Formulierung von Webtexten andere Anforderungen gestellt als bei gedrucktem Text. Die direkte Ansprache des Nutzers und die aus der Werbung stammende AIDA-Formel sind Methoden, Informationen Web-tauglich zu kommunizieren. Nach der AIDA-Formel sollte eine Website

- Aufmerksamkeit (**A**ttention) erregen,
- Interesse (**I**nterest) wecken,
- Wünsche (**D**esire) nach neuen Produkten oder Dienstleistungen wecken und schließlich
- eine Nutzeraktion (**A**ction) in Form einer (Kauf-)Handlung erfolgen lassen.

Abstandnehmend von einer auf Framesets¹⁶ oder Tabellen basierenden Gestaltung der Website sind einzelne Bereiche einer Seite in `<div>`-Containern abzulegen und deren Position und Gestaltung über CSS zu definieren. So wird eine strikte Trennung zwischen dem mit HTML ausgezeichneten Inhalt und dem über CSS definierten Layout gewährleistet. Dies ist eine Grundvoraussetzung für **barrierefreies Webdesign** (vgl. Kap. 2.5.4), dessen Ziel es ist, dass „kein Nutzer von der Nutzung ausgeschlossen wird“ (HELLBUSCH, 2004, S. 5). In diesem Sinne sind visuelle Elemente einer Website über den HTML-tag `<alt>` mit Alternativtext zu versehen, der zur Erklärung des Dargestellten einem sehbehinderten Nutzer vorgelesen werden kann. Problematisch ist die alternative Darstellung dynamisch erzeugter Abbildungen wie z. B. dynamischer Karten. Es existiert bisher keine technische Lösung, um für solche Abbildungen als Alternative beschreibenden Text zu generieren. Es sind jedoch nicht nur Sehbehinderte, für die eine Website barrierefrei zu gestalten ist. Eine einfache und prägnante Ausdrucksweise ist für Lernbehinderte

¹⁶ (veraltete) Methode, eine Webseite in mehrere einzelne Dateien aufzusplittern und in Rahmen in einer definierten Rahmenanordnung zusammenzusetzen

von Nöten. Auch Fachwörter, Abkürzungen und fremdsprachliche Ausdrücke sollten zugunsten eines schnelleren und besseren Verständnisses vermieden werden. Motorisch eingeschränkte Personen, auch Anwender, die keine Maus haben oder bedienen können, sind darauf angewiesen, dass sich die Website auch nur mittels Tastatur und vergleichbaren Eingabegeräten steuern lässt.

Neben den verschiedenen Behinderungen können auch Hard- und Software für erschwerten Zugang zu den Webinhalten verantwortlich sein. Durch den konsequenten Einsatz der in Kap. 2.3.3 vorgestellten Standards sollten Mindestanforderungen an die Ausstattung des Nutzers weitestgehend ausbleiben können. In der Praxis zeigen sich jedoch trotzdem immer wieder Darstellungsprobleme. Diese sind entweder auf die extrem vielfältigen Clientsysteme, die dynamischen Webinhalte oder auf eine Kombination beider Faktoren zurückzuführen. Eine besondere Herausforderung stellen aufgrund der geringen Bildschirmgröße und Rechenleistung die in einer Hand zu haltenden (handheld) Geräte der mobilen Endgeräte-Klassen „Handys“ und „Smartphones“ dar (WESKAMM, 2010).

4 CampusGIS: Aufbau, Entwicklung, Anwendungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Grundlagen für GIS und Internet und deren Verflechtung zu WebGIS erläutert sowie die zum Aufbau eines WebGIS notwendigen Daten und Methoden beschrieben. Dieses Kapitel widmet sich nun den Ergebnissen und beschreibt den Aufbau, die Entwicklung und die Anwendungen des CampusGIS der Universität zu Köln. An vielen Universitäten besteht Bedarf für ein System, das sämtliche universitäts- und studienrelevante Informationen in einen räumlichen Bezug stellen kann und so die Orientierung im Hochschulbetrieb verbessert. Dieser Bedarf besteht insbesondere, weil Universitäten große räumliche Systeme sind, in denen viele – auch neue – Mitarbeiter forschen, lehren und arbeiten. Immer wieder kommen Studienanfänger und Besucher hinzu, die sich ebenfalls in diesem System orientieren müssen. Aber auch in den Gebäuden gestaltet sich die Orientierung oftmals schwierig. Dies gilt insbesondere für die großen, unübersichtlich geplanten Gebäude in der für die 1960er und '70er Jahre typischen Architektur. In dieser Zeit kam es zu einem plötzlichen, starken Anstieg der Studierendenzahlen, worauf mit dem Bau neuer Gebäude reagiert wurde. Sowohl die Gebäude als auch die Gebäudeteile erhielten kryptische Gebäudenummern, die auch heute vielfach noch verwendet werden. Die unübersichtlichen Gebäude und diese Bezeichnungen erschweren die Orientierung zusätzlich.

Hardware, Software, Daten und die Anwendungen sind, wie in Kap. 2.2 dargelegt, die vier Hauptelemente eines GIS. Auch das CampusGIS für die Universität zu Köln setzt sich aus diesen vier Hauptelementen zusammen. In Kap. 4.1 sollen die für das CampusGIS verwendete Hard- und Software spezifiziert werden. Die Daten und der Aufbau der Geodateninfrastruktur des CampusGIS werden in Kap. 4.2 detailliert beschrieben. Kap. 4.3 zeigt dann die Implementierung der Daten in einem Desktop-GIS-Projekt. Hier werden insbesondere die Parameter zur maßstabsabhängigen Visualisierung der Daten in einer Kartendatei definiert. Der stufenweisen Entwicklung und Implementierung des Systems widmen sich die daran anschließenden Kapitel: Zunächst wurde das CampusGIS auf die Nutzung mit ArcIMS ausgerichtet (Kap. 4.4). Die schnelle Software-Entwicklung und die damit einhergehende Erweiterung des Anwendungsspektrums erforderten einen Wechsel zu der innovativeren ArcGIS Server (AGS)-Umgebung (Kap. 4.5). Wie insbesondere dieses Kapitel zeigt, wurde für den Aufbau des CampusGIS ein modularer Entwicklungsansatz gewählt, der bereits über verschiedene Anwendungen verfügt (Kap. 4.6), aber auch offen für weitere Module ist.

Die Bereitstellung eines webgestützten Informationssystems muss auch den Nutzer und dessen Bedürfnisse im Blick haben. Die anvisierte Zielgruppe zeigt sich mit verschiedenartigen Nutzungstentionen und uneinheitlichem Alter: angesprochen werden sollen insbesondere die in den Hochschulbetrieb eingebundenen Personengruppen wie Studienanfänger, Studierende und Mitarbeiter aus Forschung und Lehre, in Kap. 2.7 als Nutzergruppe 1 benannt. Mit der Einbindung der CAD-Daten dient das CampusGIS der Verwaltung, den technischen Angestellten

und Handwerkern als Informationsdienst für alle raumbezogenen, gebäudetechnischen Fragestellungen, bezeichnet als Nutzergruppe 2. Besucher sowie – insbesondere für die Anwendung CampusRundgänge – alle an der Universität Interessierten sind die dritte potentielle Nutzergruppe.

Die Inhomogenität der Zielgruppe spiegelt sich auch in den Geräten wieder, mit denen auf das CampusGIS zugegriffen wird. Deshalb und in Hinblick auf die ständige Weiterentwicklung der Endgeräte muss das System für eine plattformunabhängige, zugängliche (accessible) Nutzung ausgelegt werden. Neben dem konsequenten Einsatz moderner Webtechnologien und der weitestgehend befolgten BITV-Richtlinien und W3C-Standards für die an einem Arbeitsplatzrechner aufgerufene CampusGIS-Website wurde im Rahmen einer Diplomarbeit, beschrieben in WESKAMM (2010), eine ergänzende Oberfläche für mobile Endgeräte, das CampusGIS-Mobil, programmiert (Kap. 4.6.6).

4.1 Allgemeine Systemumgebung des CampusGIS

Die Geo- und in diesem Projekt erhobenen Daten wurden auf einem Desktop-PC Dell Precision T3400 mit einer 2,66 GHz Intel Core 2 Duo-CPU und 3,25 GB RAM unter Windows XP Professional Version 2002 SP 3 aufbereitet. Die Geoservices werden über das Internet von einem Windows 2008-Server aus zur Verfügung gestellt. Der Server verfügt über eine 64 Bit Doppelkern-Intel Xeon-CPU mit je 1,86 GHz und 4 GB RAM.

Softwareseitig kamen neben Microsoft Office Excel 2003 und 2007, Adobe Photoshop CS, Google Sketchup sowie der libxml2-Bibliothek für Python 2.5 verschiedene Module und Erweiterungen (extensions) der ESRI ArcGIS-Produktfamilie zum Einsatz:

- ArcGIS Desktop 9.2 - 9.3.1 mit
 - ArcMap
 - ArcCatalog
 - ArcScene
 - ArcGlobe
- ArcGIS-Erweiterungen
 - Network Analyst
 - Spatial Analyst
 - Spatial Statistic Tool
- ArcIMS 9.0.1 und ArcIMS Routeserver
- ArcGIS Server 9.2 - 9.3.1

ArcGIS ist das am weitesten verbreitete kommerzielle GIS (MAGUIRE et al., 2005a) und stellt sämtliche notwendigen Funktionalitäten in einer aufeinander abgestimmten Produktfamilie zur Verfügung. Diese Software ist am Geographischen Institut der Universität zu Köln über den Campuslizenzvertrag zwischen ESRI und Hochschulen des Landes Nordrhein-Westfalen lizenziert und so für den Einsatz in Lehre und Forschung dauerhaft vorhanden.

Mithilfe der MySQL Workbench 5.2.6 wurde ein Konzept für eine RDB zur Speicherung der CampusRundgänge-Medien entworfen. Die Erstellung und Konfiguration der RDB wurde mit XAMPP¹ für Windows 1.7.2 umgesetzt. Das Softwarepaket der Apache Friends² verfolgt wie alle integrierten Softwareprodukte den Open Source-Gedanken und beinhaltet u. a.

- Apache 2.2.12
- MySQL 5.1.37
- PHP 5.3.0
- phpMyAdmin 3.2.0.1

Die CampusGIS-Daten und -Anwendungen wurden daneben testweise in Open Source-Web-GIS-Lösungen wie Mapbender³ und MapGuide⁴ sowie den auf dem UMN MapServer⁵ basierenden ka-Map!⁶ und CartoWeb⁷ eingebunden. Aufgrund der jeweils unterschiedlichen Anforderungen an Daten und Programmierung sowie der verschiedenen zur Verfügung stehenden Funktionalitäten wurde mangels Vergleichbarkeit auf eine weitere parallele Entwicklung verzichtet.

4.2 Die CampusGIS-Geodateninfrastruktur

In Kap. 2.5.2 wurden die grundlegenden Komponenten einer GDI – Metadaten, Geodaten, Geodatendienste und Netze – und ihr Hauptnutzen, die Vermeidung von Mehrfacherhebungen und redundanten Datenbeständen, erläutert. In diesem Kapitel soll die CampusGIS-GDI beschrieben werden. Zunächst beschreiben die kommenden Abschnitte die Inhalte und Bedeutung der in die CampusGIS-GDI integrierten Daten. Kap. 4.2.1 widmet sich der Datenerfassung, bevor sich Kap. 4.2.2 mit der Speicherung befasst. Dabei werden neben den eigentlichen Geodaten auch die attributiven Daten beschrieben, die im CampusGIS mit den Geodaten verknüpft werden. Bei der Beschreibung der einzelnen Datensätze werden die dazugehörigen Metainformationen angegeben. Den Geodatendiensten widmen sich die Kap. 4.4.1 und 4.5.1, der Vernetzung Kap. 4.4.2 und 4.5.2.

Die Verwaltung der Universität zu Köln verfügt über verschiedene Daten, viele davon sind Geodaten, haben also einen Raumbezug. Sie liegen aber vielfach voneinander isoliert und über mehrere Dezernate verstreut vor. Eine sinnvolle Verknüpfung der Datenbestände untereinander und mit räumlichen Informationen lässt sich mit einem GIS realisieren und kann als Grundlage für verschiedene Verwaltungsaufgaben genutzt werden. Das CampusGIS als universitätsinternes Geodatenportal soll die Transparenz der verfügbaren (Geo-)Daten erhöhen und raumbezogene Anwendungen zur Verfügung stellen. Die Geodaten liegen in der GDB *CGIS* derzeit auf dem Server, der auch als WebGIS-Server fungiert. Weitere Informationen über Mitarbeiter, Einrich-

¹ <http://www.apachefriends.org/de/xampp.html> – Zugriffsdatum: 29.01.2010

² <http://www.apachefriends.org/de/index.html> – Zugriffsdatum: 29.01.2010

³ <http://www.mapbender.org> – Zugriffsdatum: 24.09.2009

⁴ <http://mapguide.osgeo.org> – Zugriffsdatum: 24.09.2009

⁵ <http://www.mapserver.org> – Zugriffsdatum: 24.09.2009

⁶ <http://ka-map.maptools.org> – Zugriffsdatum: 24.09.2009

⁷ <http://www.cartoweb.org> – Zugriffsdatum: 24.09.2009

tungen und Gebäude werden der DB *uk-online* entnommen; die Adressdaten zu den Gebäuden sind in der SQL-DB *RRZK* gespeichert, Abb. 4.1. Im Folgenden werden diese Datensätze genauer beschrieben.

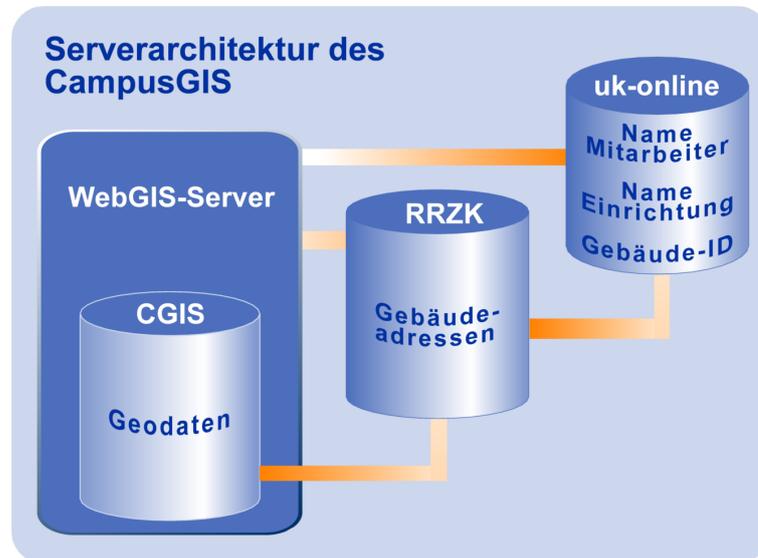


Abb. 4.1: Serverarchitektur des CampusGIS (eigene Darstellung)

ATKIS

Das ATKIS-Basis-DLM (vgl. Kap. 3.2.1), stellt die Grundlage für die Visualisierung und Modellierung des Verkehrsnetzes des Campus dar. Für diese Aufgaben werden ausgewählte Objektarten verwendet, die der Orientierung, dem Routing und der Navigation dienen. Sie werden topologisch und geometrisch unverändert in das System integriert. So wird gewährleistet, dass Aktualisierungen durch die öffentlichen Behörden schnell und fehlerfrei übernommen werden können und keine erneute Anpassung notwendig ist. In thematische Gruppen zusammengefasst und mit Fachbedeutung und Layernamen bezeichnet, sind dies im Einzelnen:

- Verkehr
 - Straßenverkehr und Rollfelder (VER01_F, VER01_L, VER01_P)
 - Schienenverkehr (VER02_F, VER02_L, VER02_P)
- Gewässer (GEW01_F, GEW01_L)
- Grün- und Freizeitflächen
 - Ackerland (VEG01_F)
 - Grünland, Gartenland, Heide, Moor (VEG02_F)
 - Wald, Gehölz (VEG03_F)
 - Siedlungsfreiflächen (Grundflächen) (SIE03_F)
 - Siedlungsfreiflächen (Überlagerungsflächen) (SIE06_F)
- Siedlungsflächen (SIE02_F)

Die objektbasierten Vektordaten wurden im Sommer 2005 für das CampusGIS lizenziert. Damit stehen Daten der Erfassungsstufe 3 zur Verfügung. Ergänzt werden diese amtlichen Daten um Fußwege und Trampelpfade (vgl. Kap. 4.2.1) um ein lückenloses Wegenetz auf dem Universitätsgelände zur Verfügung stellen zu können. Die Wege werden mit den folgenden Merkmalen in der verknüpften Attributtabelle beschrieben:

- Name
- Wegart: Baustelle, Platz, Rampe, Treppe, Weg
- Belag: Asphalt, Beton, Erde, Gitter, Gras, Holz, Kies, Pflastersteine, Stahl
- Wegbreite in cm
- Steigung in %

Treppen (TREP_CENTER) und Rampen mit mehr als 6 % Steigung (RAMP6_CENTER) sind als Punktobjekte in die GDB CGIS integriert. In Routinganwendungen können diese Informationen als Barrieren implementiert werden und damit bei der Routenberechnung eine Umgehung der Treppen bzw. Rampen erzwingen.

Luftbilder

Die in die CGIS-DB eingebundenen Luftbilder der Landesvermessung Nordrhein-Westfalen entstammen der Befliegung des Bildfluggebiets Geilenkirchen-Köln vom 07. Mai 2003. Die analogen Farbaufnahmen im Format 23 * 23 cm² mit dem Maßstab 1:13 000 dienen der Herstellung der LK5 und der Fortführung des Basis-DLM. Die Bilder wurden gescannt und liegen daher nun als digitale Rasterdaten vor. Im CampusGIS dienen sie der realitätsnahen Visualisierung des Campus und des Kölner Stadtgebiets.

Gebäudedaten

Ergänzend zu den Verkehrswegen beinhaltet die CGIS-DB Polygon-Vektoren, die die Grundrisse der Universitätsgebäude darstellen. Als wichtigstes Attribut erhält jedes Gebäude eine eindeutige Gebäudenummer (Gebäude-ID). Als Objekt-ID kommt dieser Nummer eine zentrale Rolle zu, da sich durch sie die verschiedenen Datenbanken verbinden lassen (BARTELME, 2005). Im CampusGIS wird über die Gebäude-ID die graphische Information mit der Gebäudedatenbank RRZK der Universitätsverwaltung verknüpft (Kap. 3.3.1). So können z. B. eine attributive Selektion nach bestimmten Gebäudemerkmalen durchgeführt oder Informationen wie postalische Adresse, Etagenpläne und die in den Gebäuden untergebrachten Institute und Einrichtungen zusammen mit der räumlichen Darstellung des Geoobjekts angezeigt werden (BAASER et al., 2006). Als weiteres Attribut werden die gemittelten Gebäudehöhen vorgehalten. Sie dienen als dritte Dimension zur Erstellung von Stadtmodellen im LoD 1 (HENNIG, 2008).

Zusätzlich sind die Gebäudeeingänge, Räume, Raumeingänge und diese verbindenden Flure und Gänge erfasst. Die Innenraum-Digitalisierung wurde basierend auf den CAD-Daten exemplarisch am Erdgeschoss des Gebäudes Geographie-Rundbau durchgeführt. Die einzelnen Objektklassen werden durch die im Folgenden genannten Attribute beschrieben:

- Gebäudeeingänge (Punkte)
 - Eingang: mit Stufe, ohne Stufe
 - Breite in cm
 - Info: weitere die Zugänglichkeit genauer beschreibende Informationen wie z. B. Art der Tür (Drehtür, automatisch öffnend,...), Anzahl der Treppenstufen, Steigung der Rampe
- Räume (Polygone)
 - Raumnummer (R_NR)
 - Raumname (R_Name)
 - div. Attribute aus den CAD-Daten
- Flure (Linien)
 - Gebäudenummer (GEBNR)
 - Zugänglichkeit (1: ebenerdig; 2: nicht ebenerdig)
 - Info: weitere Informationen über Zugänglichkeit oder Raumnutzung
- Raumeingänge (Punkte)
 - Raumnummer (RAUMNR)

CAD-Daten

Die CAD-Zeichnungen von zwei Universitätsgebäuden wurden georeferenziert und exemplarisch als Teil der Vektordaten in CGIS integriert. Diese hochgenauen geometrischen Daten erweitern die Gebäude-Informationen um detaillierte Etagenpläne. Eine Verknüpfung mit der Bauverwaltungsdatenbank könnte – passwortgeschützt nur für Berechtigte zugänglich – das technische Gebäudemanagement unterstützen.

uk-online und KLIPS

Das „Hochschul-Kommunikationssystem der Universität zu Köln“ (uk-online) steht den Fakultäten seit dem Wintersemester 2001/02 zur Verfügung, um Personen-, Forschungs- und Lehrinformationen im Internet zu veröffentlichen (S. 89). Für das CampusGIS sind insbesondere ausgewählte Attribute der Personendaten von Bedeutung. Der räumliche Bezug wird über die Nummer des Gebäudes hergestellt, in dem sich das Büro der gesuchten Person befindet. Diese Gebäude-ID ist als Attribut den Mitarbeitern zugeordnet und dient der Abfrage nach der Adresse in der Gebäudedatenbank. Aus uk-online werden im CampusGIS die folgenden personenbezogenen Daten verwendet:

- Titel, Vorname und Nachname
- E-Mail-Adresse
- Link zur persönlichen Website innerhalb uk-online
- Institut
- Telefonnummer
- Gebäude-ID

Als universitätsweite Lehrinfrastruktur wird seit dem Wintersemester 2006 sukzessive der „Kölner Lehr-, Informations- und Prüfungsservice“ (KLIPS) eingeführt. Die Verknüpfung der im KLIPS vorgehaltenen Informationen mit den räumlichen Daten aus CGIS kann über Programmier-Schnittstellen realisiert werden (UZK, 2008c), ist derzeit jedoch aufgrund ungeklärter datenschutzrechtlicher Fragen noch nicht umgesetzt.

Einzelhandel und Dienstleistungen

Nicht direkt für den Hochschulbetrieb relevant, jedoch von großem Nutzen insbesondere für ortsfremde Studierende, Mitarbeiter und Gäste der Universität sind Informationen über Einzelhandel und Dienstleistungen in räumlicher Nähe zum Campus. Zu unterscheiden sind:

- Name
- Straße und Hausnummer
- Öffnungszeiten
- Info: Zugänglichkeit
- Branche
 - Einzelhandel, Art:
 - * Apotheke
 - * Bäckerei
 - * Bekleidung
 - * Buchhandlung
 - * Elektrofachhandel, Telekommunikation
 - * Floristik
 - * Geschenkartikel, Schreibwaren
 - * Kiosk
 - * Kosmetik, Parfumerie
 - * Lebensmittel allgemein
 - * Metzgerei
 - * Schmuck
 - * Tankstelle
 - * sonstiger Einzelhandel
 - Dienstleistung, Art:
 - * Bank
 - * Copy, Foto, Druck
 - * Friseur
 - * Internetcafe
 - * Kino
 - * Reisebüro
 - * Waschsalon
 - * sonstige Dienstleistung
 - Gastronomie, Art:
 - * Bar
 - * Kneipe

- * Cafe, Eiscafe
- * Imbiss
- * Restaurant
- * sonstige Gastronomie

4.2.1 Datenerfassung

Ergänzend zu den amtlichen Geodaten und den an der Universität vorhandenen Datenbeständen wurden insbesondere raumbezogene Daten erfasst, um die CampusGIS-GDI zu vervollständigen. Jedes Geoobjekt wurde in der DB CGIS gespeichert und mit beschreibenden Merkmalen attribuiert. Die Vorgehensweise der Geoobjekt-Erfassung und -Attributierung wird in diesem Kapitel beschrieben. Als Start- und Testgebiet wurde der Bereich um das Hauptgebäude und die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät erfasst, ehe das Erfassungsgebiet nach und nach ausgeweitet wurde, bis der gesamte Campus digitalisiert war. Die Innenraumerfassung wurde exemplarisch am Erdgeschoss des Gebäudes Geographie-Rundbau durchgeführt.

Gebäudedaten

Zu Beginn des Projekts wurden Gebäude und Baustellen auf Grundlage der Luftbilder mittels der in Kap. 3.1 beschriebenen On-Screen-Digitalisierung erfasst. Aufgrund der Ungenauigkeit – die Gebäudegrundrisse sind durch die Ansicht von (schräg) oben nicht deutlich erkennbar – mussten diese Daten jedoch verworfen und die Gebäude und Baustellen neu aufgenommen werden. Im folgenden Erfassungsschritt wurde auf gescannte Abbilder der analogen DGK5 als Informationsquelle zurückgegriffen. Nach GOODCHILD (2005, S. 5) ergibt das Digitalisieren einer Papierkarte im Maßstab 1:5 000 eine ungefähre räumliche Auflösung von 2,5 m. Diese Genauigkeit wurde als für die Gebäude ausreichend angesehen. Neuere Gebäude, die in der vorhandenen Ausgabe der DGK5 noch nicht verzeichnet sind, sowie Baustellen wurden mit Tachymeter und DGPS, wie in Kap. 3.1.2 und 3.1.3 beschrieben, eingemessen. Jedes Geoobjekt wurde mit der von der Universitätsverwaltung zugewiesenen Gebäudenummer versehen. Über diese Objekt-ID können die Attribute aus der Gebäudedatenbank abgerufen werden.

Die Gebäudehöhen wurden aus den Höhenangaben der DHM berechnet: Die Subtraktion der Geländehöhen des DGM5L von den Oberflächenhöhen des DOM5L ergibt ein normalisiertes DOM, also die Höhen aller Objekte bezogen auf die Geländeoberfläche. Mittels einer räumlichen Selektion wurden die Höhenwerte ermittelt, die die Gebäude beschreiben. Sie wurden gemittelt und das Ergebnis als Gebäudehöhe-Attribut den Gebäuden zugewiesen (HENNIG, 2008).

CAD-Daten und daraus abgeleitete Informationen

CAD-Daten sind einerseits zur Visualisierung haustechnischer Eigenschaften georeferenziert in das CampusGIS integriert. Andererseits dienen die CAD-Daten, exemplarisch die des Erdgeschosses des Gebäudes Geographie-Rundbau, der Digitalisierung von Innenraum-Informationen: Aus den CAD-Vektoren wurden die Umrisse der Räume selektiert und als Polygon-Objektklasse (RAEUME_090212) exportiert. Mithilfe des Mittelpunkt-Editorwerkzeugs (Midpoint Tool) wurde die Mittellinie zwischen gegenüberliegenden Räumen digitalisiert und als Flur

in einer Linien-Objektklasse abgespeichert. Von diesen Hauptlinien zweigen jeweils Verbindungslinien zu den Raum- und Gebäudeeingängen ab. So entstand eine exemplarische Erweiterung der CampusGIS-GDI um Innenräume und diese verbindende Wege. Aus dem Schnittpunkt der Flure mit dem Umriss der Raum-Polygone wurden mithilfe des ET Geowizard-Werkzeugs Point Intersection die Raumeingänge abgeleitet und als Punkt-Objektklasse gespeichert.

Verkehrswege

DGPS und Tachymeter wurden zusätzlich verwendet, um Fußwege und Trampelpfade aufzunehmen, die nicht im ATKIS verzeichnet sind, aber viele Gebäude der Universität direkt miteinander verbinden (BAASER et al., 2006). Neue Objekte innerhalb dieser Linien-Objektklassen wurden immer dann gebildet, wenn sich der Wert eines der auf S. 115 aufgelisteten Attribute zur Beschreibung der Wege ändert. Bei der Erfassung der Wege wurden auch die Eingänge der Universitätsgebäude mittels GPS erfasst und hinsichtlich der Zugänglichkeit attribuiert.

Aus diesen Wegedaten wurden mittels attributiver Selektion über den Ausdruck 'WEGART'='RAMPE' and 'STEIGUNG'>'6' alle Treppen und Rampen ausgewählt und zu eigenen Objektklassen exportiert. Mithilfe des Werkzeugs „Feature to Point“ aus dem Datenverwaltungswerkzeugkasten (Data Management Tools) wurden die Mittelpunkte dieser Liniensegmente abgeleitet. Für Treppen und Rampen, die im GIS nicht durch eine gerade Linie abgebildet sind, z. B. weil sie um eine Ecke verlaufen, errechnet das Werkzeug den Schwerpunkt des Objekts. Dieser liegt dann nicht auf der Linie, die den wirklichen Weg beschreibt. Durch eine visuelle Kontrolle wurden die ermittelten Schwerpunkte selektiert und im Editiermodus auf die Linie verschoben. Zusammen mit den Mittelpunkten bilden sie nun die beiden Punktobjektklassen TREP_CENTER und RAMP6_CENTER, die als Barrieren zur Routenberechnung herangezogen werden können.

Einzelhandel und Dienstleistungen

Als weitere Punktobjektklasse wurden Einzelhandels- und Dienstleistungsunternehmen auf dem Campus und in der näheren Umgebung aufgenommen und alphanumerisch beschrieben. Zur Aufnahme wurden ebenfalls GPS-Empfänger eingesetzt. Bei Unternehmen innerhalb der Universitätsgebäude wurden die Punkte am Bildschirm digitalisiert (Kap. 3.1). Aufgrund der hohen Anzahl von Gastronomiebetrieben wurden diese von den Dienstleistungsunternehmen separiert und als eigene Branche kategorisiert. Die Einteilung der Branchen erfolgte im Anschluss an die Datenaufnahme im Gelände.

Die Erfassung wurde von Studierenden im Rahmen ihrer Mitarbeit am CampusGIS-Projekt im Herbst 2006 durchgeführt. Aktualisierungen der Daten wurde im Sommer 2007 und 2008 vorgenommen. An dieser Stelle zeigt sich, dass die eingegebenen Daten statisch sind und einer regelmäßigen Pflege bedürfen: Die Öffnungszeiten werden teilweise im vierteljährlichen Rhythmus – entsprechend der wechselnden Nachfragesituation innerhalb jedes Semesters durch Vorlesungszeit und vorlesungsfreie Zeit – verändert. Auf diese Änderungen müsste ein System wie das CampusGIS, aus dem der Nutzer jederzeit gültige und aktuelle Informationen abrufen möchte, sofort reagieren.

4.2.2 Datenspeicherung

Die raumbezogenen amtlichen Vektordaten liegen im Original im Shapefile-Format vor. Sie sind auf das Referenzsystem DHDN90 bezogen und auf den 2. Streifen des geodätischen Gauß-Krüger-Koordinatensystems projiziert (DHDN90/GK2). In diesem Format und mit dieser Projektion wurden auch die speziell für das CampusGIS aufgenommenen Geoobjekte digitalisiert. Diese Daten werden in der ersten Version des CampusGIS auf Basis des ArcIMS verwendet (Kap. 4.4).

Die Erweiterung des CampusGIS um Routinganwendungen erfordert ein topologisches Datenformat, so dass die vorhandenen Geodatenätze zu Objektklassen konvertiert wurden. Zur Speicherung der Objektklassen wurde zunächst eine File-GDB und darin ein Objektdatensatz (feature dataset) erstellt. Der Objektdatensatz gruppiert räumlich und thematisch zusammenhängende Objektklassen und definiert deren Bezugssystem. Bedingt durch die INSPIRE-Richtlinien (Kap. 2.5.3), die eine grenzüberschreitende, europaweite Nutzung aller Geodaten erleichtern und fördern soll, hat das Land Nordrhein-Westfalen das Basis-DLM zum Ende des Jahres 2008 in das AAA-Datenmodell überführt. Mit der Migration ging eine Änderung des geodätischen Bezugssystems auf das europaweit einheitlich genutzte System ETRS89/UTM einher. Auf Empfehlung des Landesvermessungsamtes und um künftige Aktualisierungen problemlos implementieren zu können, wurde das Koordinatenreferenzsystem der CampusGIS-GDI und damit das Bezugssystem der CGIS-DB bei der Konvertierung von Shapefiles zu Objektklassen ebenfalls entsprechend geändert, so dass die Daten nun projiziert auf Zone 32 des UTM-Systems vorliegen.

Die für die Transformation notwendigen Informationen und Daten werden, wie in Kap. 3.2.1 beschrieben, von der AdV in der BeTA2007 zur Verfügung gestellt. Abhängig von der geographischen Lage sind dem Wechsel des Bezugssystems verschiedene Versatzwerte und damit Transformationsalgorithmen zugrunde zu legen. Seit der ArcGIS Version 9.3 sind vordefinierte Transformationsalgorithmen, basierend auf NTv2, in die Software implementiert. FLÄCKE (2007) listet die zu den jeweiligen Regionen gehörenden Algorithmen auf. Daraus ergibt sich, dass die in DHDN89/GK vorliegenden CampusGIS-Daten aufgrund ihrer geographischen Lage in den alten Bundesländern und zwischen 50° 20'–52° 20' N mithilfe des Algorithmus DHDN_To_ETRS_1989_4 nach UTM zu transformieren sind.

Die CAD-Daten wurden als Objektklassen importiert, damit sie innerhalb der GDB gespeichert und verwaltet werden können. Dafür wurde nach der Georeferenzierung der CAD-Datensätze zunächst für jede Etage ein neuer, leerer Objektdatensatz mit der Projektion ETRS89/UTM definiert. Die CAD-Daten wurden dann als Objektklassen importiert. Die Erläuterungen (Annotations), die in den CAD-Datensätzen ebenfalls eine eigene Ebene darstellen, konnten nicht auf diese Weise importiert werden, weil sie so zu Punkt-Objektklassen umgewandelt worden wären. Stattdessen wurden sie mithilfe des Umformungswerkzeugs aus der ArcToolbox konvertiert (Conversion Tools/To Geodatabase/Import CAD Annotation).

Neben diesen in einer File-GDB gespeicherten Vektordaten und den extern angesprochenen Datenbanken wurde eine ergänzende RDB aufgesetzt, die alphanumerische Informationen und verschiedene Medien über Standorte der CampusRundgänge vorhält. Als DBS wird MySQL eingesetzt; die Verwaltung und Bearbeitung der Daten wird über die Schnittstelle „phpMyAdmin“

realisiert. Die RDB wurde in Hinblick auf ihre Nutzung, Inhalte für eine CampusRundgänge-Website bereitzustellen, entworfen. Sie besteht aus vier Tabellen (Abb. 4.2).

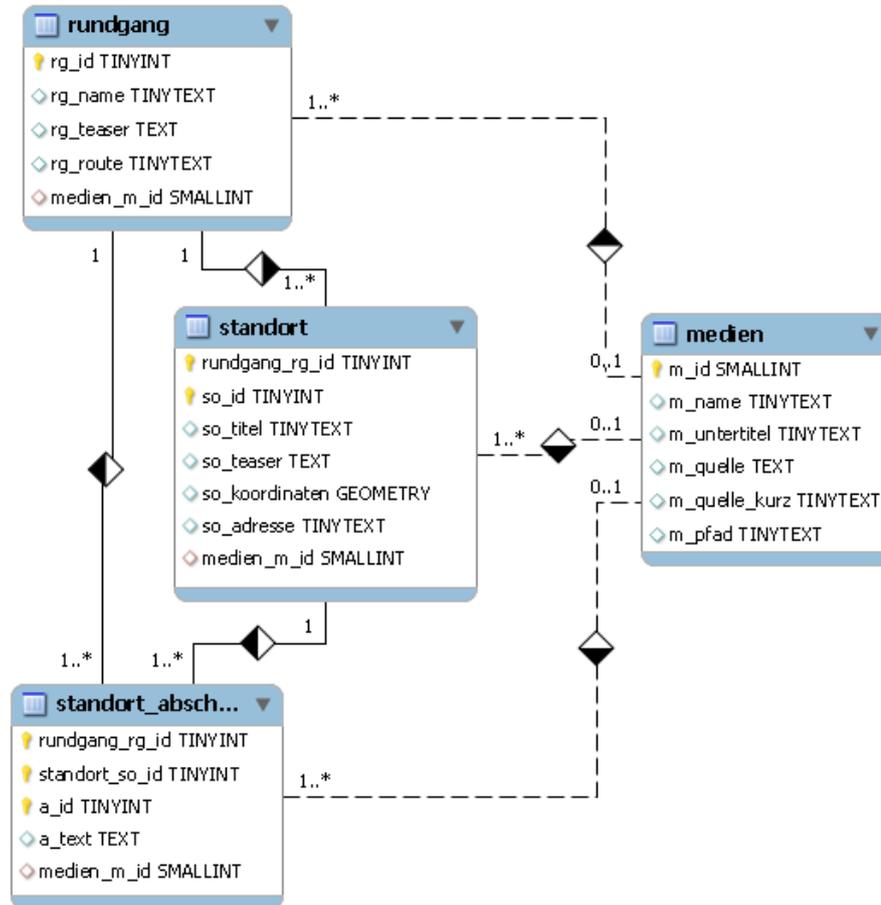


Abb. 4.2: ER-Modell CampusRundgänge (eigene Darstellung)

Neben den Schlüsselattributen (gelbe Schlüssel), über die die Tabellen miteinander in Beziehung stehen, werden notwendige (blaue Rauten) und optionale (rote Rauten) Attribute gespeichert. Die Tabellen und Attribute sind im Einzelnen:

Rundgänge Die einzelnen Rundgänge sind mit dem Primärschlüssel Rundgang-ID (*rg_id*) eindeutig bezeichnet und können, wie in Kap. 3.4.2 beschrieben, über dieses Attribut in der Tabelle *rundgang* angesprochen werden. Zusätzlich enthält diese Tabelle das Thema des Rundgangs (*rg_name*), eine Kurzzusammenfassung (*rg_teaser*) und die Route (*rg_route*). Als optionalen Fremdschlüssel beinhaltet die Rundgänge-Tabelle das Attribut *medien_m_id*, über das zum Rundgang gehörende Abbildungen angesprochen werden können.

Standorte Die verschiedenen Standorte sind in der Tabelle `standort` beschrieben und mit dem Primärschlüssel `so_id` eindeutig bezeichnet. Über die Rundgang-ID als Fremdschlüssel (`rundgang_rg_id`) werden Thema und Zusammenfassung aus der Rundgänge-Tabelle abgerufen. Die Standorte sind durch einen Titel (`so_titel`), eine Kurzzusammenfassung (`so_teaser`), die Koordinaten (`so_koordinaten`) und die Adresse (`so_adresse`) beschrieben. Über die Verknüpfung mit dem Schlüssel der Medientabelle (`medien_m_id`) ist eine den jeweiligen Standort visualisierende Abbildung abrufbar.

Standort-Textabschnitte Die ausführlichen Texte zur Standortbeschreibung sind in der Tabelle `standort_abschnitt` abgespeichert, deren Inhalte über die Kombination der Fremdschlüssel `rundgang_rg_id` und `standort_so_id` mit dem Primärschlüssel `a_id` eindeutig angesprochen werden können. Weil auf der Website für die Inhalte mehrere Textfelder vorbereitet sind, sind die Texte in Abschnitte gegliedert. Jeder Textabschnitt (`a_text`) ist wiederum über die `rundgang_rg_id` einem Rundgang und über `standort_so_id` einem Standort zugeordnet. Über die Abschnitts-ID (`a_id`) werden die Textabschnitte pro Standort durchnummeriert und auf der Website in dieser Reihenfolge dargestellt. Zu jedem Textabschnitt kann auch eine Abbildung aus der Medientabelle aufgerufen werden, die über die `medien_m_id` angesprochen wird. Die Abbildungen werden auf der Website abwechselnd links und rechts neben dem zugehörigen Abschnittstext angezeigt.

Medien Alle Medien für die CampusRundgänge sind in dieser Tabelle katalogisiert und über den Primärschlüssel `m_id` ansprechbar. Neben dem Pfad mit Dateinamen (`m_pfad`) sind in dieser Tabelle die Abbildungsbeschriftung (`m_untertitel`), ein Verweis auf die Quelle (`m_quelle_kurz`) und eine ausführliche Quellenangabe (`m_quelle`) abgespeichert.

Die Beziehungen der Tabellen untereinander werden durch Linien dargestellt. Durchgezogene Linien symbolisieren eine zwingende Zuordnung, gestrichelte Linien zeigen eine mögliche Beziehung zwischen den sie verbindenden Tabellen. Zusätzlich wird die Kardinalität der Beziehungen dargestellt: Die Rundgänge stehen mit den Standorten und Standort-Textabschnitten in einer notwendigen 1:n-Beziehung. Das bedeutet, dass z. B. jedem Standort und jedem Standort-Textabschnitt ein Rundgang zugeordnet sein muss. Auch Standorte und Standort-Textabschnitte sind über eine 1:n-Beziehung verknüpft, denn jeder Standort wird durch mindestens einen Standort-Textabschnitt beschrieben. Diese drei Tabellen stehen über fakultative Verknüpfungen (rote Rauten, gestrichelte Linien) mit der Medien-Tabelle in Beziehung, d. h. es muss nicht, kann aber Zuordnungen zwischen Medien und Rundgängen, Standorten und Standort-Textabschnitten geben.

4.3 Das GIS im CampusGIS

Der Kern des CampusGIS ist ein GIS, das die campusrelevanten Informationen in ihrem Bezug zum Raum verarbeitet und darstellt. Das GIS ist das Werkzeug, mit dem diese raumbezogenen Daten erfasst, verwaltet, analysiert und schließlich präsentiert werden. Hierfür wurde die Soft-

ware ArcGIS eingesetzt. Obwohl, wie Kap. 4.4 und 4.5 zeigen, Analysen und Präsentation in den webgestützten CampusGIS-Versionen von ArcIMS bzw. ArcGIS Server übernommen werden, werden sowohl die kartographische Visualisierung als auch die Entwicklung der Geoprozesse für die Routinganwendungen zunächst mit ArcGIS vorbereitet.

ArcGIS bietet dem Nutzer die beiden graphischen Benutzeroberflächen ArcCatalog und ArcMap, die die Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung der Geodaten unterstützen. Für die das Dateimanagement betreffende Aufgaben steht das Modul ArcCatalog zur Verfügung. Ähnlich dem Windows Explorer zeigt ArcCatalog die Verzeichnisstruktur (catalog tree) aller lokalen Datenträger sowie ggf. externer Datenbanken und GIS-Dienste. In einer Inhaltsliste sind die Geometrien und Geodatenformate durch verschiedene Symbole visuell unterschiedlich dargestellt. ArcCatalog ermöglicht eine Vorschau der Daten, sowohl der Graphik und Attributtabelle als auch ggf. eine 3D- und Globusansicht. Zudem lassen sich in dieser Anwendung Metadaten anzeigen.

Das Modul ArcMap dient insbesondere der Visualisierung der Geodaten. Neben der Inhaltsliste (table of contents, TOC), in der Ebenen einzeln (layer) oder gruppiert (group layer) angeordnet werden können, kann zwischen einer Karten- und einer Layoutansicht umgeschaltet werden: Die Kartenansicht dient der Visualisierung der Daten und die Layoutansicht ermöglicht das Erstellen kompletter Kartendokumente mit zusätzlichen Elementen wie Beschriftung, Maßstabsleiste, Nordpfeil usw. Entsprechend der Anordnung in der TOC werden die Dateiinhalte gemeinsam visualisiert. Eine Zusammenstellung mehrerer Geoobjektebenen mit den Parametern zur Visualisierung wird in einem ArcMap-Dokument im MXD-Format gespeichert.

Die ArcToolbox kann in die beiden zuvor beschriebenen Module ArcMap und ArcCatalog eingebunden werden. Dieses Modul stellt Werkzeuge zur Geodatenverwaltung und -bearbeitung zur Verfügung. Die Werkzeuge sind anwendungsbezogen in einzelne Werkzeugkästen aufgeteilt. Zudem ist es möglich, eigene Werkzeugkästen und Werkzeuge zu erstellen und so Algorithmen und Funktionen über die ArcToolbox in ArcMap und ArcCatalog bereitzustellen.

In diesem Kapitel sollen die dem CampusGIS zugrunde liegenden Kartendokumente beschrieben werden. Das Kartendokument koeln.mxd wurde vorwiegend in ArcMap zusammengestellt und definiert die kartographische Visualisierung (Kap. 4.3.1). Das Kartendokument netz.mxd beinhaltet als Basis für die Routinganwendung ein multimodales Netzwerk und verschiedene Geoprocessingwerkzeuge (GP-Werkzeug). Einzelne Bearbeitungsschritte, insbes. die Definition und Validierung der Netzwerktopologie sowie die Erstellung des multimodalen Netzwerks, wurden in ArcCatalog durchgeführt. Schließlich wurde mithilfe der ArcToolbox ein Geoprocessingmodell (GP-Modell) erstellt und mittels ArcMap das Kartendokument netz.mxd zur Verwendung als GP-Service vorbereitet (Kap. 4.3.2).

4.3.1 Kartographische Visualisierung

Zur Orientierung im Universitätsgelände ist es besonders wichtig, entsprechend der Nutzerbedürfnisse angepasste Maßstabebenen darzustellen. Das CampusGIS-Kartenprojekt koeln.mxd setzt sich daher aus mehreren Gruppenebenen zusammen, in denen die einzelnen Geoobjektar-

ten maßstabsabhängig visualisiert werden. Ein kleiner Maßstab erfordert eine grobe Übersicht ohne kleinräumige Details, wohingegen ein großer Maßstab eine detaillierte Kartenansicht ermöglicht und erfordert. Neben einer sorgfältigen Auswahl, welcher Maßstabsbereich welche Daten zeigt, werden die einzelnen Objektarten maßstabsabhängig mit unterschiedlicher Kartographie visualisiert. Die gesamte kartographische Visualisierung des CampusGIS orientiert sich an den von UZK (2006) vorgegebenen Farben des Corporate Design der Universität. Maßstabsabhängig variieren insbesondere die Linien- und Punktsignaturen. Sie sind gruppiert in mehrere Maßstabsbereiche zwischen >1:500 bis <1:8 000 (Abb. 4.3). In allen Maßstabsbereichen werden neben einer Auswahl von ATKIS-Objektarten die Universitätsgebäude angezeigt. Mit zunehmendem Maßstab kommen weitere Objektarten aus der CGIS-DB hinzu, wie die folgende Liste zeigt:

- <1:8 000
 - Unversitätsgebäude
 - Verkehr
 - Gewässer
 - Grün- und Freizeitflächen
 - Siedlungsflächen
- 1:3 000 - >1:8 000
 - wie vor, jedoch zusätzlich:
 - Eingänge der Universitätsgebäude
- 1:500 - >1:3 000
 - wie vor, jedoch zusätzlich:
 - Einzelhandel und Dienstleistungen
 - Räume
 - Flure
- - >1:500
 - wie vor, jedoch zusätzlich:
 - CAD-Daten

Das ArcGIS-Kartenprojekt wird als JJMMDD_koeln.mxd abgespeichert. Die hier definierten Eigenschaften liegen auch dem Kartendienst des CampusGIS Version 1 (Kap. 4.4) zugrunde. Als Basis für einen ArcIMS-Imageservice werden diese Eigenschaften in einer AXL-Datei beschrieben (Kap. 4.4.1). Die Kartendefinition JJMMDD_koeln.msd ist die Grundlage für die kartographische Darstellung des CampusGIS Version 2 auf Basis des ArcGIS Server (Kap. 4.5.1).

4.3.2 Entwicklung der Routing-Funktionalität

Basierend auf den in Kap. 3.5.3 beschriebenen Methoden der Netzwerkanalyse soll in diesem Kapitel nun die Umsetzung für die Routinganwendungen des CampusGIS erläutert werden. Die Vorgehensweise lässt sich in die folgenden drei Arbeitsschritte gliedern:

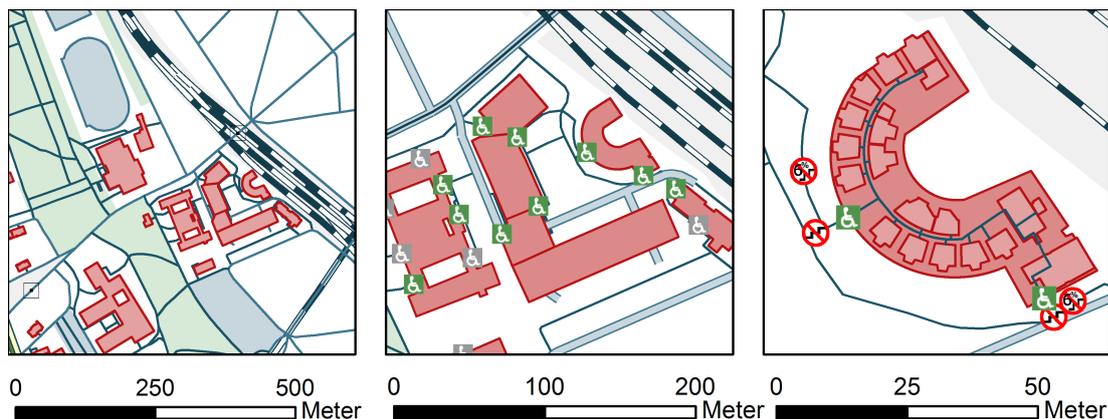


Abb. 4.3: Kartographische Visualisierung variierend in drei Maßstabsbereichen (eigene Darstellung)

- Bildung der Topologie,
- Erstellung eines multimodalen Netzwerks,
- Modellierung der Routinganwendung.

Topologie

Mit der Topologie des CampusGIS werden die räumlichen Beziehungen zwischen verschiedenen Objektklassen innerhalb des CampusGIS-Datensatzes definiert. Dabei wird eine Clustertoleranz von 0,001 m verwendet. Das bedeutet, dass alle Punkte und Linien, die weniger als 1 mm voneinander entfernt sind, als identisch angesehen und vereint werden. Außerdem werden Topologieregeln mit Anforderungen an das CampusGIS-Datenmodell vorgegeben, aufgrund derer bei der Validierung der Topologie die Geobjekte und ihre Beziehungen zueinander überprüft werden. Jede Regelverletzung erzeugt einen Topologiefehler, der entweder behoben oder als Ausnahme deklariert werden muss. Für das CampusGIS sind Regeln definiert, die die folgenden Objektklassen betreffen:

- Straßen (VER01_L)
- Fußwege (FUSSWEGE)
- Gebäude (GEB)
- Gebäudeeingänge (EING)
- Flure (FUIN)
- Räume (RAEUME)
- Raumeingänge (R_EING)

In der CampusGIS-Topologie findet das Netz des Schienenverkehrs keine Berücksichtigung. Diese Daten entstammen dem ATKIS-Datensatz, in dem das Schienennetz topologisch konsistent geführt wird. Dem gleichen Datensatz gehören auch die in der CampusGIS-Topologie validierten Straßen an. Sie mussten mit aufgenommen werden, weil die für das CampusGIS erfassten Fußwege z. T. auf ATKIS-Straßen stoßen und dort topologisch validierte Verbindungen bestehen müssen.

Die CampusGIS-GDB wurde auf Basis der folgenden Regeln überprüft:

1. Gebäudepolygone dürfen sich nicht überlappen (GEB must not overlap)
2. Eingänge liegen auf Grenzen von Gebäuden (EING must be covered by boundary of GEB)
3. Raumeingänge liegen auf Grenzen von Räumen (R_EING must be covered by boundary of RAEUME)
4. Fußwege dürfen sich nicht überlappen (FUSSWEGE must not overlap)
5. Flure dürfen sich nicht überlappen (FUIN must not overlap)
6. Fußwege dürfen sich nicht selbst überlappen (FUSSWEGE must not self-overlap)
7. Flure dürfen sich nicht selbst überlappen (FUIN must not self-overlap)
8. Fußwege müssen an einer Linie enden (FUSSWEGE must not have dangles)
9. Flure müssen an einer Linie enden (FUIN must not have dangles)
10. Fußwege dürfen sich nicht mit Straßen überlappen (FUSSWEGE must not overlap with VER01_L)
11. Flure dürfen sich nicht mit Straßen überlappen (FUIN must not overlap with VER01_L)
12. Flure dürfen sich nicht mit Fußwegen überlappen (FUIN must not overlap with FUSSWEGE)
13. Eingänge müssen auf Endpunkten von Fußwegen liegen (EING must be covered by endpoint of FUSSWEGE)
14. Raumeingänge müssen auf Endpunkten von Fluren liegen (R_EING must be covered by endpoint of FUIN)
15. Fußwege dürfen nur aus einem Segment bestehen (FUSSWEGE must be single part)
16. Flure dürfen nur aus einem Segment bestehen (FUIN must be single part)

Nach der Überprüfung der Topologie anhand dieser Regeln wurden die Daten editiert, um Topologiefehler auszuräumen. Dabei wurden keine Änderungen an den amtlichen Daten vorgenommen, sondern nur die von der CampusGIS-Projektgruppe erfassten Daten an die ATKIS-Daten angepasst. Zusätzlich wurden fälschlich als Topologiefehler gekennzeichnete Beziehungen zu Ausnahmen erklärt:

- 484 Ausnahmen der Regel 8, weil Fußwege auf andere Verkehrswege oder auf Gebäudeeingänge münden.
- 20 Ausnahmen der Regel 9, weil Flure auf Raumeingänge münden.
- fünf Ausnahmen der Regel 14, weil Flure in manchen Fällen nicht an Raumeingängen enden: Für die CampusGIS-Topologie sind die Übungsräume 1 und 2 des Gebäudes Geographie/Rundbau auch als Durchgangsräume anzusehen, so dass hier die Raumeingänge nicht auf Endpunkten der Flure, sondern auf den Fluren selbst liegen.

Die Definitionen der Ausnahmen zeigen, dass eine unüberwachte Korrektur der Topologiefehler nicht angewendet werden kann. Bei einer unüberwachten Korrektur würden neben den echten auch scheinbare Topologiefehler behoben, obwohl sie die Realität abbilden. In einem letzten Schritt wurde die Topologie nochmals validiert, um zu verifizieren, dass sie fehlerfrei ist. Basierend auf den in der Topologie vereinten Datensätzen wurde dann das multimodale Netzwerk KoelnMultiNet gebildet.

Multimodaler Netzwerkdatsatz

Der Netzwerkdatsatz KoelnMultiNet repräsentiert das multimodale Verkehrswegenetz von Köln. Die Quelldaten sind Objektklassen, die in zwei Netzwerkgruppen unterschieden werden:

Netzwerkgruppe 1 Schienennetz

Netzwerkgruppe 2 Straßennetz und Fußwege

Obwohl das CampusGIS zunächst auf Routinganwendungen für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen spezialisiert ist, wurde das Schienennetz bereits mitberücksichtigt. Eine geplante Erweiterung des Angebots mit Hinzunahme des ÖPNV ist damit schon vorbereitet.

Jede Kante, d. h. jeder Weg-, Straßen- oder Schienenabschnitt, der durch das KoelnMultiNet repräsentierten Objektklassen gehört zu genau einer der o. g. Netzwerkgruppen (connectivity groups). Knoten können zu mehreren Netzwerkgruppen gehören; sie verbinden dann die Netze zu einem multimodalen Netzwerk, indem sie den Übergang zwischen den Netzen ermöglichen. Ein Beispiel für diese Topologieobjekte sind Haltestellen, an denen der Nutzer zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln wechseln kann. Durch die Zuordnung der Objektklassen zu Netzwerkgruppen werden also unterschiedliche Netze zu komplexen Verkehrswegenetzen modelliert und Übergänge zwischen den Topologien definiert.

Auch innerhalb der einzelnen Objektklassen muss definiert werden, wie einzelne Liniensegmente zu Kanten werden. Hierfür werden Verbindungsregeln festgelegt, die angeben, ob Liniensegmente an jedem Knoten (any vertex) oder nur an den Endpunkten (end point) miteinander verbunden werden. Kreuzen sich zwei Straßen auf unterschiedlichen Ebenen, z. B. mithilfe einer Brücke, dürfen sie nicht mit der Knotenregel (any vertex policy) modelliert werden, denn es besteht keine Verbindung am Kreuzungspunkt. Nur die Endpunktregel erlaubt, dass eine Straße von der anderen über- oder unterführt wird, ohne dass ein Abbiegen am Kreuzungspunkt fälschlich modelliert würde.

In Punktobjektklassen abgebildete Geoobjekte, wie z. B. die zuvor genannten Bahnhöfe oder Haltestellen, werden ebenfalls mit Verbindungsregeln gekennzeichnet: Die von den auftretenden Linienobjekten vorgegebene Verbindungsregel kann entweder akzeptiert werden (honor), oder sie wird überschrieben (override). Letzteres gewährleistet, dass z. B. Haltestellen auch an Knoten von Schienenkanten modelliert werden können, obwohl den Schienen eine Endpunktregel zugewiesen wurde.

Basierend auf diesen Überlegungen repräsentiert KoelnMultiNet die partizipierenden Objektklassen wie in Tab. 4.1 dargestellt.

Höheninformationen wurden bei der Bildung des KoelnMultiNet nicht berücksichtigt. Sie würden eine korrekte Modellierung von Unter- und Überführungen ermöglichen, liegen aber im ATKIS-Datsatz nicht vor. Die Integration von Abbiegevorschriften ist im Netzwerkdatsatz KoelnMultiNet vorbereitet. Auch diese Informationen sind nicht Bestandteil von ATKIS und müssen ergänzt werden, wenn das CampusGIS auch Routinganwendungen für den motorisierten Individualverkehr (MIV) bereitstellen soll.

Die Berechnung der Routen wird auf Grundlage von Netzwerkattributen durchgeführt. Sie geben an, ob und unter welchen Voraussetzungen die Segmente des Netzwerks passiert werden kön-

Tab. 4.1: Verbindungsregeln und Netzwerkgruppen des KoelnMultiNet (eigene Darstellung)

Dateiname	Objekte	Verbindungsregel	Netzwerkgruppe
FUIN	Flure	Knoten	2
FUSSWEGE	Fußwege	Knoten	2
VER01_L	Straßenverkehr	Knoten	2
VER05_L	Brücken, Tunnel und Durchlässe	Endpunkt	2
VER02_L	Schienenverkehr	Endpunkt	1
EING	Gebäudeeingänge	akzeptieren	2
R_EING	Raumeingänge	akzeptieren	2
VER02_P	Schienenverkehr: Bahnhofsanlagen	überschreiben	1+2

nen. Im KoelnMultiNet wurden die Attribute Distanz, Gehzeit, Fahrzeit MIV und Gehzeit mit ÖPNV-Nutzung definiert. Die Distanz beinhaltet die Länge der Netzwerkelemente in Metern. Die übrigen Attribute geben die Dauer an, die zur Passage der Netzwerkelemente entsprechend der jeweiligen Verkehrsmittel einzuplanen sind. Dafür wird für jedes Streckensegment in jede Richtung (From-To und To-From) ein Wert ermittelt oder definiert, der das Bogengewicht für die Berechnung der Kosten vorgibt (Kap. 3.5.3).

Die Distanz kann direkt aus den Attributfeldern `Shape_Length` übernommen werden. Dieses Feld wird von ArcGIS intern und automatisch berechnet und ist bei allen partizipierenden Objektklassen vorhanden. Es dient der Berechnung der zurückgelegten Strecke und wird bei der Ausgabe der Richtungsangaben (`directions`) benötigt.

Für die Geh- bzw. Fahrzeiten werden Ausdrücke (`expressions`) definiert, mit denen auf Grundlage der Distanz die Bogengewichte berechnet werden. Dabei werden die von AHRENS (2009a,b) angegebenen durchschnittlichen Geschwindigkeiten für den Stadtverkehr von 23 km/h für den MIV und 14 km/h für den ÖPNV angenommen. Die Gehzeit wird mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3 km/h berechnet. Weil die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Fußgängers unabhängig von den benutzten Wegen gleich bleibt, können die Begriffe „kürzester“, „schnellster“ oder auch „bester“ Weg in diesem Zusammenhang synonym verwendet werden. Eine Unterscheidung ist zu machen, wenn der ÖPNV mit benutzt wird, weil die Transferzeiten für diese Strecken dann deutlich geringer sind.

Segmente, die nicht benutzt werden können, z. B. das Schienennetz für die Berechnung der MIV-Fahrzeit, erhalten als Bogengewicht den konstanten Wert -1. Diese Segmente sind dann gesperrt (`restricted`) und diese Objektklasse wird bei der Routenberechnung nicht mit berücksichtigt. Den konstanten Wert 0 – alternativ ist es auch möglich, keinen Wert anzugeben – erhalten die Punktobjektklassen. Das Passieren dieser Elemente benötigt nämlich keine zusätzliche Zeit. Sollten Transferpausen berücksichtigt werden, kann hier ein positiver Wert zugewiesen werden. Dies bietet sich an, wenn bei der Berechnung der Transferzeit Wartezeiten an Haltestellen simuliert werden sollen.

Unter diesen Voraussetzungen werden die Attribute wie folgt berechnet:

Gehzeit Die Gehzeit summiert sich aus den Transferzeiten der Objektklassensegmente von FUIN, FUSSWEGE und VER01_L, die jeweils durch

$$Gehzeit = \frac{Distanz [m] * 60}{3000} \quad (4.1)$$

berechnet werden. Die Schienen dürfen von Fußgängern nicht benutzt werden, so dass für VER02_L die Konstante -1 und für VER02_P die Konstante 0 gesetzt wird. Die Haltestellen dürfen nicht ebenfalls mit -1 bewertet werden, weil dann auch das Passieren von Haltestellen für Fußgänger verboten wäre.

Fahrzeit MIV Das Passieren von Fluren, Fußwegen und Schienen ist dem MIV nicht möglich bzw. nicht gestattet. Diese Datenquellen werden mit der Konstante -1 belegt. Die Fahrzeit berechnet sich damit aus der Summe der Transferzeiten im Straßenverkehr:

$$Fahrzeit MIV = \frac{Distanz [m] * 60}{23000} \quad (4.2)$$

Gehzeit mit Nutzung des ÖPNV Diese Berechnung beinhaltet eine kombinierte Nutzung von Wegen, die zu Fuß passiert werden und dem ÖPNV. Für Flure, Fußwege und den Straßenverkehr wird die Gehzeit mithilfe der Formel 4.1 errechnet. Die Fahrzeit unter Nutzung des ÖPNV (VER02_L) errechnet sich aus

$$Gehzeit und ÖPNV = \frac{Distanz [m] * 60}{14000} \quad (4.3)$$

Die Standardeinstellung zur Ausgabe der Längeneinheiten ist beim CampusGIS Kilometer (km). Abhängig von den zur Verfügung stehenden Attributen werden die Richtungen mit Primärattributen ausgegeben. Sind für diese Attribute keine Werte vorhanden, werden Alternativen zur Beschreibung herangezogen:

- Flure
 - Primär: Name
 - Alternative 1: Info
- Fußwege
 - Primär: Name
 - Alternative 1: Wegart
 - Alternative 2: Belag
- Straßenverkehr
 - Primär: GN (Geographischer Name)
 - Alternative 1: ZN (Zweitname)

- Schienenverkehr
 - Primär: GN (Geographischer Name)
 - Alternative 1: KN (Kurzbezeichnung)

Im Anschluss an diese Definitionen muss der Netzwerkdatsatz über den Befehl `build` erstellt werden. In den Datensatzeigenschaften wird dann die Anzahl der Netzwerkelemente angezeigt. Der CampusGIS-Netzwerkdatsatz `KoelnMultiNet` besteht aus 81 464 Kanten und 32 107 Knoten. Damit sind alle Beziehungen im Netzwerkdatsatz modelliert und die Berechnung der Wege kann auf dieser Grundlage durchgeführt werden.

Die Routing-Modelle

Das CampusGIS bietet drei Anwendungen zur Berechnung des kürzesten Weges an, die alle auf dem Netzwerkdatsatz `KoelnMultiNet` und dem Netzwerkattribut `Gehzeit` (Formel 4.1) beruhen. Zielgruppe sind Fußgänger und vergleichbare Nutzer. Sie können zwischen den folgenden Anwendungen wählen:

- Fußweg,
- Fußweg ohne Treppen,
- Fußweg ohne Treppen und Rampen mit mehr als 6 % Steigung.

Den Anwendungen liegen verschiedene Modelle zugrunde, nach denen die Routenberechnung durchgeführt wird. Die Modelle sind in der ArcToolbox `koeln.tbx` abgespeichert. Zunächst soll das Modell zur Berechnung eines Fußwegs beschrieben werden (Abb. 4.4), das auch als Basis für die beiden anderen Modelle dient. Die für die erweiterten Berechnungen notwendigen Ergänzungen werden anschließend erläutert.

Die Modelle setzen sich aus verschiedenen Werkzeugen zusammen, die nacheinander die Daten bearbeiten. In der Regel wird die Ausgabe (output) des vorigen Werkzeugs als Eingabeparameter (input) für das folgende verwendet. Die Werkzeuge sind in dem Modell mit einem gelben Rechteck dargestellt. Die blauen Ovale stellen Projektdaten dar, die in das Modell eingegeben werden. Die grünen Ovale repräsentieren die Ausgabedaten. Sie sind das Ergebnis der Bearbeitung von Projektdaten durch ein Werkzeug. Die einzelnen Prozesse werden durch schwarze Pfeile verknüpft (ESRI, 2008b).

Das zuvor beschriebene `KoelnMultiNet` ist der Netzwerkdatsatz, auf dessen Grundlage die Routenanalyse durchgeführt wird. Aus diesem Datensatz wird mithilfe des Werkzeugs `Make Route Layer` eine neue Datenebene (layer) generiert. Die Ausgabedatei `Route` wird mit den Eigenschaften des Attributs `Gehzeit` erstellt. Mit diesem Werkzeug wird vorgegeben, dass die im Folgenden eingegebenen Stops in der Reihenfolge der Eingabe bearbeitet und nicht umsortiert werden dürfen. So soll der CampusGIS-Nutzer die Reihenfolge der von ihm aufzusuchenden Orte vorgeben können. Die Ausgabe der Route soll als Pfad entlang des Netzwerks erfolgen. Zusätzlich ist die Länge des Pfads zu berechnen (`TRUE_LINES_WITH_MEASURE`).

Das Werkzeug `Add Locations`, dessen Eingangsdatei die zuvor generierte Routenebene ist, fordert vom Nutzer die Eingabe von Standorten, entlang derer die Route zu generieren ist. Hier müssen mindestens ein Start- und ein Zielpunkt eingegeben werden, zusätzlich sind Etappenorte

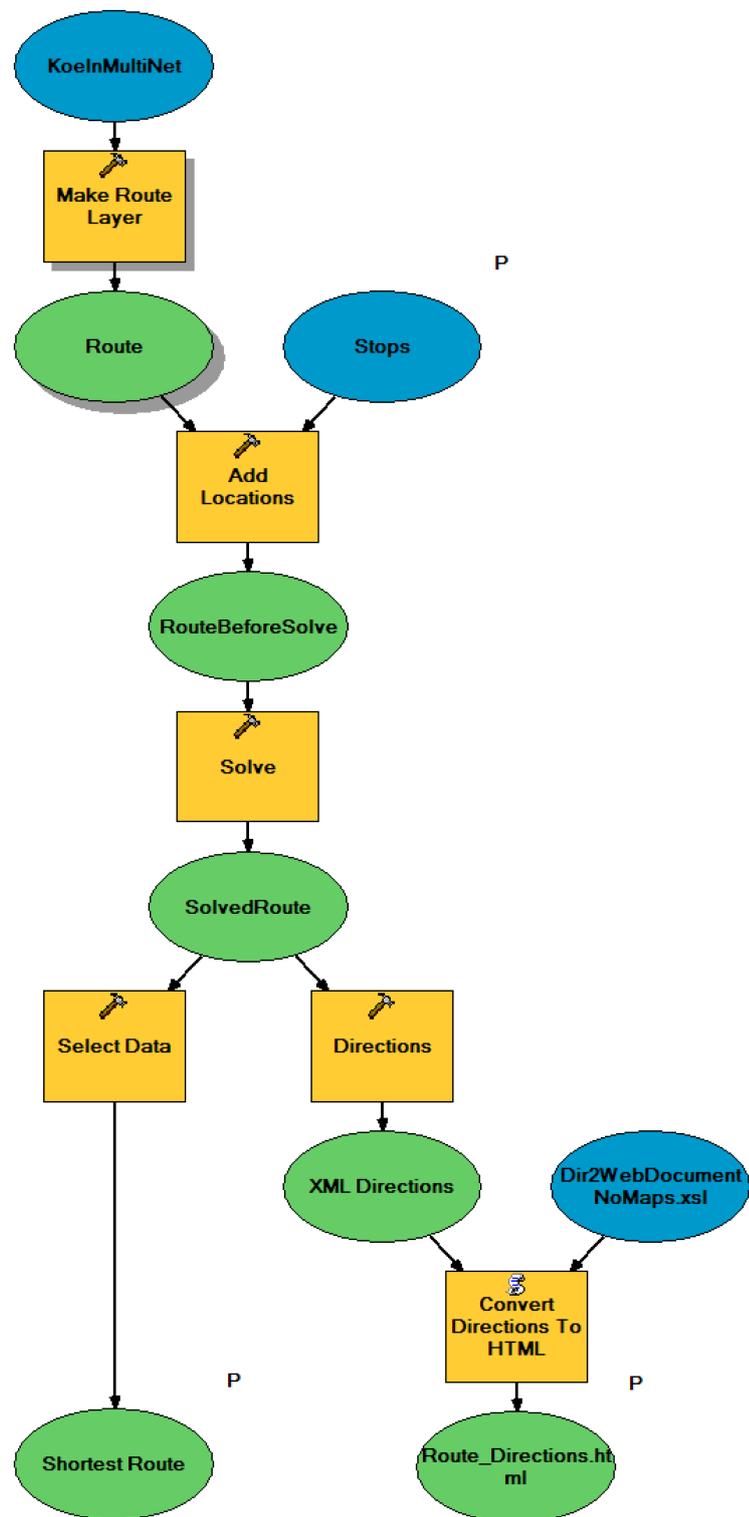


Abb. 4.4: Modell zur Berechnung des kürzesten Fußwegs (verändert nach ESRI, 2009m)

möglich. Diese Netzwerkelemente, im Folgenden als Stops bezeichnet, werden als Unterebene (sub layer) zu der Netzwerkanalyseebene Route hinzugefügt. Sie werden dann vom System als Netzwerkelemente angenommen, wenn sie innerhalb der Suchtoleranz von 100 m zur Netzwerkgeometrie liegen. Dabei akzeptiert das CampusGIS alle Netzwerkdaten mit Ausnahme der Schienen. So wird gewährleistet, dass der eingegebene Stop vom Fußgänger erreicht werden kann. Das ist entlang des Schienenverkehrs nur an den Haltestellen möglich. Das System bevorzugt Fußwege gegenüber den ATKIS-Verkehrswegen,

Mit `Solve` wird schließlich die Routenberechnung gestartet. Dabei werden nicht zulässige Stops ignoriert. Das sind die Stops, die außerhalb der Suchtoleranz oder auf gesperrten Objektklassen eingegeben werden. Das Werkzeug gibt die berechnete Route aus (solved route). Dieser Netzwerkanalyselayer wird vom ArcGIS Server bisher nicht als Ausgabeparameter anerkannt, so dass aus dieser Ebene mittels `Select Data` eine Unterebene selektiert werden muss, die dann als Ergebnis angezeigt werden kann.

Parallel zu dem letzten Schritt werden die Richtungsangaben (directions) als Textdatei generiert und anschließend mit `ConvertDirectionsToHTML`, das als Skriptwerkzeug in dem gleichen Werkzeugkasten wie die Modelle gespeichert ist, mithilfe einer XSL-Styledatei zur Ausgabe in eine HTML-Datei konvertiert.

Die Daten, die dem Nutzer angezeigt werden sollen, müssen im Modell als Modellparameter (P) gekennzeichnet werden. Das sind die

- eingegebenen Stops in der Karte,
- berechnete kürzeste Route in der Karte und
- Richtungsangaben (Route Directions) als Textausgabe.

Die kartographischen Symbole der Ein- und Ausgaben sind in Lyr-Dateien definiert: die Eingabe der Stops wird durch dunkelrote Reißzwecke, die ausgegebene Route als dunkelrote Linie dargestellt.

Das Modell zur Berechnung des kürzesten Fußwegs, bei dem die Nutzung von Treppen umgangen wird, basiert auf dem hier beschriebenen Modell zur Berechnung des kürzesten Fußwegs. Jedoch wird mit einem weiteren `Add Locations`-Werkzeug der Punktdatensatz `TREP_CENTER` geladen, der die Netzwerkanalyseebene durch die Unterebene Barrieren (barriers) ergänzt. Ein drittes `Add Locations`-Werkzeug lädt die Punktdatei `RAMP6_CENTER` ebenfalls als Barrieren in dem Modell zur Berechnung des Fußwegs, bei dem außer den Treppen auch Rampen mit einer Steigung von mehr als 6 % ausgeschlossen werden sollen (Abb. 4.5). Dieser Punktdatensatz wird an die zuvor geladene Barriere-Unterebene `TREP_CENTER` angehängt (`append to existing locations`).

Die Modelle sind im Werkzeugkasten `koeln.tbx` gespeichert. Dieser wird zusammen mit dem `KoelnMultNet` in ArcMap geladen. Aus dem Werkzeugkasten werden die Modelle nacheinander in die Inhaltsliste geschoben, in der sie als eigene Ebenen aufgeführt werden. Anschließend wird die Datei als `netz.mxd` abgespeichert. Sie wird dann zur Erstellung eines GP-Dienstes in ArcGIS Server geladen. Jede Werkzeugebene wird zu einem Prozess, der bei Bedarf vom ArcGIS Server aufgerufen wird. Die Ausführung der Dienste soll synchron ablaufen (`execution type: synchronous`), so dass der Client wartet, bis er die Route darstellen kann.

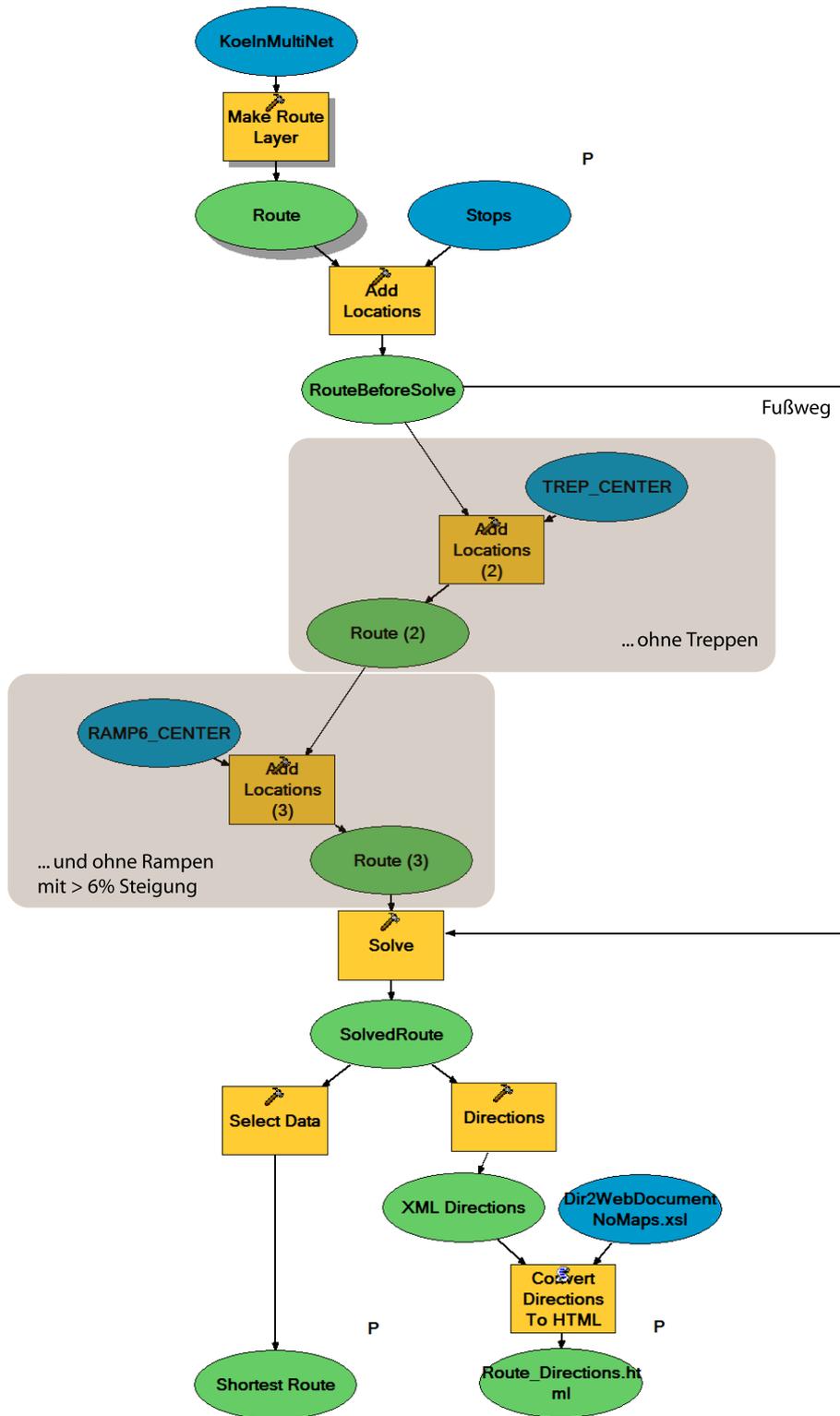


Abb. 4.5: Erweiterungen des Modells zur Berechnung des kürzesten Fußwegs (Abb. 4.4) um Barrieren-Datensätze Treppen und Rampen (verändert und erweitert nach ESRI, 2009m)

4.4 Das webgestützte CampusGIS Version 1 auf Basis des ArcIMS

Die erste Version des Online-CampusGIS (CampusGIS V. 1) wurde für die Bereitstellung über den Internet Map Server ArcIMS der Fa. ESRI entwickelt. Neben den Serverfunktionen, die diese Software in Kombination mit einem Webserver zur Verfügung stellt, bietet sie intuitiv bedienbare, graphische Schnittstellen, die den Anwender beim gesamten Prozess der Geoportal-Erstellung unterstützen können:

- Der **ArcIMS Author** erlaubt verschiedene Datenebenen zu kombinieren, die Symbolisierung festzulegen und eine Kartenkonfigurationsdatei abzuspeichern.
- Der **ArcIMS Administrator** nimmt diese Kartenkonfigurationsdatei als Basis zur Veröffentlichung und Verwaltung eines Kartendienstes. Dieser Aufgabe kann auch der webgestützte ArcIMS Manager oder die ArcGIS-Anwendung ArcCatalog nachkommen.
- Der **ArcIMS Designer** unterstützt den Anwender beim Einbinden der Kartendienste in eine Website. Zusätzlich können hier die Anzeige der Legende, die Werkzeuge für die Kartennavigation, die Maßstabsleiste und die Übersichtskarte parametrisiert werden. Diese Elemente werden durch den Designer in eine vom ArcIMS mitgelieferte Websitevorlage, den sogenannten Viewer eingebaut.

Diese Schnittstellen können jedoch nur ein erster Einstieg zur Veröffentlichung eines WebGIS sein. Viele kartographische Signaturen, das Einbinden weiterer Datenbanken und individuelles Webdesign erfordern umfangreiche Anpassungen, die in diesem Kapitel beschrieben werden.

Der Kartendienst ist ein auf einer AXL-Datei basierender Image Service (Kap. 4.4.1). Die Implementierung des Systems erfolgt auf einer Apache-Webserver- und ArcIMS-Architektur, bei der die Kommunikation zunächst über PHP erfolgte, bevor sie auf AJAX umgestellt wurde (Kap. 4.4.2). Um eine Website anzubieten, die möglichst wenig Anforderungen an den Client stellt und die Ideen des barrierefreien Webdesigns realisiert, sollte die Ausgabe in HTML erfolgen. Der von ESRI dafür bereitgestellte Standard-Viewer wurde entsprechend dem Konzept und Design des CampusGIS angepasst (Kap. 4.4.3).

4.4.1 Kartendienst

Der Kartendienst der ersten CampusGIS-Version ist ein ArcIMS Image Service (Kap. 3.6.2), der auf einer AXL-Datei basiert. Diese Konfigurationsdatei kann mit dem Autoren-Werkzeug ArcIMS Author erstellt oder in einem Texteditor geschrieben werden. Für das CampusGIS wurden die Vektordaten zunächst in den ArcIMS Author geladen und eine AXL-Datei als Basisdokument generiert. Eine Vielzahl gewünschter Visualisierungsparameter werden vom ArcIMS Author jedoch nicht unterstützt, so dass die Datei anschließend im Texteditor mithilfe vieler in ESRI (o. J. d) beschriebenen Elemente umfangreich erweitert wurde. Das Ergebnis, die Datei 100119_CampusGIS.axl, liegt auf dem Server des RRZK und verweist auf Daten im lokalen Netzwerk, auf die der ArcIMS Spatial Server zur Kartengenerierung zugreift.

Das Grundgerüst der AXL-Datei lässt sich in mehrere Abschnitte gliedern, die vom XML-Prozessor interpretiert und in eine Baumstruktur abgebildet werden (Abb. 4.6): Im Prolog wer-

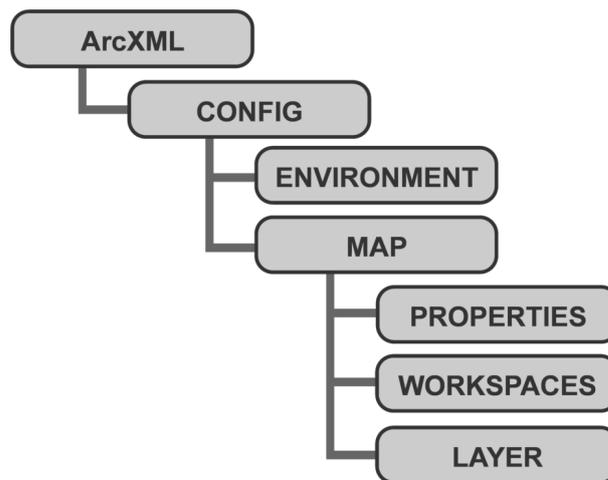


Abb. 4.6: Baumstruktur der AXL-Kartenkonfiguration (eigene Darstellung)

den die verwendete XML-Version 1.0 deklariert und UTF-8 als Zeichensatz (encoding) definiert. Die Wurzel der AXL-Struktur ist das ArcXML-Element, das hier die ArcXML-Version 1.1 festlegt. Das Hauptelement der Kartenkonfiguration (config) steht als Elternelement zu den die Umgebung (environment) und Karte (map) beschreibenden Elementen. Im Umgebungselement werden Angaben zu Land und Sprache definiert, um Konventionen wie z. B. Währungssymbole korrekt anzuzeigen. Diese Angaben entsprechen in der Regel den Ländereinstellungen des Server-Betriebssystems und sind für das CampusGIS durch Deutschland bzw. deutsch beschrieben.

Die eigentlichen Kartendefinitionen beginnen mit dem Map-Element, dem wiederum drei Kind-elemente zugeordnet sind: Zunächst werden die Eigenschaften der Karte definiert (properties). Dies sind der bei Aufruf der Website darzustellende Kartenausschnitt (initial extent) und die verwendete Maßeinheit. Der Kartenausschnitt wird in der CampusGIS-Kartenkonfiguration im Gauß-Krüger-System durch Rechts- und Hochwerte der äußeren Koordinaten angegeben, das sind für Südwest GK 2562900 5642600 und für Nordost GK 2566400 5645000. Die Maßeinheit ist dem Koordinatensystem entsprechend Meter. Das Workspaces-Element gibt den Speicherort der Quelldaten an. Das CampusGIS verwendet zur Kartengenerierung sowohl Vektordaten im Shapefile-Format aus einem Shapeworkspace als auch Rasterdaten im JPG-Format aus einem Imageworkspace. Für jede darzustellende Datenebene wird anschließend ein Layer-Element eingefügt, mit dem die Parameter zur Symbolisierung festgelegt werden. Innerhalb jeder Datenebene können dabei verschiedene Signatures sowohl für unterschiedliche Attributwerte als auch für unterschiedliche Maßstabsebenen definiert werden.

4.4.2 Systemarchitektur

Zu Projektbeginn wurde zunächst eine Systemarchitektur entwickelt, bei der die Kommunikation zwischen dem Client und den in Abb. 4.1 dargestellten Servern neben AXL zur Kartendienst-

generierung (Kap. 4.4.1) mittels PHP realisiert wurde. Den Entwicklungen im Internet hin zu den Technologien des Web 2.0 Rechnung tragend wurde die Systemarchitektur im ersten Halbjahr 2007 auf AJAX umgestellt. Beide Entwicklungen nutzen eine Kombination aus Apache Webserver und ArcIMS, um raumbezogene Abfragen zu beantworten. Diese Konstellation soll zunächst beschrieben werden, bevor die Details zu den unterschiedlichen Entwicklungen der Kommunikation mit PHP bzw. AJAX dargelegt werden.

Serverseitig basiert das System auf einem Apache Webserver, auf den der ArcIMS aufgesetzt ist. In den Apache Webserver klinkt sich eine Servlet Engine ein, die sich aus der Java Virtual Machine (VM) und ihrer Erweiterung Jakarta Tomcat zusammensetzt. Die Servlet Engine integriert Anwendungsfunktionen in den Server, damit diese nicht clientseitig angeboten werden müssen. Anfragen fließen zunächst vom Webserver und der Servlet Engine durch die Serververbindung ArcIMS Servlet Connector zum ArcIMS Application Server (Abb. 4.7). Auf dem ArcIMS Application Server ist katalogisiert, welcher Kartendienst auf welchem ArcIMS Spatial Server betrieben wird. So werden die Anfragen zum jeweils zuständigen ArcIMS Spatial Server gesendet und dort bearbeitet. Die Dateiausgabeformate werden durch die Komponenten des ArcIMS vorgegeben, die jeweils selbst als eine Art Server, nämlich Image-, Feature-, Query-, Extract- oder Geocode-Server, innerhalb des ArcIMS Spatial Servers erscheinen.



Abb. 4.7: Webserver- und ArcIMS-Architektur (eigene Darstellung)

Das CampusGIS stellt dem Internetnutzer eine Website zur Verfügung, über die Informationen zu Einrichtungen, Personen und Gebäuden der Universität zu Köln raumbezogen abgefragt werden können. Abfragen nach Einrichtungen und Personen wurden in der ersten Version mittels PHP zunächst an uk-online gesendet (Abb. 4.8). In dieser DB sind die Namen der Mitarbeiter und Einrichtungen mit dem Gebäude verknüpft, in dem sich deren Büro bzw. das Geschäftszimmer der Einrichtung befindet. Das Datenbanksystem uk-online generiert eine XML-Antwort, aus der die Gebäude-ID ausgelesen und per PHP zur Adressabfrage an die MySQL-DB des RRZK gesendet wird. Eine Gebäudesuche wird direkt vom Client ohne den Zwischenschritt über uk-online per PHP an die MySQL-DB gerichtet. Von hier werden die gesammelten Informationen – das sind Name der Person oder Einrichtung sowie Gebäude-ID aus uk-online und die Adresse aus der MySQL-DB – über PHP und AXL an den ArcIMS gesendet. Das CampusGIS nutzt den ArcIMS Image Server, der entsprechend der Anfrage aus den Shapefiles einen dynamischen

Kartenausschnitt generiert, in dessen Zentrum das gesuchte Gebäude farblich markiert dargestellt ist. Der Kartenausschnitt wird in das von Webbrowsern darstellbare JPG-Format überführt und zusammen mit den Informationen aus uk-online und der Adress-DB in eine Website eingebunden (BAASER et al., 2006).

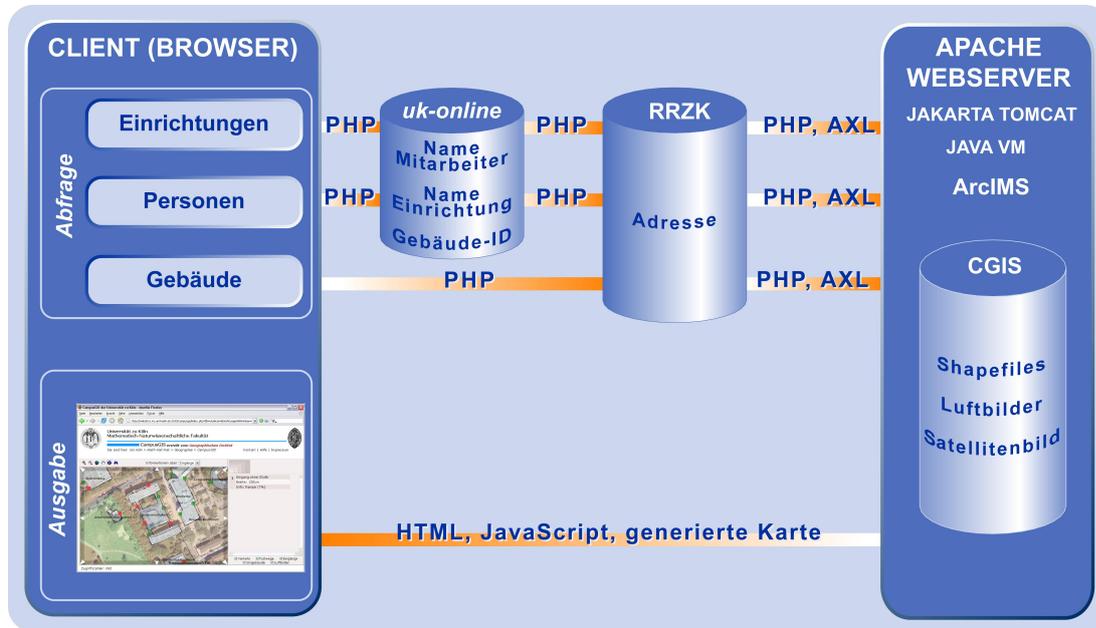


Abb. 4.8: Systemarchitektur CampusGIS V. 1 mit PHP (verändert nach BAASER et al., 2006a)

Die Entwicklungen der WWW-Technologien und -Konzepte sowie die Anforderungen an das CampusGIS erforderten eine Erneuerung der CampusGIS-Website, einen sogenannten Site-Relaunch: Um Abfragen ohne komplettes Neuladen der CampusGIS-Website zu beantworten und die Darstellung des Kartenausschnitts an die Browsergröße anzupassen, wurde die interne Kommunikation auf AJAX adaptiert. Obwohl hierbei zugunsten AJAX weitgehend auf den Einsatz von PHP verzichtet wurde, werden die Abfragen der Gebäude-DB weiterhin mit PHP realisiert. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass die Login-Informationen zur DB nicht über den Quellcode der Website zugänglich sind. Bei der Umstellung wurden nicht benötigte Quellcode-Abschnitte, die durch die Standardprogrammierung von ESRI eingebunden oder bei der Entwicklung des Systems redundant in verschiedenen Dateien integriert wurden, entfernt sowie kleinere Programmierfehler behoben.

Die gesamte Systemarchitektur lässt sich bezüglich der bereitgestellten Funktionen in zwei Hauptteile gliedern, die im Folgenden beschrieben werden sollen (Abb. 4.9):

- Erweiterte Suchfunktionen
- Abrufen von Objektinformationen

Der Nutzer sendet eine Suchanfrage nach Personen oder Einrichtungen an den Webserver. Diese wird per URL und SQL-GET-Query an uk-online geleitet. Eine XML-Antwort der DB beinhaltet Informationen über das betreffende Objekt sowie die von der Universitätsverwaltung zuge-

wiesene Gebäude-ID. Diese Informationen werden in einem Speicher (global array) temporär abgelegt. Mit der Gebäude-ID als eindeutigem Schlüssel wird mittels PHP die Gebäudeadresse aus der MySQL-DB abgefragt. Wie auch in der zuvor beschriebenen PHP-Version wird eine Gebäudesuche direkt an die MySQL-DB gesendet. Mittels AXL erstellt der ArcIMS eine Karte aus den Shapefiles, in der das gesuchte Objekt im Zentrum liegt. Die Karte wird als Rasterdatei im JPG-Format zwischengespeichert und zusammen mit den Informationen aus dem Array in eine Website eingefügt (BAASER, 2007).

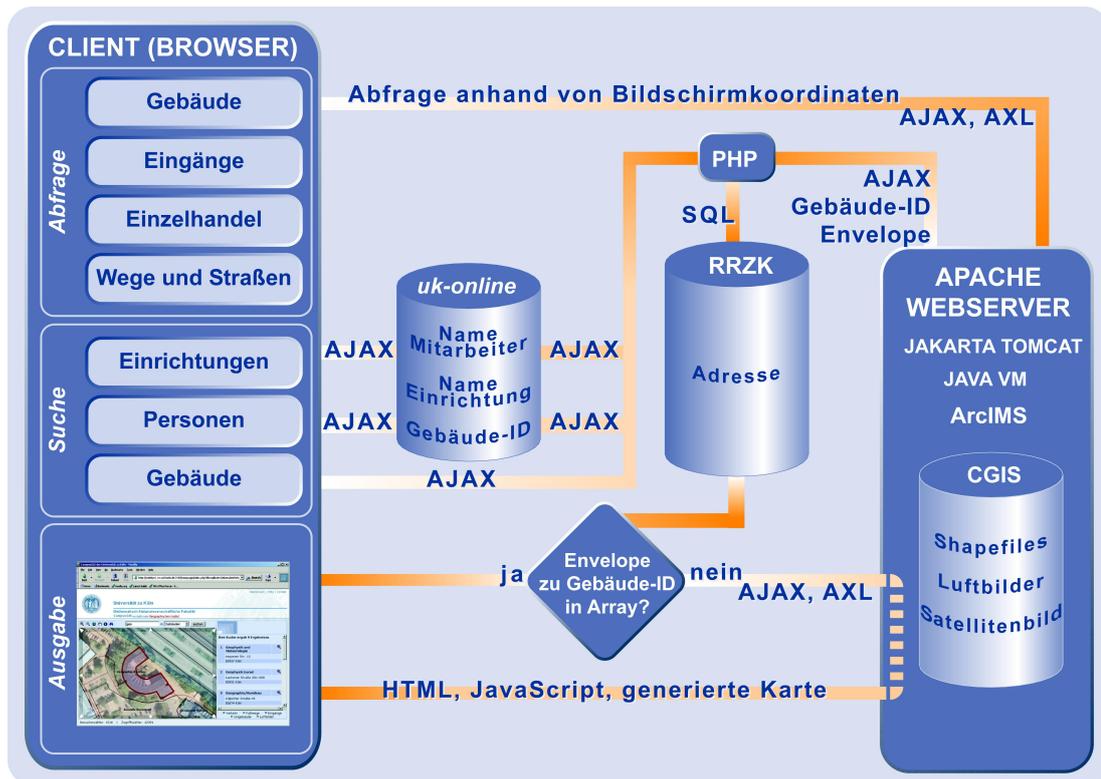


Abb. 4.9: Systemarchitektur CampusGIS V. 1 mit AJAX (verändert nach BAASER, 2007)

Über den Informations-Schaltknopf (i-Button) lässt sich der Mauszeiger zu einem Informations-Werkzeug umschalten. Damit können Informationen zu Gebäuden, Eingängen, Einzelhandel und Dienstleistungen sowie Fußwegen per Mausklick auf die betreffenden Objekte abgerufen werden. Auch hierfür nutzt das CampusGIS AJAX: Vom Client werden die Bildschirmkoordinaten an den Apache-ArcIMS-Server gesendet, um die dazugehörige Objekt-ID zu erhalten. Zusammen mit den Informationen zum Kartenausschnitt (envelope) wird sie in einem Array zwischengespeichert. Bei einem Gebäude wird die Adresse mittels PHP über die Gebäude-ID aus der MySQL-DB selektiert, bei den anderen Objekten wird die CampusGIS-GDB über die jeweilige Objekt-ID nach den dazugehörigen Informationen abgefragt. Im letzten Schritt wird mithilfe HTML, CSS und JavaScript eine Website generiert, die die Karte und die alphanumerischen Informationen entsprechend der gestellten Abfrage enthält. Diese wird an den Client als Antwort gesendet.

In das AJAX-basierte System ist ein JavaScript-DOM-Parser integriert, der zur syntaktischen Analyse der XML-Antwort verwendet wird. Das DOM ist eine Anwendungs-Programm-Schnittstelle, die den Zugriff auf HTML- oder XML-Dokumente erlaubt. Seine Klassen, Methoden und Attribute, die vom W3C entwickelt und definiert sind, sind plattform- und sprachenunabhängig. Damit ist eine standardisierte Schnittstelle vorhanden, über die auch weitere DB an das CampusGIS angebunden werden können (BAASER et al., 2008).

4.4.3 Webdesign

Das CampusGIS wurde nach der ersten Datenerfassung zunächst zu Testzwecken universitätsintern mit dem von ESRI mitgelieferten Standard-HTML-Viewer veröffentlicht. Dieser basiert auf einem HTML-frameset und ist damit nicht geeignet, die Website barrierefrei darzustellen. In einem ersten Schritt wurden die HTML-Seiten daher überarbeitet, die framesets entfernt und das Design mit CSS abgebildet (Abb. 4.10). Etwa zeitgleich zu diesen Entwicklungen begann die Universitätsverwaltung, unternehmensweite graphische Gestaltungsvorgaben (Corporate Design, CD) einzuführen, um „die visuellen Auftritte aller Einrichtungen (...) gemeinsamen

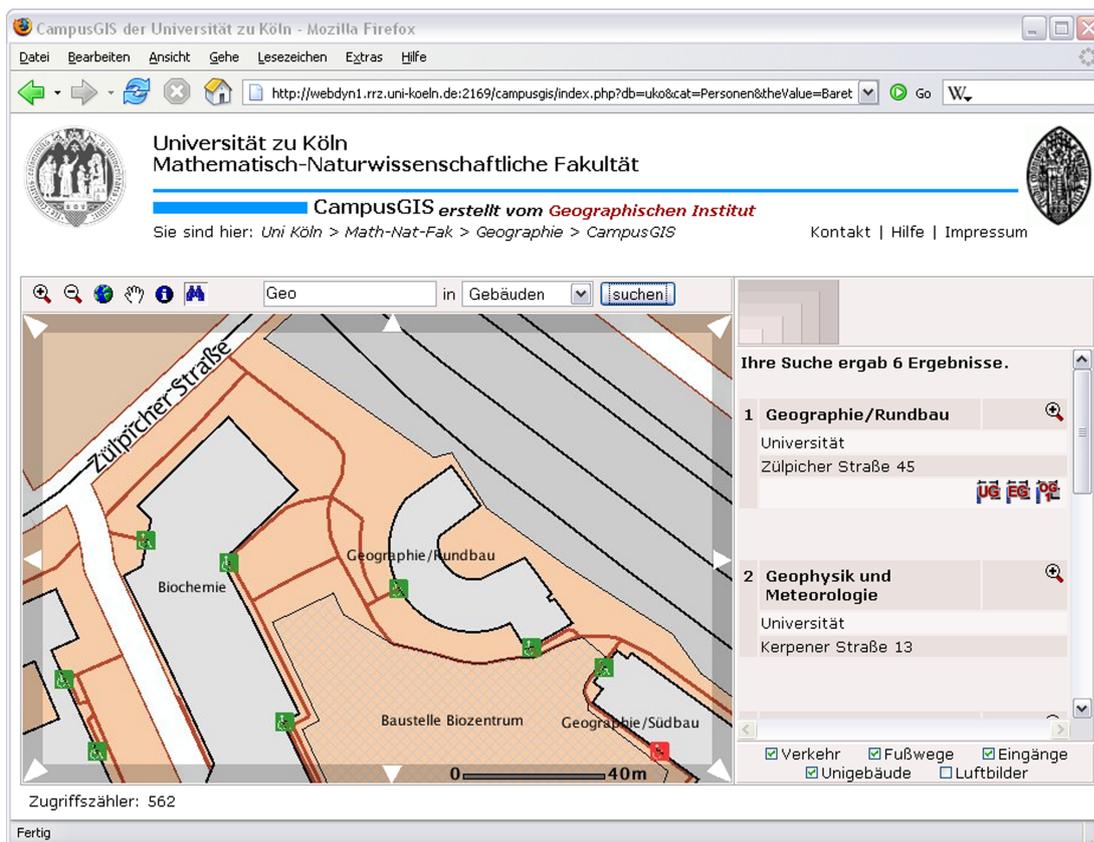


Abb. 4.10: CampusGIS V. 1 (PHP) – Farbgebung angelehnt an DTK10
(<http://www.campusgis.de> – Zugriffsdatum: Mai 2006)

Regeln folgen“ zu lassen (UZK, 2006). Für die Websites war dadurch zunächst der Seitenkopf betroffen, in dem neben der Universität die Fakultät genannt und durch vorgegebene Linien- und Farbgestaltung repräsentiert wird. Zusätzlich können Bezeichnungen von Instituten, Seminaren, Arbeitskreisen usw. angefügt werden. Als zentrales Erkennungszeichen fungiert das seit 1392 verwendete Siegel, das in der linken oberen Ecke in Verbindung mit dem Schriftzug Universität zu Köln als Logo platziert wird. Für das CampusGIS wurde das Siegel der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät auf der rechten Seite ergänzt. Mit der endgültigen Veröffentlichung der Vorgaben zum CD kam später das dekorative Siegel hinzu, das angeschnitten auf allen Seiten oben rechts platziert werden soll (Abb. 4.11).

Der größte Teil der Website ist für das Kartenfeld vorgesehen, das von den Interaktionsschaltflächen sowie der Ergebnisausgabe umrahmt wird: Die GIS-Werkzeuge sind über dem Kartenfeld angeordnet. Die an- und ausschaltbaren Datenebenen (TOC) sind unten rechts neben dem Kartenfeld zu finden. Darüber werden die Ergebnisse von Suche und Informationsabfrage aufgelistet.

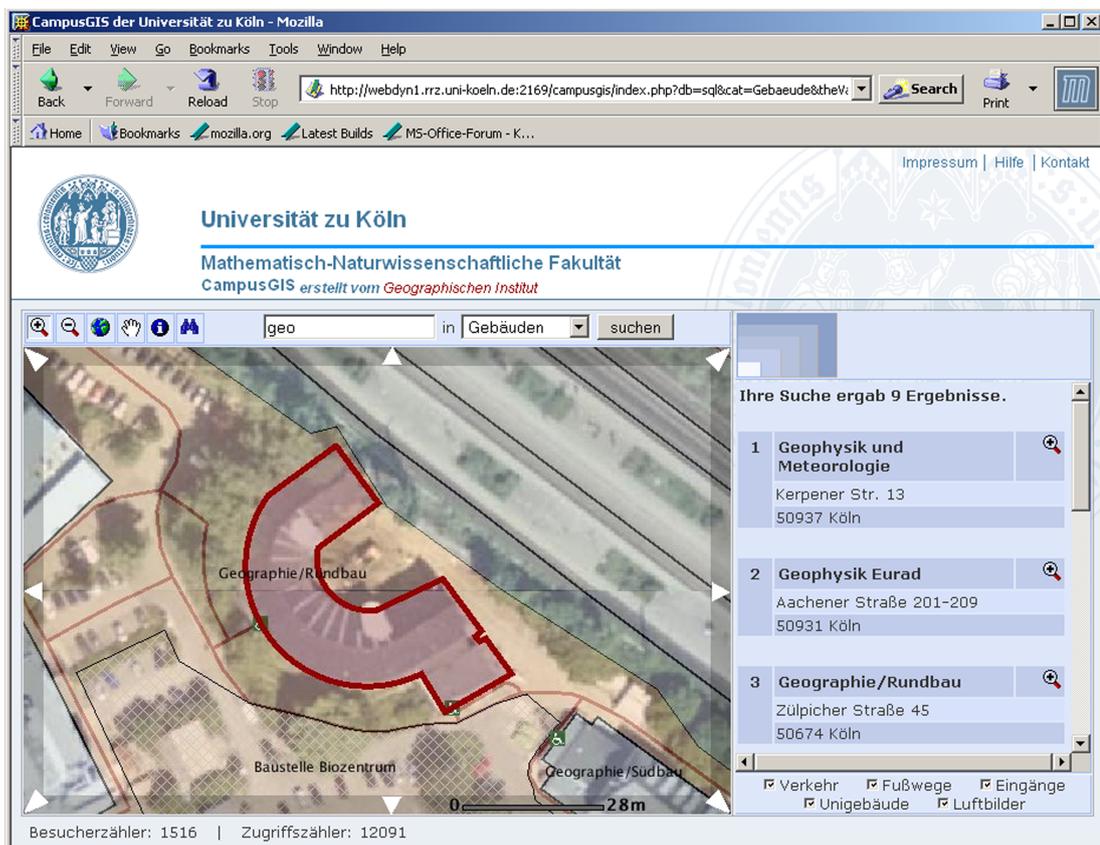


Abb. 4.11: CampusGIS V. 1 (AJAX) – Gestaltung angelehnt an das CD der Universität (<http://www.campusgis.de> – Zugriffsdatum: April 2007)

Die Kartengraphik orientierte sich zunächst an den Farbgebungen der DTK10 (Abb. 4.10). Passend dazu wurde die Ergebnisausgabe in hellen, rot-grauen Farbtönen unterlegt. Diese Farben standen jedoch in starkem Kontrast zu den Gestaltungsvorgaben des CD der Universität, so dass bei der Weiterentwicklung des CampusGIS zunächst das Kartenumfeld auf blau-graue Farbtöne umgestellt (Abb. 4.11) und später auch die Kartengraphik verändert wurde (Kap. 4.5.3).

4.5 Das webgestützte CampusGIS Version 2 auf Basis des ArcGIS Server

Die Weiterentwicklungen im Bereich des Internet und der GIS-Software erforderten nach dem Umstieg des CampusGIS V. 1 auf AJAX nochmals einen Site-Relaunch, der mit einer kompletten Neuorganisation der Servertechnologie einherging. Von der HTML-Viewer-Struktur des CampusGIS V. 1 wurde damit zu einer Javabasierten Webapplikation gewechselt. Hier wird deutlich, dass es oftmals schwierig ist, mit den technischen Entwicklungen Schritt zu halten. Stellvertretend wird am CampusGIS gezeigt, dass Systeme den neuesten technischen Entwicklungen angepasst werden müssen, um vom Nutzer akzeptiert zu werden.

Im Vergleich zu den von der ArcIMS-Software zur Verfügung gestellten drei Schnittstellen, die den Anbieter bei der Erstellung von Geodatendiensten und -Websites unterstützen, weist die ArcGIS Server-Software nur noch eine Anwenderschnittstelle auf: den webgestützten ArcGIS Server Manager. Bevor dieser zum Einsatz kommt, muss jedoch ein Dokument erstellt werden, das als Basis für einen Geodatendienst benutzt werden kann. In den meisten Fällen ist das ein Kartendienst, der auf eine mit ArcMap erstellte MXD- oder MSD-Datei zurückgreift. Außerdem können z. B. Geoprocessingdienste mit ArcMap oder der ArcToolbox sowie 3D-Datendienste mit in ArcGlobe gebildeten 3DD-Dateien erstellt werden. Die ArcGIS Desktop-Software vervollständigt ArcGIS Server, indem sie Funktionen zum Erstellen, Konfigurieren und Pflegen der Daten, Modelle und Anwendungen bereitstellt (BEDOLL et al., 2007).

Mit dem ArcGIS Server Manager oder in ArcCatalog können aus den Dokumenten Geodatendienste generiert und verwaltet werden. Der ArcGIS Server Manager unterstützt den Anwender, die Geodatendienste zusammen mit einigen vorgefertigten Funktionen in eine Website zu integrieren und diese als Webanwendung zu veröffentlichen (deploy). Entsprechend der in Kap. 4.4 beschriebenen ArcIMS-Anpassungen sind auch für ArcGIS Server individuelle Anpassungen nur außerhalb des ArcGIS Server Managers möglich.

Mit dem Wechsel der Servertechnologie von ArcIMS zu ArcGIS Server kam es zu mehreren Veränderungen im CampusGIS. Das neue System, das als zweite Version des CampusGIS bezeichnet wird, wird im Folgenden beschrieben. So befasst sich Kap. 4.5.1 mit dem neuen Kartendienst, der nicht mehr auf einer AXL-Datei basiert, sondern auf eine ArcGIS-Projektdatei im MXD-Format zugreift. Die Implementierung des CampusGIS auf ArcGIS Server wird in Kap. 4.5.2 beschrieben und Kap. 4.5.3 schließlich legt das durch den neuen Ansatz veränderte Webdesign dar.

4.5.1 Kartendienst

Die in Kap. 4.3.1 genannten Objektklassen aus der CGIS-DB werden in der Datei koeln.mxd als ArcMap-Kartendokument zusammengestellt. Anschließend werden die Daten durch das Analyse-Werkzeug aus der Kartendienstveröffentlichungs-Werkzeugleiste (Map Service Publishing toolbar) hinsichtlich ihrer Veröffentlichungsmöglichkeiten überprüft (Kap. 3.6.2). Hierbei werden mögliche Performanzbeeinträchtigungen und Kartenfehler gemeldet. Die Ausgabe unterscheidet zwischen nicht unterstützten Datenebenen und Symboltypen, die vor einer Veröffentlichung bereinigt werden müssen (error messages), Warnungen vor Problemen, die die Darstellungsperformanz beeinträchtigen (warning messages), und Mitteilungen über Optimierungsmöglichkeiten (information messages). In dem Kartendokument koeln.mxd wurden kartographische Repräsentationen als Fehler gemeldet, weil diese in einer GDB gespeicherte, regelbasierte Symbologie von der Kartendienstdefinition nicht unterstützt wird. Anstelle der Repräsentationen wurde daher eine Standardsymbolisierung definiert. Liniensignaturen, die sich aus mehreren Ebenen zusammensetzen, können die Performanz der Kartengenerierung beeinträchtigen; diesbezügliche Warnungen wurden als Ausnahme erklärt, die entsprechenden Signaturen zugunsten der kartographischen Vorüberlegungen jedoch beibehalten. Nach einer Bereinigung der Fehler kann die Karte in einer Vorschau angezeigt sowie die Performanz und Reaktionsfreudigkeit des Kartendienstes getestet werden.

Abschließend sind Einstellungen zur Kartenbildgenerierung vorzunehmen: Die Kartendatei des CampusGIS wird im PNG-Format gespeichert, bei dem trotz sehr geringer Dateigröße keine Informationen verloren gehen. Bei den Einstellungen zum Konturenausgleich (anti-aliasing) wurde ein Mittelweg zwischen performanter und zugleich klarer Darstellung gewählt: Um die Geschwindigkeit zu optimieren, wurde ein minimaler Konturenausgleich definiert (Anti-Aliasing: Fastest); die Schrift wird jedoch mit starkem Konturenausgleich dargestellt (Text Anti-Aliasing: Force). Mit diesen Optimierungen und Einstellungen wurde eine Kartendienstdefinition zur Veröffentlichung mit ArcGIS Server als koeln.msd gespeichert.

Diese Kartendienstdefinition dient als Kartendokument, auf dessen Grundlage ein Kartendienst für ArcGIS Server konfiguriert wird. Derzeit soll lediglich Zugriff auf die Karteninhalte gewährt werden, ohne dass der Nutzer Zugriff auf die Quelldateien hat. Daher wird als einzige Einstellung die Kartendarstellung (mapping) gewählt und dort werden die möglichen Kartendienstoperationen (map, query, data) aktiviert, so dass u. a. Informationen über die Karteninhalte abgerufen (identify) und Karteninhalte gesucht (find) werden können (ESRI, o. J. a). Ein WMS-kompatibler oder KML-fähiger Kartendienst kann bei Bedarf jederzeit zusätzlich konfiguriert werden.

4.5.2 Systemarchitektur

Die ArcGIS Server-Software unterstützt eine verteilte Architektur, die es nicht nur ermöglicht, externe Server z. B. als Datenserver anzusprechen, sondern auch die ArcGIS Server-eigenen Komponenten auf mehrere Maschinen zu verteilen. Das Auslagern und Einkapseln der Geoprozessierungsdienste auf einem unabhängig verwalteten Anwendungsserver erhöht die Performanz

des Systems. Ob hardwareseitig auf einer oder mehreren Maschinen implementiert, lassen sich softwareseitig grundsätzlich mehrere Server unterscheiden (Abb. 4.12):

- Webserver,
- GIS Server mit
 - Server Object Manager (SOM) und
 - Server Object Container (SOC),
- Datenserver.

Anfragen, die von Clients über das Internet gestellt werden, werden vom Webserver empfangen. Von dort werden die raumbezogenen Anfragen an den ArcGIS Server geleitet. Dieser unterscheidet intern zwischen Server Object Manager (SOM) und Server Object Container (SOC), die jeweils in mehreren Instanzen vorhanden sein können. Jede SOM-Maschine ist mit einer oder mehreren SOC-Maschinen verbunden. Der SOM verwaltet die Dienste, die von den SOC betrieben werden. Datenserver, deren Daten als Dienste auf dem GIS-Server veröffentlicht werden sollen, können an die SOC-Maschinen angebunden werden. Weil die SOC-Maschinen die raumbezogenen Aufgaben prozessieren, benötigen sie oftmals eine große Rechenleistung, so dass empfohlen wird, SOC-Instanzen auf mehrere Rechner zu verteilen.

Zwischen Webserver und den ArcGIS Server-Maschinen SOM und SOC, die im Folgenden gemeinsam mit dem Begriff ArcGIS Server bezeichnet werden, müssen Daten und Dienste ausgetauscht werden können. Sowohl für die einzelnen Server als auch für die Daten und Verzeichnisse müssen daher gängige Namenskonventionen wie z. B. UNC⁸-Pfade verwendet werden. Außerdem sind die Zugriffs- und Sicherheitseinstellungen sowie eventuell vorhandene Schutzsysteme (firewall) so anzupassen, dass die Kommunikation zwischen den Servern nicht behindert wird.

Als mit der Entwicklung der zweiten CampusGIS-Version (CampusGIS V. 2) begonnen wurde, waren in die zu dieser Zeit aktuelle Softwareversion ArcGIS Server 9.2 Softwareentwicklungsumgebungen (Software Development Kit: SDK) für Microsoft .NET sowie für Java integriert. Für das CampusGIS wurde das Java-SDK benutzt, weil Java-basierte Entwicklungen plattformübergreifend sind. Mit dem Java-SDK stellt ESRI Gruppen von Entwicklerwerkzeugen in Anwendungsentwicklungssystemen (application developer framework: ADF) und damit AJAX-fähige Bedienelemente bereit, die in integrierten Entwicklungsumgebungen (Java-IDE) wie z. B. Eclipse benutzt werden können. Diese Bedienelemente sind Java Server Faces (JSF)-Komponenten, die sowohl server- als auch clientseitige Steuerungen und Bibliotheken enthalten. Mit diesen konnten Funktionen und Anwendungen in das CampusGIS integriert werden, die bei einer Anwendungserstellung mit dem ArcGIS Server Manager nicht zur Verfügung gestanden hätten. Dies betrifft insbesondere die Anbindung der externen Datenbanken sowie die Darstellung und Formatierung der von den GIS-Diensten gelieferten Informationen.

⁸ Die Universal Naming Convention (UNC)-Adressierung erlaubt, im Netzwerk freigegebene Verzeichnisse und Dateien eindeutig anzusprechen.

Eine UNC-Adresse setzt sich zusammen aus `\\IP-Adresse\Freigabename\Verzeichnis`

The ArcGIS Server System Architecture

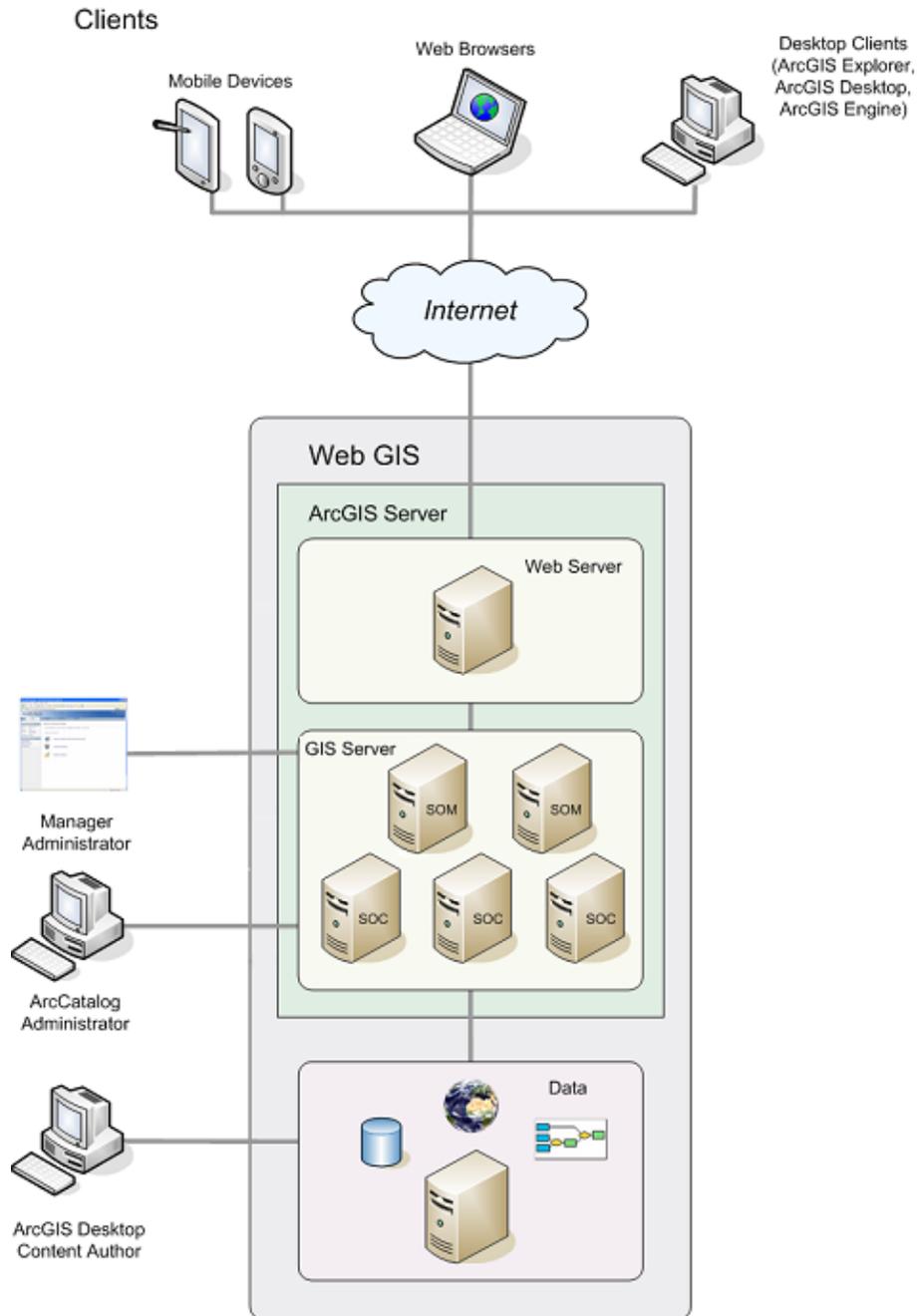


Abb. 4.12: Webserver- und ArcGIS Server-Architektur (ESRI, o. J. e)

Das verwendete Entwicklerwerkzeug Enterprise ADF stellt Java-Klassen in Form von Enterprise JavaBeans (EJB) zur Verfügung, über die in der Java Enterprise Edition (Java EE⁹) APIs für serverseitige Kartengenerierung, Abfragen, Netzwerkberechnung, Geocodierung und Geoprocessing bereitgestellt werden. Die EJBs sind Java-Servlets (vgl. Kap. 2.3.1). Diese Java-Komponenten befolgen Spezifikationen, die Regelwerke beinhalten, durch die die EJBs in allen Java EE-basierten Anwendungsservern und auf allen Betriebssystemen, die die Java-Plattform unterstützen, eingesetzt werden können. In EJBs werden Komponenten getrennt voneinander entwickelt. Eingebettet in einen Container sind sie vor dem direkten Zugriff der Client-Anwendung geschützt.

Das CampusGIS basiert auch in der in diesem Kapitel beschriebenen zweiten Version auf einer Client-Server-Architektur. Im Vergleich zu der Systemarchitektur des CampusGIS V. 1 ergeben sich jedoch bedeutende Änderungen und Erweiterungen, so dass die Systemarchitektur des CampusGIS V. 2 im Folgenden erläutert wird (Abb. 4.13). Nun stellt ein Tomcat-Webserver mittels Java Server Pages (JSP) eine serverseitig auf Java basierte Webanwendung (Webapplikation) als graphische Benutzerschnittstelle zur Verfügung. Die Webapplikation zeigt dem Nutzer das Kartenfeld und verschiedene Anwendungen sowie Abfrage-Ergebnisse an. Sie ist die Schnittstelle, über die der Nutzer mit dem WebGIS interagieren kann. Tomcat ist Bestandteil des Java EE-SDK und bildet in der CampusGIS-Architektur als Webserver zusammen mit den GIS-Servern SOM und SOC den WebGIS Server.

Abb. 4.13 zeigt die vier clientseitigen Anwendungen Abfrage, Suche, Routing und Rundgänge sowie auf Serverseite das WebGIS-System mit den daran angeschlossenen Datenbanken:

CGIS – eine GDB mit den räumlichen Basisdaten des CampusGIS,

uk-online – eine MySQL-DB mit Personeninformationen,

RRZK – eine MySQL-DB mit Gebäudeinformationen und Stichworttabelle,

RG – eine MySQL-DB mit Informationen zu den Standorten der CampusRundgänge.

Allen Anwendungen ist gemein, dass sie per JSP über den Tomcat-Webserver an den ArcGIS Server geleitet werden. Der ArcGIS Server stößt mittels Java die EJB an, die die aufgerufene Anwendung zu bearbeiten vermag. Jede Anwendung benutzt die EJBs, über die der ArcGIS Server mittels JSP mit der CGIS-DB sowie mit dem WebContext kommuniziert. Im WebContext, der sich aus der generierten Karte und den dazugehörigen Informationen, den WebResults, zusammensetzt, werden die gesammelten Informationen aus dem ArcGIS Server gespeichert. Die WebResults sind Schlüssel-Wert-Paare, mit denen z. B. die DB-Abfragen ausgegeben werden. Der Inhalt des WebContexts wird von dem anfragenden Client übermittelt.

⁹ zuvor Java 2 Platform Enterprise Edition (J2EE)

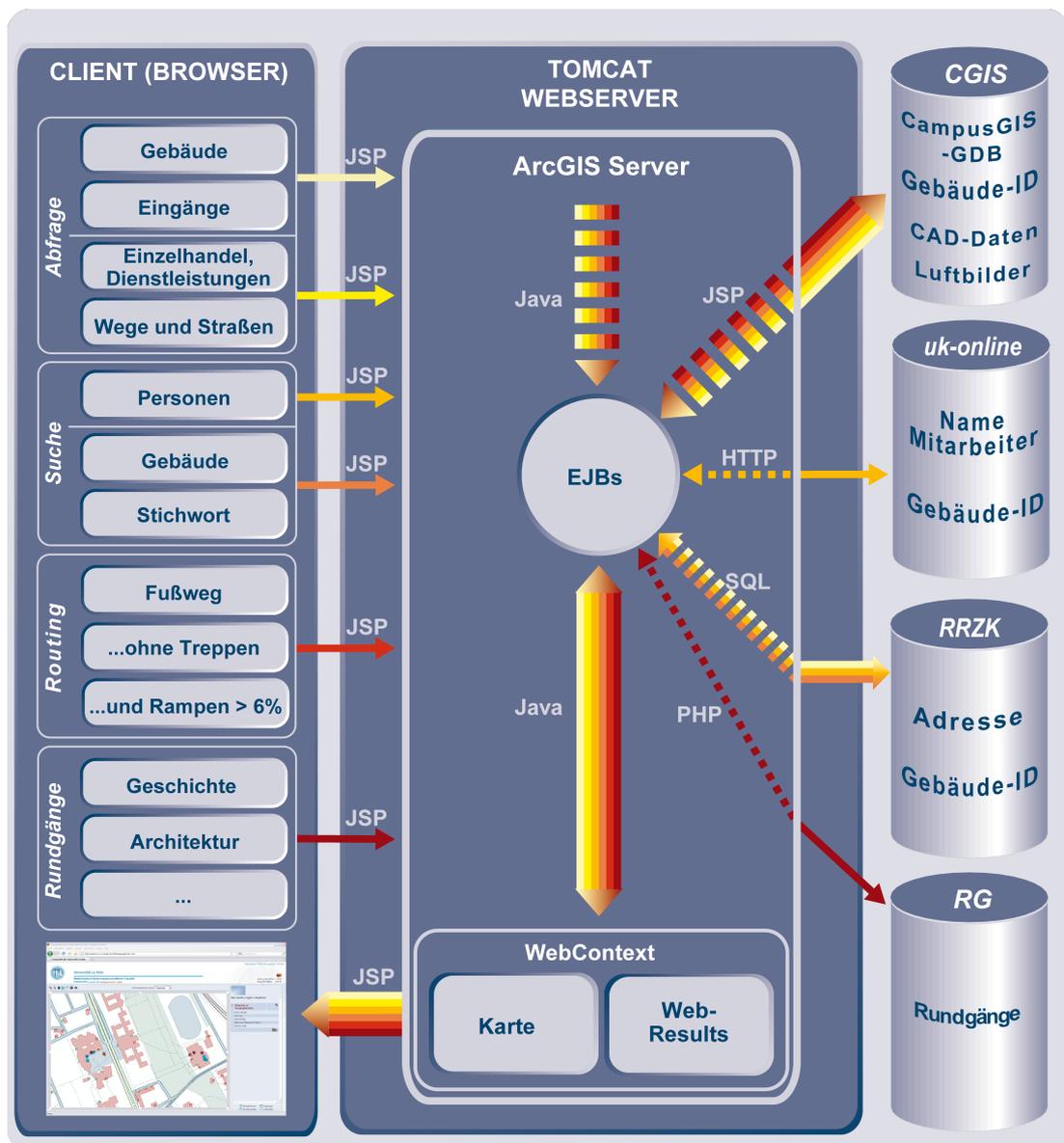


Abb. 4.13: Systemarchitektur CampusGIS V. 2 (eigene Darstellung)

Zu unterscheiden sind entsprechend der vom Client genutzten Anwendung die weiteren angestoßenen EJBs sowie die von den EJBs angesprochenen DB. Der Datenfluss der Anwendungen sowie die verwendeten Webtechnologien sind mit verschiedenfarbigen, beschrifteten Pfeilen dargestellt (Abb.4.13). Gegliedert nach den Anwendungen soll das System im Folgenden beschrieben werden:

Abfrage Der Nutzer startet auf Clientseite eine Abfrage, indem er mit dem Mauszeiger ein Geoobjekt in der Karte anklickt. Dafür muss zuvor durch Anklicken der Abfrage-Schaltfläche

(i, identify) das Abfrage-Werkzeug aktiviert werden. Der ArcGIS Server ermittelt über die Bildschirmkoordinaten, zu welchem Geoobjekt der Nutzer Informationen anfragt.

Der Datenfluss der Abfragen ist zu unterscheiden zwischen Abfragen über Gebäude und Eingänge einerseits sowie Einzelhandel, Dienstleistungen und Wege, Straßen andererseits. Die räumlichen Informationen liegen in der CGIS-DB vor, die – wie oben beschrieben – bei allen Anwendungen angesprochen wird. Dies ist auch die einzige DB, in der Informationen zu Einzelhandel und Dienstleistungen sowie Wegen und Straßen vorliegen (sonnengelb). Abfragen nach Gebäuden und Eingängen (hellgelb) werden zudem zur Ermittlung der postalischen Adresse mit einer SQL-Abfrage an die RRZK-DB übergeben.

Suche Auch bei der Suche ist zwischen zwei Datenflüssen zu unterscheiden, weil unterschiedliche DB angesprochen werden müssen: einerseits der Datenfluss zur Personensuche (hellorange), andererseits der Datenfluss für die Suche nach Gebäuden und Stichworten (orange). Dabei ist zu beachten, dass jede DB auf einem Server mit eigener Dienststruktur läuft, die die Anfragen DB-konform, z. B. in SQL, verarbeitet. Für die Kommunikation des CampusGIS mit den externen DB gelten unterschiedliche Zugriffsberechtigungen, wodurch sich auch die eingesetzten Abfragetechniken unterscheiden. So musste bei der Programmierung für jede DB eine eigene Schnittstelle angesprochen werden, obwohl alle DB auf der MySQL-Technologie basieren.

Direkter Zugriff auf die Tabellen und Daten erhält das CampusGIS bei der RRZK- und der RG-DB. Bei uk-online stellt das CampusGIS eine HTTP-Anfrage, die von uk-online serverintern in Perl übersetzt wird. Dieses Skript liest die Daten aus der DB und sendet sie als XML-Datei an das CampusGIS zurück.

Für die Suche werden EJBs aufgerufen, die die externen DB mit der jeweils notwendigen Webtechnik ansprechen. Dafür wurde mithilfe des ArcGIS Server Plug-ins in der Java-IDE Eclipse das Paket (package) `customsearch` angelegt. Das Paket enthält den Quelltext für die attributive Selektion (Kap. 4.6.3), nämlich die Suche nach Personen, Gebäuden und Stichworten. Der Quelltext besteht aus Klassen im JAVA-Format (`CustomSearchAttributesTask.java`). In der Konfigurationsdatei `faces-config.xml` wird die Klasse als EJB (managed-bean) registriert, damit sie bei Bedarf aufgerufen werden kann.

Eine Personensuche wird zunächst mittels HTTP an uk-online gesendet. Hier sind die Namen über Gebäude-IDs mit den Gebäuden verknüpft, in denen sich das Büro der gesuchten Person befindet. Die Gebäude-ID wird an eine EJB im ArcGIS Server zurückgegeben. Mit einer weiteren EJB wird die zur Gebäude-ID gehörende Adresse mittels SQL aus der RRZK-DB abgerufen. Die Gebäude-ID wird außerdem mittels JSP an die CGIS-DB übergeben. Von hier werden die geometrischen Daten entnommen, die zur Generierung einer auf das gesuchte Gebäude zentrierten Karte benötigt werden, und an den ArcGIS Server geliefert.

Die Suche nach Gebäuden und Stichworten (orange) läuft entsprechend, allerdings ohne die Abfrage bei uk-online. In der Stichworttabelle sind Einrichtungen, Institute, Seminare und Forschungsprojekte gespeichert, die ebenfalls über eine Gebäude-ID mit Gebäuden

verknüpft sind. Die Karte und die beschreibenden Suchergebnisse bilden gemeinsam wiederum den WebContext, der von EJBs per Java erstellt und dann an den Client übergeben wird.

Routing Die Routinganwendung (hellrot) ist in die drei Prozesse (tasks) „Fußweg“, „Fußweg ohne Treppen“ und „Fußweg ohne Treppen und Rampen mit mehr als 6 % Steigung bzw. Gefälle“ zu unterscheiden. Jedem Prozess liegen eigene Algorithmen zugrunde, die unterschiedliche Daten aus der CGIS-DB verwenden. Mithilfe der jeweils notwendigen räumlichen Daten der CGIS-DB bearbeiten ArcGIS Server-interne EJBs die Routinganfragen und geben den der Anfrage entsprechenden kürzesten Weg über den WebContext aus. Die Routen werden in der Karte angezeigt und in den WebResults in Textform beschrieben.

Rundgänge Mit dem Aufruf der CampusRundgänge (dunkelrot) werden ein verändertes Webdesign geladen (Kap. 4.5.3) und das Java-Paket `rundgangtool` aufgerufen. Die geometrischen Informationen zu den die Rundgänge darstellenden Pfaden und Standorten liegen in der CGIS-DB vor, aufgrund derer der ArcGIS Server die Rundgänge mit ihren thematisch gegliederten Standorten in der Karte darstellen kann. Die Informationen und Medien zu den Rundgängen sind in der MySQL-DB RG gespeichert, die mittels PHP von der zuständigen ArcGIS Server-internen EJB angesprochen wird. Die Karte sowie die thematischen Informationen und Medien bilden wiederum den WebContext, dessen Inhalte von dem anfragenden Client visualisiert werden.

4.5.3 Webdesign

Die Website des CampusGIS V. 2 ist eine Webapplikation, deren dynamischen Inhalte durch JSP in den HTML-Code eingebunden werden. Durch den Einsatz dieser serverseitigen Technologie kann das CampusGIS in jedem Browser dargestellt werden, ohne dass auf dem Client-Rechner Java installiert sein muss.

Das Layout der Website orientiert sich wieder an den Vorgaben des CD der Universität (vgl. Kap. 4.4.3). Dies gilt insbesondere für den Kopf der Website, der neben Siegel und den Namen von Universität, Fakultät und Institut den Projektnamen und auf der rechten Seite das angeschnittene dekorative Siegel der Universität zu Köln zeigt.

Im Hauptteil unterscheiden sich die Layouts der beiden Anwendungen CampusGIS und CampusRundgänge: Beim CampusGIS werden etwa drei Viertel der Seite von der Karte beansprucht, das restliche Viertel zeigt die ergänzenden, alphanumerischen Informationen. Dagegen steht bei den CampusRundgängen etwa eine Hälfte der Seite für die Karte zur Verfügung, während in der anderen Hälfte die erläuternden Texte zu den Rundgängen bzw. einzelnen Standorten, z. T. ergänzt von Photographien oder Abbildungen, angezeigt werden.

Der Hintergrund der Textfelder ist in dem durch das CD vorgegebene Blau-grau gehalten, ebenso die Kopfzeilen der für die Ausgabe der Serverinformationen vorgesehenen Elemente (panel). Die Schrift wird in neutralen Farben, i. d. R. schwarz oder in Grautönen angezeigt.

Auch in der CampusGIS V. 2-Website ist der größte Teil für das Kartenfeld vorgesehen. Kartennah darüber sind die Interaktionsschaltflächen platziert. Die an- und ausschaltbaren Daten-

ebenengruppen und die Ergebnisausgabe sind rechts neben dem Kartenfeld angeordnet. Weitere Interaktionsmenüs werden nach Aufruf auf dem Kartenfeld eingeblendet, können aber beliebig verschoben werden. Die Anordnung orientiert sich an der Leserichtung von links nach rechts und zeigt mit der Karte auf der linken Seite die Bedeutung dieses Elements für das System.

Für das CampusGIS-Mobil bedurfte es aufgrund der kleinen Bildschirme diverser Anpassungen. Das Kartenfeld nimmt fast den gesamten zur Verfügung stehenden Platz ein (WESKAMM, 2010). Bedienelemente und Ausgaben werden bei Bedarf über der Karte eingeblendet und verdecken diese bis sie deaktiviert oder durch eine nachfolgende Interaktion ausgeblendet werden.

4.6 Die webgestützten CampusGIS-Anwendungen

Nach den eher technischen Ausführungen sei an dieser Stelle noch einmal daran erinnert, dass das CampusGIS ein raumbezogenes Informationssystem ist, das Studienanfängern, Studierenden, Mitarbeitern und Gästen der Universität zu Köln die Orientierung auf dem Campus und das Zurechtfinden im universitären Alltag erleichtern soll. Um diese Ziele zu erreichen, folgt die Entwicklung des Systems einem modularen Ansatz: Neben Standardanwendungen eines GIS sind spezielle Anwendungen implementiert, die den Nutzer mit umfangreichen raumbezogenen Informationen versorgen können. Durch konsequenten Einsatz moderner WebGIS-Technologie sind sämtliche Anwendungen online und auch mobil nutzbar. In diesem Kapitel werden die in das CampusGIS implementierten Anwendungen beschrieben.

4.6.1 GIS-Standardanwendungen

Die meisten der derzeit nutzbaren GIS stellen eine kleine Anzahl von Grundfunktionen zur Interaktion mit der Karte zur Verfügung. Sie werden als Werkzeuge bezeichnet und durch Anklicken von Schaltflächen aktiviert. Der Mauszeiger übernimmt dann die aktivierte Funktion. Die oftmals auch durch Geoportale wie Google Earth, Routenplanungsdienste oder Navigationsgeräte bekannten Werkzeuge können als Standardanwendungen bezeichnet werden:

- Verändern des Maßstabs (zoom),
- Verschieben der Karte (pan),
- Messen von Distanzen oder Flächen (measure).

Zusätzlich wurden einige Werkzeuge auf Grundlage der Standardanwendungen modifiziert, so dass für das CampusGIS eine erweiterte Werkzeugpalette zur Verfügung steht. Diese CampusGIS-Standardanwendungen sollen im Einzelnen beschrieben werden (Abb. 4.14 und 4.15):

Vergrößern und Verkleinern des Kartenmaßstabs (zoom) Der Kartenmaßstab lässt sich mit den Lupen-Werkzeugen durch Klicken oder Aufziehen eines Rechtecks im Kartenfeld (Abb. 4.14 a, b und 4.15 a, b), mit dem Mauseisbauschlüssel oder durch Bedienen der „+“- oder „-“-Schaltfläche verändern.

Darstellung der letzten Kartenansichten (previous/next extent) Mit einem Mausklick auf den nach links gerichteten Pfeil lässt sich die letzte Kartenansicht anzeigen (Abb. 4.15 d):

Sowohl Maßstab als auch Kartenausschnitt der letzten Darstellung sind gespeichert und über diese Schaltfläche mit einem Mausklick abrufbar. Der jeweils nachfolgende Ausschnitt kann mit der nach rechts zeigenden Pfeiltaste wieder hergestellt werden (Abb. 4.15 e; im CampusGIS V. 1 nicht implementiert).

Darstellung des gesamten Kartenmaterials (full extent) Ein Mausklick auf das Werkzeug mit dem Erdkugel-Symbol (Abb. 4.14 c und 4.15 f) verkleinert den Kartenmaßstab so weit, dass der komplette im System verfügbare Datenbereich dargestellt werden kann. Das CampusGIS zeigt dann das Kölner Stadtgebiet an.

Verschieben der Karte (pan) Das Verschieben der Karte lässt sich nach Aktivieren des Verschiebewerkzeugs realisieren (Abb. 4.14 e und 4.15 c). Dadurch verändert sich der Mauszeiger und die Karte kann durch Anklicken, Halten und Bewegen der Maus verschoben werden. Außerdem können die Pfeile der Windrose in der linken oberen Kartenecke zum Verschieben der Karte angeklickt werden.

Darstellung des Campus Mit einem Mausklick auf das Uni-Zoom-Werkzeug (Abb. 4.14 d und 4.15 i) werden die Umrisskoordinaten des Universitätsgeländes abgerufen. Diese Koordinaten sollen das Kartenfeld für die Campusansicht begrenzen. Der Maßstab der Anzeige ergibt sich, abhängig von der Bildschirmauflösung und Größe des Browserfensters, aus dem für die Karte zur Verfügung stehenden Platz.

Messen von Distanzen oder Flächen (measure) Für das Messen stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung. Die Distanzmessung kann durch Anklicken von Stützpunkten gestartet werden. Für das Messen von Flächen wird ebenfalls mit Stützpunkten die zu ermittelnde Fläche in ein Polygon eingefasst (Abb. 4.15 h; in CampusGIS V. 1 nicht implementiert).

Anzeigen einer Übersichtskarte Mit einem Mausklick auf dieses Werkzeug wird eine Übersichtskarte eingeblendet, in der dar im Kartenfeld dargestellte Kartenausschnitt durch ein rotes Rechteck markiert ist (Abb. 4.15 j; in CampusGIS V. 1 nicht implementiert).

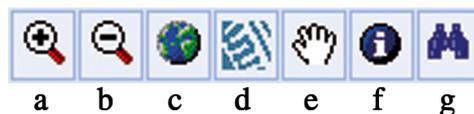


Abb. 4.14: CampusGIS V. 1 – Werkzeuge: Maßstab vergrößern (a), Maßstab verkleinern (b), komplette Kartenansicht (c), Campusausschnitt (d), Karte verschieben (e), Attributabfrage (f), attributive Selektion (g)



Abb. 4.15: CampusGIS V. 2 – Standard-Werkzeuge: Maßstab vergrößern (a), Maßstab verkleinern (b), Karte verschieben (c), vorige Kartenansicht (d), folgende Kartenansicht (e), komplette Kartenansicht (f), Attributabfrage (g), Messen (h), Campusausschnitt (i), Übersichtskarte einblenden (j)

4.6.2 Attributabfragen

Mit dem Werkzeug zur Attributabfrage (Abb. 4.14 f und 4.15 g) lassen sich die Eigenschaften der in der Karte dargestellten Geoobjekte abrufen. Wie in Kap. 4.2 beschrieben, sind verschiedene DB an das CampusGIS angeschlossen, die diese Informationen vorhalten.

Im CampusGIS V. 1 wird mit der Schaltfläche zur Attributabfrage eine zusätzliche Benutzerschnittstelle geöffnet (Abb. 4.16), in der der Nutzer über ein Aufklappmenü (pull down menu) wählen kann zwischen Informationen über

- Gebäude,
- Eingänge,
- Fußwege und
- Einzelhandel.

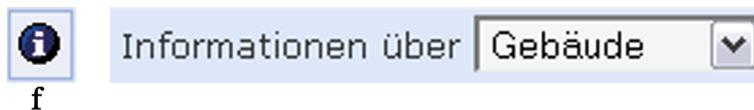


Abb. 4.16: CampusGIS V. 1 – Werkzeugmenü Abfrage

Nach der Auswahl von Gebäuden und dem Anklicken eines Gebäudes in der Karte werden der Gebäudename, die Adresse, ein kleines Foto und eine +-Lupe angezeigt. Durch Anklicken des Fotos wird dieses in einem neuen Fenster groß angezeigt. Das Anklicken der Lupe, fordert einen neuen Kartenausschnitt an, in dem das zuvor angeklickte Gebäude vergrößert dargestellt wird.

Die Attributabfrage von Eingängen führt zur Ausgabe des Gebäudennamens mit Adresse sowie zu Informationen über die Zugänglichkeit. Angezeigt werden die Breite der Eingangstür in cm, und ob der Eingang ebenerdig ist. Bei nicht ebenerdigen Eingängen wird zwischen der ergänzenden Information „eine Stufe“ und „Treppe“ unterschieden. Auch stehen hier ein Gebäudefoto sowie die +-Lupe zum Zentrieren und Vergrößern der Karte zur Verfügung.

Informationen zu Fußwegen können nur für die im Projekt erfassten Fußwege und Trampelpfade auf dem Universitätsgelände, nicht jedoch für die ATKIS-Daten abgerufen werden. Neben der Wegart werden der Oberflächenbelag, die Wegbreite und die Steigung angezeigt (vgl. Kap. 4.2). Diese Informationen liegen in den ATKIS-Daten nicht vor.

Unter dem zur Auswahl stehenden Begriff „Einzelhandel“ sind Einzelhandel, Dienstleistungsunternehmen und Gastronomie zusammengefasst. Die drei Branchengruppen werden in der Karte durch unterschiedlich eingefärbte Symbole dargestellt. Das CampusGIS listet bei der Attributabfrage den Namen des Gewerbes sowie die Branche, die Adresse und die Öffnungszeiten auf.

Im CampusGIS V. 1 muss der Nutzer zur Attributabfrage vorauswählen, auf welche Objektklasse sich die Abfrage bezieht. Die Ausgabe erfolgt dann in der rechten Spalte neben der Karte. Dies stellt sich im CampusGIS V. 2 etwas anders dar: Hier genügt nach Aktivieren des Abfragewerkzeugs (Abb. 4.15 g) ein Mausklick in die Karte. Das CampusGIS erkennt, um welches Geoobjekt es sich handelt und stellt die DB-Ausgabe in einem auf der Karte öffnenden Fenster dar. Die folgenden Objektklassen werden mit den angegebenen Attributen beschrieben:

Gebäude Gebäudename, Straße, PLZ, Ort

Eingänge Gebäudename, Straße, PLZ, Ort, Eingangsbreite in cm, Zugänglichkeit ggf. mit präziser Information wie z. B. Rampensteigung

Fußwege Wegart, Belag, Breite in cm, Steigung in %

Straßen Straßename

Einzelhandel und Dienstleistungen Name, Branche, Adresse, Öffnungszeiten, ggf. zusätzliche Informationen

4.6.3 Attributive Selektion

Unter attributiver Selektion ist die Auswahl von Geoobjekten zu verstehen, deren Eigenschaften vorgegebenen Merkmalen genügen. Das CampusGIS stellt bei der Suche nach Personen, universitären Einrichtungen und Gebäuden eine Verbindung zwischen den ermittelten Ergebnissen und dem Raum dar. Es zeigt dem Anfragenden neben den attributiven Informationen auch das Gebäude an, in dem sich das Büro der gesuchten Person, das Sekretariat bzw. die Geschäftsstelle und damit die Ansprechpartner der gesuchten Einrichtung befinden.

Ähnlich der Attributabfrage (Kap. 4.6.2) öffnet das CampusGIS V. 1 beim Aufruf der attributiven Selektion über das Fernglas-Werkzeug (Abb. 4.14 g) ein Aufklappmenü mit den zur Verfügung stehenden Rubriken, in denen gesucht werden kann. Links daneben ist der Suchbegriff einzugeben und die Anwendung dann durch Anklicken der Schaltfläche „Suchen“ auszuführen (Abb. 4.17).

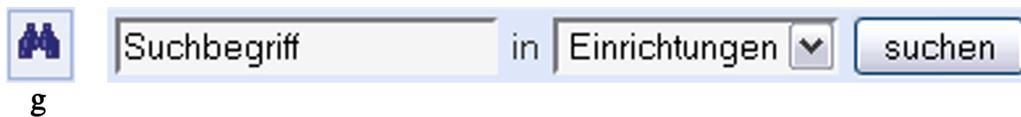


Abb. 4.17: CampusGIS V. 1 – Werkzeugmenü attributive Selektion

Im CampusGIS V. 2 ist diese Anwendung etwas verändert implementiert. Hier wählt der Nutzer bereits beim Aufruf der Anwendung die Suchrubrik durch Anklicken der Schaltfläche

- Gebäudesuche (Abb. 4.18 a),
- Personensuche (Abb. 4.18 b) oder
- Stichwortsuche (Abb. 4.18 c).

Dadurch öffnet sich ein Fenster, in dessen Textfeld der Nutzer den Suchbegriff eingeben muss. Durch Anklicken der in diesem Fenster eingeblendeten Schaltfläche „Suchen“ wird der Suchvorgang dann gestartet.

In der Stichwortsuche sind die universitären Einrichtungen wie Institute, Seminare, Forschungsprojekte etc. mit mehreren verschiedenen Stichworten verknüpft, so dass in vielen Fällen eine verbesserte Trefferquote erzielt werden kann. So findet das CampusGIS V. 1 z. B. bei der Suche nach Geographie in der Rubrik Einrichtungen nur das Seminar für Geographie und ihre Didaktik. In der Rubrik Gebäude werden dagegen die beiden Gebäude Geographie/Rundbau und Geogra-



Abb. 4.18: CampusGIS V. 2 – Werkzeuge zur attributiven Selektion: Suche nach Gebäuden (a), Personen (b), Stichworten (c)

phie/Südbau ausgegeben. Im Gegensatz dazu werden alle drei und noch weitere Ergebnisse im CampusGIS V. 2 über die Stichwortsuche ermittelt: die Textfolge Geographie ist im Namen des Seminars für Geographie und ihre Didaktik vorhanden; zudem ist sie in der Stichwort-DB sowohl mit dem Geographischen Insitut und seinen Gebäuden, den dazugehörigen Einrichtungen und Forschungsprojekten als auch mit weiteren mit der Geographie verbundenen Einrichtungen wie z. B. dem Wirtschafts- und Sozialgeographischen Insitut verknüpft.

Beide Versionen des CampusGIS geben alphanumerische Informationen zu den gesuchten Begriffen in der rechten Spalte neben der Karte an. Sind Verknüpfungen zu Gebäuden in der DB vorhanden, werden die Gebäudeadresse ergänzt und das Gebäude – nach Anklicken der bei der Ergebnisausgabe dargestellten Lupe – in der Karte farblich markiert (Abb. 4.19).

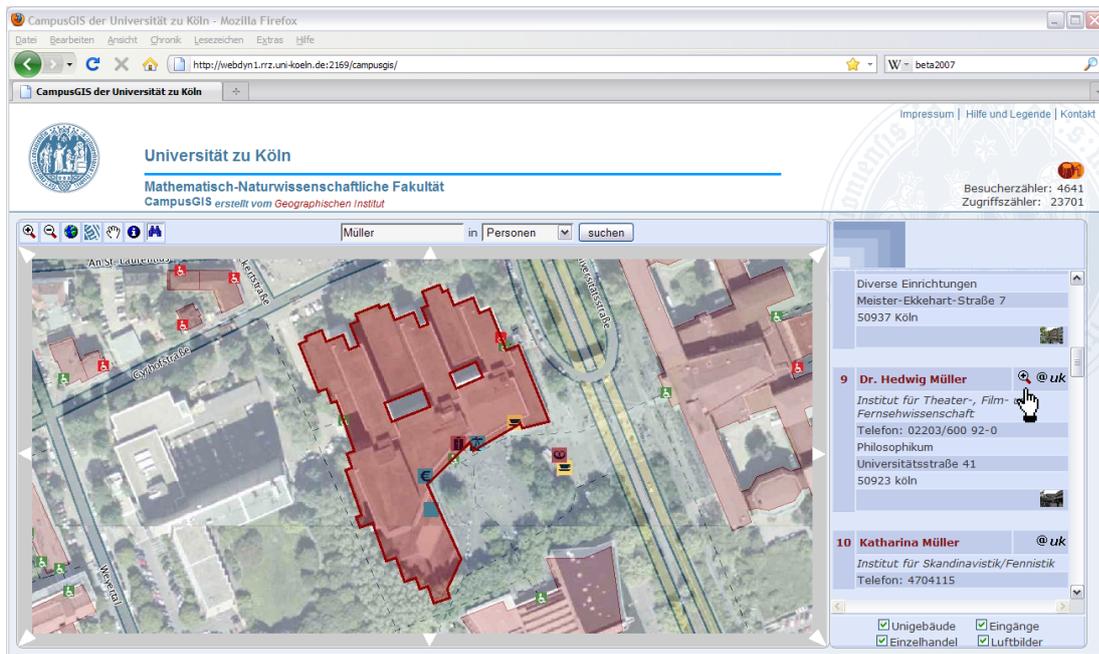


Abb. 4.19: CampusGIS V. 1 (AJAX) – Personensuche, alphanumerische Ausgabe und kartographische Hervorhebung des Bürogebäudes einer aus der Ergebnisliste ausgewählten Person (<http://www.campusgis.de> – Zugriffsdatum: 21.05.2010)

4.6.4 Routing

Die grundlegenden WebGIS-Funktionen, die bisher beschrieben wurden, stehen weitestgehend in beiden CampusGIS-Versionen zur Verfügung, auch wenn sich die im Hintergrund laufenden Systemarchitekturen fundamental unterscheiden, wie Kap. 4.4.2 und 4.5.2 zeigen. Eine bedeutende Erweiterung beinhaltet nun das CampusGIS V. 2: Es bietet die Berechnung des kürzesten Fußweges zwischen den vom Nutzer vorgegebenen Orten, optional auch mit Etappenorten. Neben normalen Fußwegen können für gehbehinderte Personen spezielle Routingalgorithmen aufgerufen werden, über die Wege ohne Treppen bzw. entsprechend der DIN 18024 und 18025 ohne Rampen mit einer Steigung von mehr als 6 % generiert werden. Von diesem Angebot profitieren z. B. Senioren und Rollstuhlfahrer, aber auch Eltern mit Kinderwagen, Radfahrer oder Reisende mit Gepäck.

Die Wahl der Routinganwendung wird in diesem adaptierbaren System (Kap. 2.6.1) also durch die Persönlichkeitsmerkmale des Nutzers bedingt. Es stehen die folgenden drei verschiedene Werkzeugschaltflächen bereit:

- Fußweg (Abb. 4.20 a),
- Fußweg ohne Treppen (Abb. 4.20 b),
- Fußweg ohne Treppen und Rampen mit mehr als 6 % Steigung (Abb. 4.20 c).

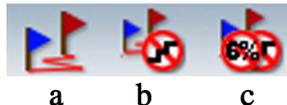


Abb. 4.20: CampusGIS V. 2 – Werkzeuge zum Routing: Fußweg (a), Fußweg ohne Treppen (b), Fußweg ohne Treppen und Rampen mit mehr als 6 % Steigung (c)

Nach dem Aufrufen einer der Routinganwendungen über die entsprechende Schaltfläche öffnet sich ein Fenster, das die Eingabe mindestens zweier Orte als Start- und Zielpunkt fordert. Eine Erweiterung um Etappenorte ist möglich. Der Nutzer aktiviert das Werkzeug zur interaktiven Eingabe der Routenorte und kann dann diese Orte per Mausklick in die Karte setzen. Sie werden mit roten Reißzwecken symbolisiert und im Eingabefenster aufgelistet. Durch Anklicken der Orte in diesem Fenster können sie einzeln gelöscht werden, falls dem Nutzer bei der Bedienung ein Fehler unterlaufen ist. Über die Schaltfläche „Weg berechnen“ wird die Routenberechnung gestartet.

Für den Nutzer unsichtbar wird der Algorithmus aufgerufen, der die eingegebenen Orte als Routenorte berücksichtigt und den gewünschten Weg berechnet. Der ermittelte Fußweg, ggf. ohne Treppen oder ohne Treppen und steile Rampen, wird als roter Pfad auf der Karte visualisiert (Abb. 4.21) und eine Berechnung des Weges mit Richtungsangaben, Entfernungs- und Zeitberechnung bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3 km/h ausgegeben.

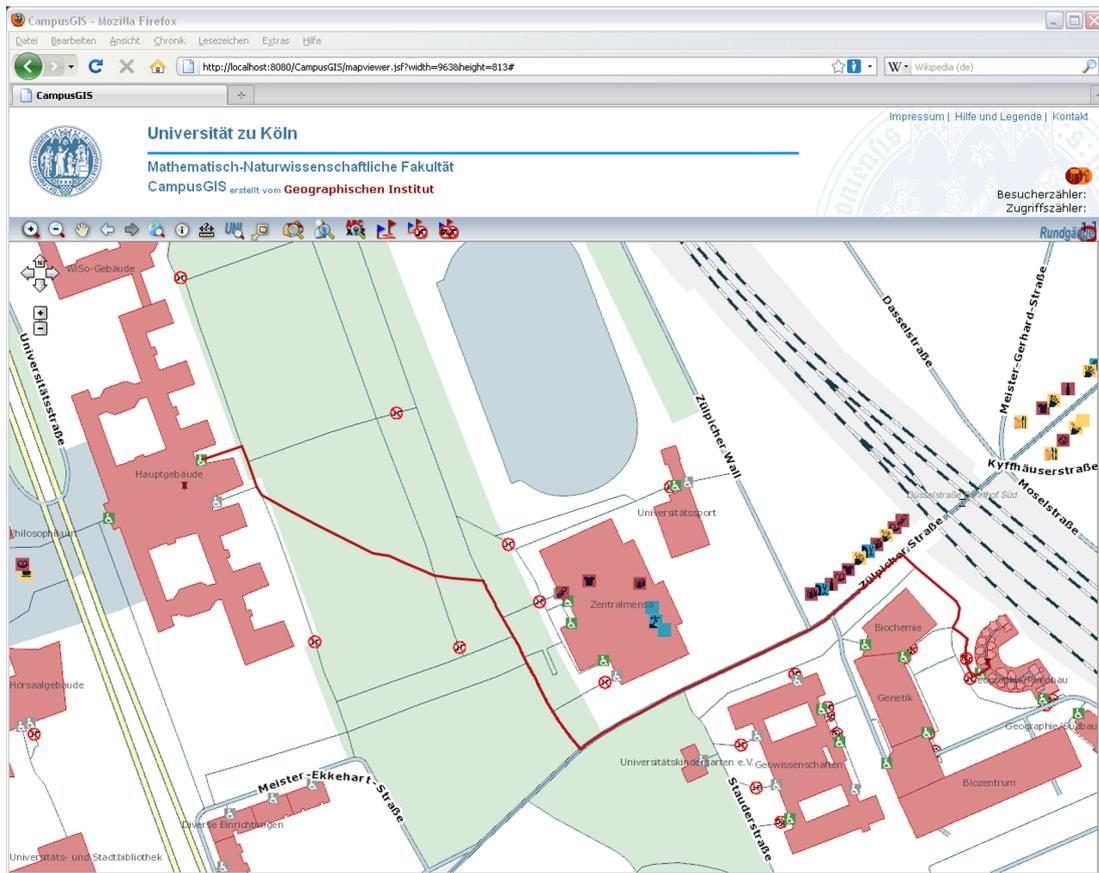


Abb. 4.21: CampusGIS V. 2 – Bester Fußweg (Option: ohne Treppen; Rampen auch mit mehr als 6% Steigung erlaubt) vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau (eigene Darstellung)

4.6.5 CampusRundgänge

Eingebunden in die Abteilung Koordinierungsstelle Wissenschaft + Öffentlichkeit¹⁰ der Universität zu Köln ist der Arbeitsbereich Gasthörer- und Seniorenstudium¹¹. Seit 1988 ist diese „nicht berufsorientierte Beschäftigung mit den Wissenschaften als vollwertige Möglichkeit des akademischen Studiums“ (FREIMUTH, 2009, S. 7) an der Universität zu Köln etabliert und bietet in verschiedenen Arbeitskreisen das Lernen und Forschen zu Schwerpunktthemen auch für Senioren. Aus dem Arbeitskreis „Köln erforschen“ bildete sich im Jahr 2008 eine kleine Gruppe, die sich zum Ziel setzte, universitätsbezogene Rundgänge zu verschiedenen Themen anzubieten. In einer Kooperation mit Mitarbeiterinnen des Geographischen Instituts soll die dabei entstandene, umfangreiche lose Blattsammlung zu einem Informationsmedium über den Campus ausgearbeitet werden. Neben einem Falblatt mit einer Karte des Campus und den darin markierten Rundgängen sowie kurzen inhaltlichen Informationen bietet es sich an, das CampusGIS um

¹⁰ <http://www.koost.uni-koeln.de/>

¹¹ <http://www.koost.uni-koeln.de/gasthoerersenioren.html>

das Modul CampusRundgänge zu erweitern. Aus diesem Projekt entwickelte sich die Idee, verschiedene Anwendungen für verschiedene Nutzergruppen zu entwickeln. Basierend auf dieser Plattform werden die Vorteile eines WebGIS genutzt:

- Der Kartenmaßstab ist interaktiv und dynamisch veränderbar. Es ist sowohl eine Übersicht der gesamten Rundgänge als auch die vergrößerte Darstellung der einzelnen Standorte möglich.
- Jeder Rundgang ist mit einem den Rundgang beschreibenden und bebilderten Text verknüpft. Ebenso kann zu jedem Standort ein ausführlicher Text mit verschiedenen Abbildungen wie zeitgenössische Photographien und Dokumente aufgerufen werden.
- Die interaktive Bedienung erlaubt dem Nutzer, sich unabhängig einer vorgegebenen Reihenfolge über die einzelnen Standorte zu informieren.
- Die als Pfade auf der Karte visualisierten Rundgänge und die einzelnen Standorte sind mit den beschreibenden Texten und Abbildungen verknüpft und werden immer mit Bezug zueinander dargestellt.

Jeder Rundgang setzt sich aus ca. sechs bis zehn Standorten zusammen. Diese Standorte sind nummeriert und thematisch farblich unterschieden. In der Karte wird jeder Standort durch einen farbigen Kreis mit weißer Nummer dargestellt. Die Standorte sind durch einen Pfad in der gleichen Farbe verbunden, der als Vorschlag für einen Rundgang mit dem Besuch aller zu diesem Rundgang gehörenden Standorte benutzt werden kann.

Umgesetzt ist bisher der Rundgang 1, der sich der Geschichte der Universität zu Köln widmet. Er besteht aus neun Standorten, von denen sich sechs über das heutige Universitätsgelände verteilen (Abb. 4.22). Die ersten beiden Standorte befinden sich in der Nähe des Doms, der dritte in der Südstadt. Der Kontext der historischen Gegebenheiten spiegelt sich in der Positionierung der Standorte wieder, die sich den im Folgenden benannten Epochen widmen:

1. An der Rechtschule – Gründung der Universität 1388
2. Artistenfakultät – Auflösung der Universität 1798
3. Handelshochschule am Römerpark – Zwischen Schließung und Wiedereröffnung 1798-1919
4. Lindenburger Allee – Die Klinik auf der Lindenburg seit 1905
5. Alphons-Silbermann-Weg – Die Neugründung der Universität 1919
6. Albertus-Magnus-Platz – Die Universität in der NS-Zeit
7. Aula im Hauptgebäude der Universität – Die Universität im Wiederaufbau
8. WISO-Hochhaus – Die moderne Universität 1960-1980
9. Hiroshima-Nagasaki-Park – Die moderne Universität 1980 bis heute

Für das Aufrufen der CampusRundgänge steht eine eigene Schaltfläche (Abb. 4.23) zur Verfügung, mit der das für die Rundgänge veränderte Webdesign aufgerufen wird (Kap. 4.5.3). Die dort zur Verfügung stehenden CampusGIS-Standardwerkzeuge werden durch die Schaltfläche „Standort“ erweitert (Abb. 4.24). Ist dieses Werkzeug aktiviert, genügt ein Mausklick auf einen der Standorte in der Karte, um die zugehörigen Standortinformationen abzurufen (Abb. 4.25).

Auch das Modul CampusRundgänge selbst ist modular aufgebaut. Die datenbankgestützte Speicherung aller Inhalte ermöglicht nicht nur eine unkomplizierte Pflege der vorhandenen Inhalte,

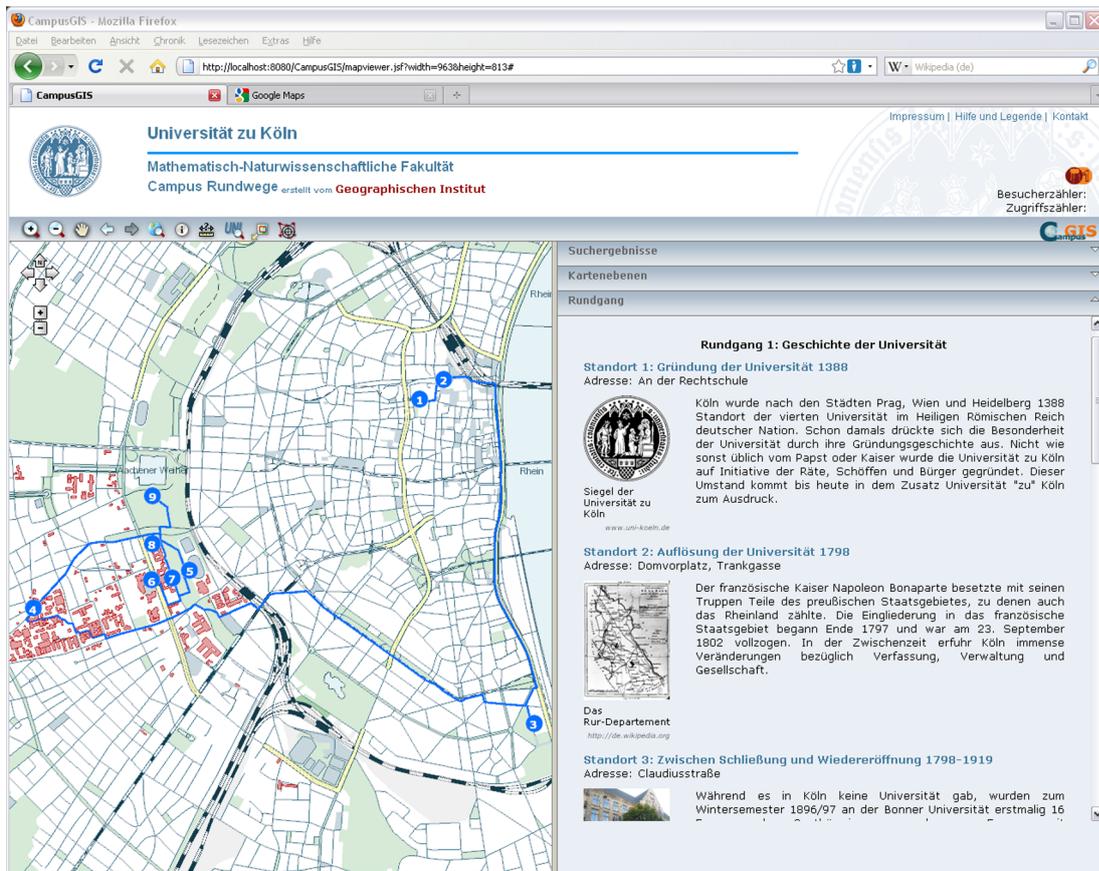


Abb. 4.22: CampusRundgang 1 – Geschichte der Universität zu Köln (eigene Darstellung)

sondern auch, jederzeit ohne großen Aufwand neue Rundgänge zu erstellen. Als weitere CampusRundgänge im Aufbau bzw. in Planung befinden sich derzeit:

- CampusRundgang 2 – Architektur der Universität zu Köln (im Aufbau)
- CampusRundgang 3 – Berühmte Forscherinnen und Forscher
- CampusRundgang 4 – Bedeutende Institute und Einrichtungen
- CampusRundgang 5 – Die interessantesten Standorte der CampusRundgänge 1–4

Auch sind bereits Ideen für weitere Themen vorhanden, so z. B.:

- CampusRundgang 6 – Zentrale Einrichtungen der Universität - für Studienanfänger
- CampusRundgang 7 – Studienfächer in Köln



Abb. 4.23: Schaltfläche CampusRundgänge



Abb. 4.24: Schaltfläche Standortbeschreibung

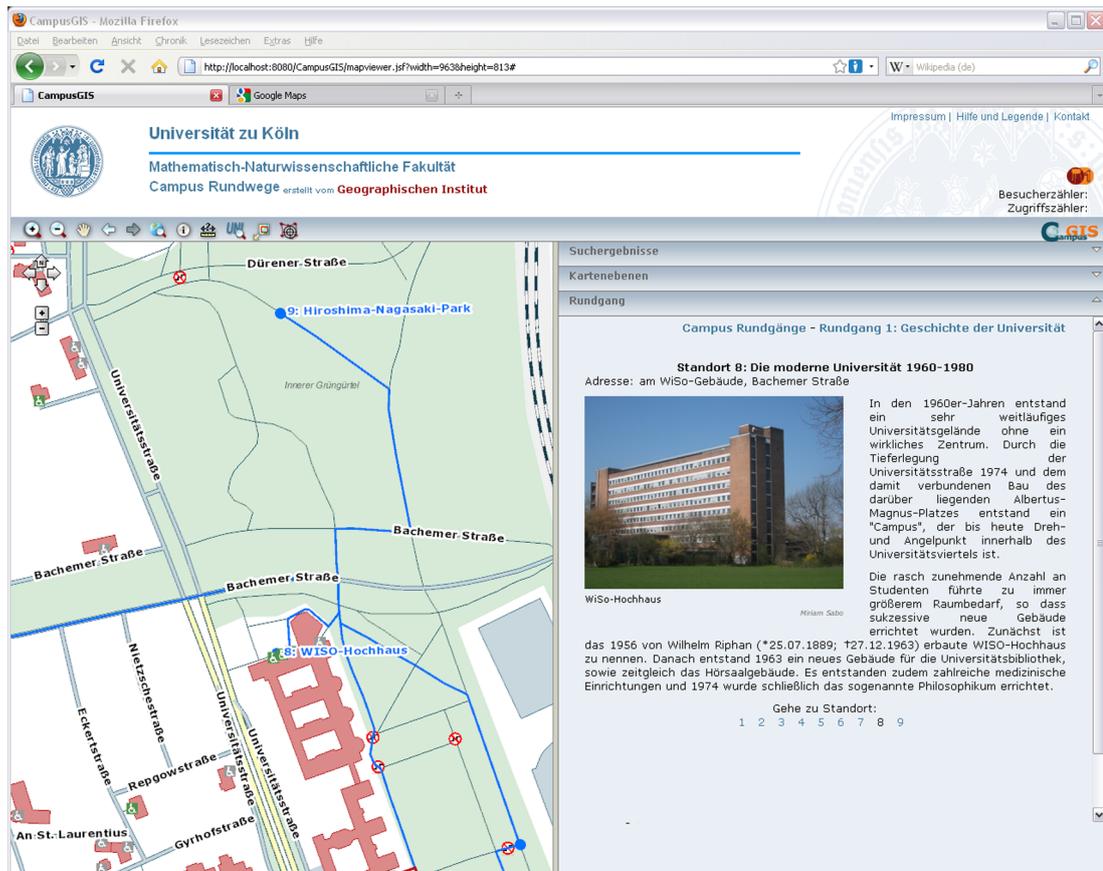


Abb. 4.25: CampusRundgang 1, Standort 8 – Die moderne Universität 1960–1980 (eigene Darstellung)

4.6.6 Mobiles CampusGIS

Die Adaption des CampusGIS V. 2 zur Nutzung auf mobilen Endgeräten erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit und ist in WESKAMM (2010) beschrieben. Das CampusGIS-Mobil greift auf Daten und Dienste des CampusGIS V. 2 zurück. Es bietet neben den CampusGIS-Standardanwendungen sowie der Attributabfrage und der attributiven Selektion auch die Routenberechnung für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen.

Das Webdesign und die kartographische Visualisierung wurden für die Darstellung auf den kleinen Bildschirmen mobiler Endgeräte optimiert: Die Karte nimmt als bedeutendstes Element der Anwendung schon beim Starten des CampusGIS-Mobil den größten Teil der zur Verfügung stehenden Bildschirmfläche ein. Darüber sind die wichtigsten der CampusGIS-Standard-Schaltflächen angeordnet, die aufgrund der klaren und aufs Wesentliche reduzierten Symbole intuitiv zu bedienen sind (Abb. 4.26):

- Die Schaltfläche „i“ dient der Attributabfrage. Mit aktiviertem Abfragewerkzeug können Namen und Adresse der Universitätsgebäude abgerufen werden. Zusätzlich stehen zwei

Schaltflächen zur Verfügung, über die das Gebäude als Start- oder Zielort für eine Routenberechnung verwendet werden kann.

- Die „-“-Lupe verkleinert den Kartenmaßstab stufenweise.
- Mit dem Globus-Werkzeug wird der Campus ins Zentrum der Kartenansicht geholt.
- Die „+“-Lupe vergrößert den Kartenmaßstab stufenweise.
- Mit aktivierter Pfeil-Schaltfläche lässt sich die Karte verschieben.

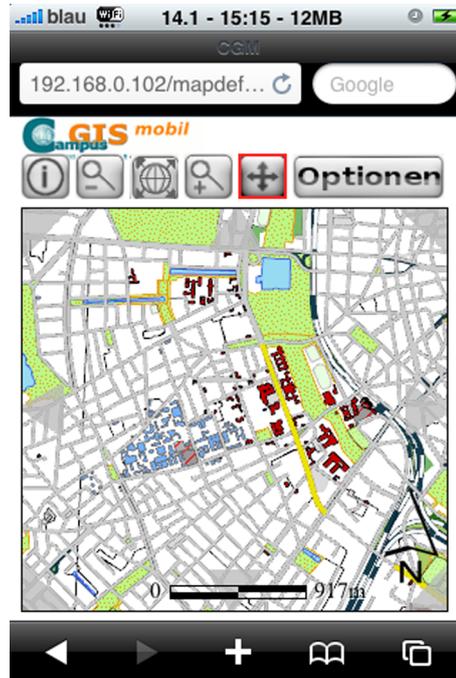


Abb. 4.26: CampusGIS-Mobil – Startansicht (WESKAMM, 2010, S. 76)

Über „Optionen“ lassen sich weitere Schaltflächen aufrufen, die über der Karte eingeblendet werden, bis eine der Schaltflächen betätigt und dadurch eine weitere Benutzerschnittstelle geladen wird. Zur Verfügung stehen:

- Suche,
- Standort,
- Route,
- Legende,
- Hilfe.

Mit dem Aufruf der Suche werden die Methoden der attributiven Selektion genutzt. Ähnlich der Benutzerschnittstelle des CampusGIS V. 1 muss der Nutzer spezifizieren, ob er eine Person oder ein Gebäude sucht und den Namen in das Textfeld eintragen. Mit einem Mausklick „Los!“ wird die Suche gestartet. Kurz darauf werden die Ergebnisse angezeigt.

Über Schaltflächen lässt sich das ermittelte Gebäude, das entweder über die Gebäudesuche direkt abgefragt wurde, oder als Bürogebäude bei der Personensuche ermittelt wurde,

- auf der Karte anzeigen,
- als Startpunkt der Routenberechnung oder
- als Ziel der Routenberechnung auswählen.

Über die Schaltfläche „Standort“ kann sich der Nutzer seinen Standort auf der Karte anzeigen lassen. Diese Funktion erleichtert den mobilen Nutzern die Orientierung.

Die Routing-Anwendung lässt sich über die Schaltfläche „Route“ starten, mit der eine neue Benutzerschnittstelle geladen wird (Abb. 4.27). Der Nutzer kann zwischen der Berechnung eines Wegs für Fußgänger oder Rollstuhlfahrer wählen. Bei der Berechnung für Rollstuhlfahrer steht eine erweiterte Auswahl zur Verfügung, durch die nicht nur Treppen, sondern auch Rampen mit mehr als 6% Steigung als Barrieren angesehen und Alternativrouten gesucht werden. Für die Bestimmung des Start- und Zielorts kann aus den drei folgenden Möglichkeiten gewählt werden:

Aktueller Standort integriert die durch das CampusGIS-Mobil ermittelte aktuelle Position des Nutzers,

Auf Karte wählen ermöglicht dem Nutzer, den Ort auf der Karte einzutragen,

Suche nimmt das durch die zuvor beschriebene Suche ermittelte Gebäude in die Routinganwendung auf.



Abb. 4.27: CampusGIS-Mobil – Benutzerschnittstelle Routing (WESKAMM, 2010, S. 81)

Das zu Beginn der Anwendung rote Feld zur Standorteingabe wechselt auf grün, sobald eingegebene Routenorte vom System angenommen wurden (Abb. 4.27). Nach der Routenberechnung mit den vorgegebenen Parametern gibt das CampusGIS-Mobil eine Karte aus, auf der die ermittelte Route als Pfad dargestellt ist (Abb. 4.28)



Abb. 4.28: CampusGIS-Mobil – Berechnete Route (WESKAMM, 2010, S. 82)

Wie in den letzten Abschnitten ersichtlich, ist die Funktion der automatischen Standortbestimmung an verschiedenen Stellen im CampusGIS-Mobil implementiert. Das System nutzt dafür die Geolocation-API (Kap. 3.5.2) und ermittelt je nach technischer Ausstattung des mobilen Endgeräts und, wenn der Nutzer dem zustimmt, den Standort über GPS, IP-Adresse, W-LAN-MAC-Adresse oder GSM-Verfahren (WESKAMM, 2010). Die aktuelle Position des Nutzers wird bestimmt und in das System integriert. Damit bietet das CampusGIS V. 2 echte ortsbezogene Dienste an.

4.6.7 Gebäude- und Liegenschaftsverwaltung

Die Universität zu Köln ist, wie in Kap. 2.1.2 dargestellt, eine große Universität mit vielen Gebäuden. Zahlreiche Institute und Einrichtungen innerhalb der Universität verteilen sich auf mehrere Gebäude. Die Universität zu Köln verfügt über eigene Liegenschaften und zusätzlich hat das Land NRW mit Unterzeichnung der Zielvereinbarung zum Modellversuch „Dezentrales Liegenschaftsmanagement“ im Jahr 2008 Grundstücke und Gebäude an die Universität zu Köln zur eigenverantwortlichen Verwaltung übertragen. Während des Modellversuchs, der voraussichtlich bis Ende 2010 läuft, soll ein zukunftsfähiges Modell zum professionellen und eigenverantwort-

lichen Betreiben von Liegenschaften entwickelt werden, das auch auf die anderen Hochschulen des Landes übertragbar sein soll (BOHLMANN, 2008).

Innerhalb der Universitätsverwaltung ist das Dezernat 5 für das Gebäude- und Liegenschaftsmanagement verantwortlich, das sich als Dienstleister und direkter Interessensvertreter aller Forschungs- und Lehrinrichtungen sieht. Es hat die Aufgabe, „individuelle, wirtschaftliche sowie funktional optimale Lösungen bei Berücksichtigung des Gesamtinteresses der Universität zur baulichen Weiterentwicklung zu schaffen“ und das Ziel, „eine qualifizierte Forschung, eine engagierte Lehre und ein erfolgreiches Studium zu fördern“ (UZK, 2009c). Die Abteilungen des Dezernats sehen die Eigenverantwortung als Chance, die Struktur der Universität zu Köln zu gestalten und Entwicklungspotentiale zu erschließen. Dem Dezernat liegen analoge sowie vereinzelt digitale Gebäudepläne vor. Ein Raumbezug und eine Verknüpfung z. B. mit der Gebäudedatenbank (Kap. 3.3.1) existieren bisher nicht.

Die strategische Strukturplanung beinhaltet u. a. strukturelle Analysen in den Bereichen Bebauung, Infrastruktur, Frei- und Grünflächen sowie Verkehr (UZK, 2009d). Diese sind als Geoobjekte im CampusGIS integriert und lassen sich daher verwenden, um raumbezogene Analysen rechnergestützt durchzuführen. Sowohl die Immobiliensituation als auch die Verteilung von Gebäuden und Freiflächen auf dem Universitätsgelände werden durch die räumliche Visualisierung im GIS sichtbar und verständlich.

In einem Pilotprojekt wurden Etagenpläne der Gebäude Geographie/Rundbau und des Universitätshauptgebäudes als CAD-Zeichnungen in das CampusGIS integriert, um diese detaillierten technischen Zeichnungen im räumlichen Kontext abzubilden (Abb. 4.29). Neben der Ableitung von Rauminformationen (Kap. 4.2.1) dienen diese Zeichnungen von der Planung eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus hinweg, insbesondere bei Nutzungsplanung und -änderungen, aber auch bei Umbaumaßnahmen, als Informationsgrundlage. Der durch das GIS hergestellte Raumbezug erleichtert die Orientierung. Durch die Integration in das webgestützte CampusGIS GIS kann der Zugriff standortunabhängig gewährleistet werden.

In Verbindung mit den in Kap. 4.6.6 beschriebenen Möglichkeiten des CampusGIS-Mobil können die Informationen darüber hinaus als ortsbezogene Dienste über mobile Endgeräte in direkter Nähe zum Objekt abgerufen werden. Dies ist sinnvoll und hilfreich, wenn Mitarbeiter der Verwaltung oder von ihnen beauftragte Handwerksunternehmen z. B. die genauen Leitungspläne der Ver- und Versorgungsnetze vor Ort einsehen müssen, um gebäudetechnische Arbeiten durchzuführen.

Damit kann das CampusGIS das als FM (facility management) bezeichnete „strategische Konzept zur Bewirtschaftung, Verwaltung und Organisation aller Sachressourcen innerhalb eines Unternehmens“ (NÄVY, 2006, S. 3) unterstützen und darüber hinaus beispielhaft aufzeigen, welchen Nutzen die raumbezogene Analyse und Visualisierung eines WebGIS innerhalb eines CAFM-Systems darstellen kann.

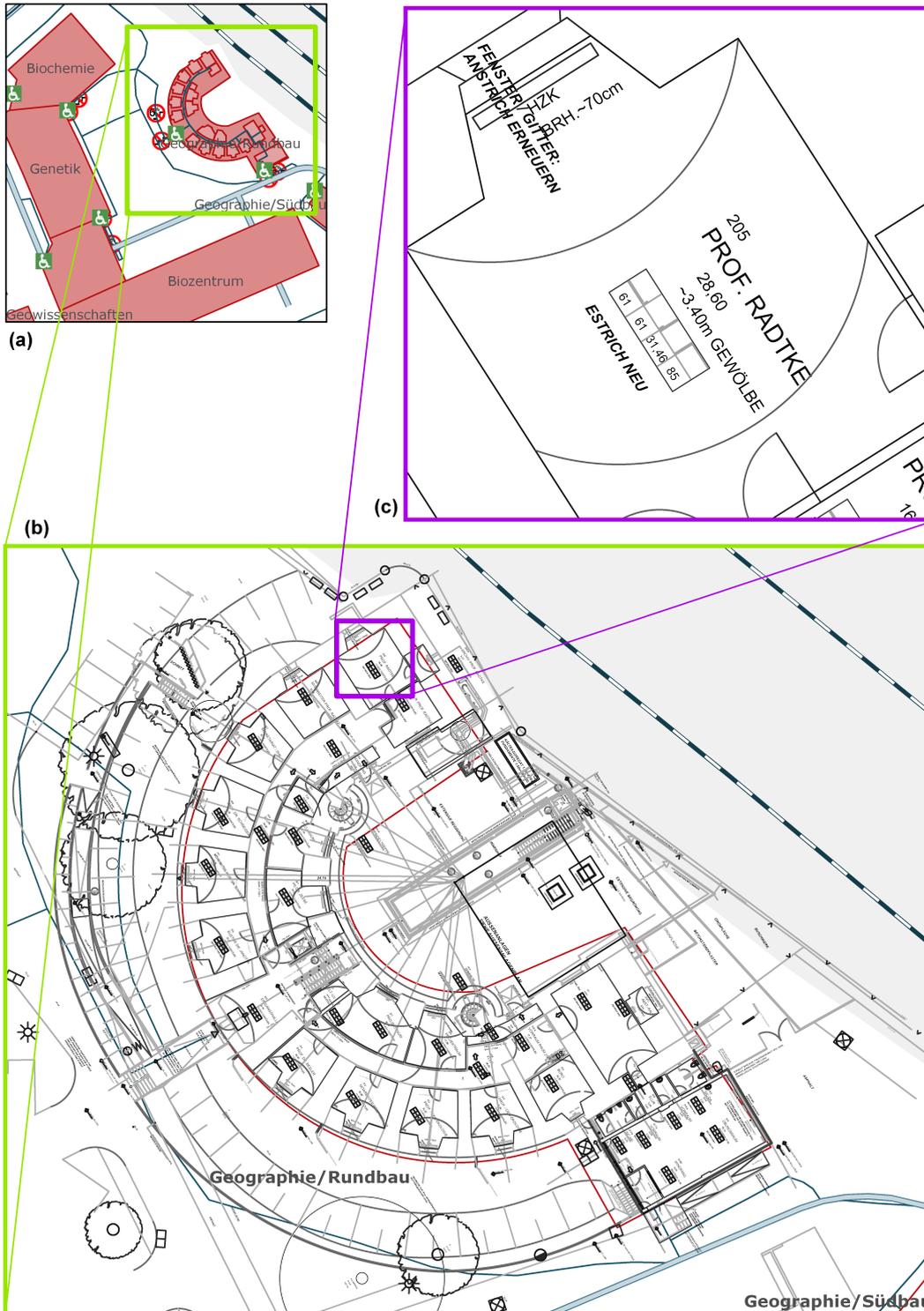


Abb. 4.29: CampusGIS – Darstellung der CAD-Zeichnung Geographie/Rundbau mit Übersichtsansicht zur Orientierung (a), Gebäudeansicht (b) und Detailansicht (c) (eigene Darstellung)

4.6.8 CampusGIS-3D

Das im Rahmen einer Diplomarbeit erstellte CampusGIS-3D zeigt die Gebäude der Universität zu Köln im Klötzchenmodell. Die 3D-Gebäudedaten verbessern die Raumwahrnehmung des Nutzers (HENNIG, 2008) und erleichtern die Orientierung in der Realität. Dies gilt um so mehr, je höher der Feinheitsgrad der Darstellung ist (vgl. Kap. 3.2.5). Mit fotorealistischen Wandtexturen und Innenraum-Modellen lässt sich der Nutzen für die Orientierung weiter verbessern.

Wie in Kap. 3.2.5 bereits erläutert, wird die dreidimensionale Modellierung zudem für verschiedenste räumliche Analysen herangezogen. Ein Stadtmodell mit einem höheren Feinheitsgrad, bei dem auch die Dachflächen sowie benachbarte bzw. beschattende Vegetation auf der Basis von LiDAR-Daten modelliert wurden, wurde z. B. zur Ermittlung solarer Dachpotentiale herangezogen (KASSNER et al., 2008). Mit der Simulation der Sonneneinstrahlung lässt sich die Rentabilität von Solarthermie- und Photovoltaikanlagen zur Energiegewinnung abschätzen. Dies wurde, ebenfalls im Rahmen einer Diplomarbeit, exemplarisch für einige Universitätsgebäude von KASSNER (2007) untersucht.

Das 3D-Modell wird mit einem 3D-fähigen Geoviewer, z. B. mit dem ArcGIS Explorer von ESRI oder in Google Earth visualisiert. In Abb. 4.30 ist das Modell in ArcGIS Explorer mit Blick aus Richtung Nordwest über den Albertus-Magnus-Platz zur Front des Hauptgebäudes dargestellt. Nach dem Öffnen von ArcGIS Explorer (Build 500; Download: 19.05.2009) ist unter File/Open.../Servers eine neue Verbindung zum ArcGIS Server aufzubauen¹². Damit im Verzeichnis CampusGIS auch die 3D-Dienste angezeigt werden, wird bei „Show of type: Map and Globe Services“ ausgewählt. Ein Doppelklick lädt den Globe Service CampusGIS-3D in den Viewer. Mit einem Rechtsklick auf den Eintrag in der Inhaltsliste (Contents) und dem Anklicken von „Zoom to Layer“ dreht sich der virtuelle Globus und fokussiert auf die CampusGIS-Daten. Je nach Voreinstellung und Maustastenbelegung lässt sich der Maßstab z. B. durch Drehen des Mauseisens verändern und durch Halten der linken Maustaste, während die Maus bewegt wird, die Karte verschieben. Mit gedrücktem Mauseisen und Bewegen der Maus wird die Kartensicht gekippt, so dass die Gebäude dreidimensional dargestellt werden. So lassen sich die Karte navigieren und die Gebäude der Universität virtuell von allen Seiten aus der Nähe anzeigen.

Das Klötzchenmodell wurde ebenfalls im Rahmen der Diplomarbeit von HENNIG (2008) in das KMZ-Datenformat überführt, so dass sich das 3D-Modell auch in Google Earth darstellen lässt (Abb. 4.31). Verfügbarkeit und Bekanntheit dieses Virtuellen Globus sowie die dort vorhandenen Daten werden so zur erweiterten Visualisierung genutzt. Vorhandene Texturen, wie z. B. des Unicenters sind in Google Earth veröffentlicht und nicht im Rahmen des CampusGIS generiert worden. Im Vergleich zu Abb. 4.31 zeigt Abb. 4.32 die Verbesserung der Visualisierungsqualität durch eine Erhöhung des Feinheitsgrads mittels fotorealistischer Texturierung.

¹² Universitätsintern: <http://134.95.150.173:8399/arcgis/services>

4.6 Die webgestützten CampusGIS-Anwendungen



Abb. 4.30: CampusGIS-3D – Blick aus NW über den Albertus-Magnus-Platz zum Hauptgebäude der Universität zu Köln (eigene Darstellung)

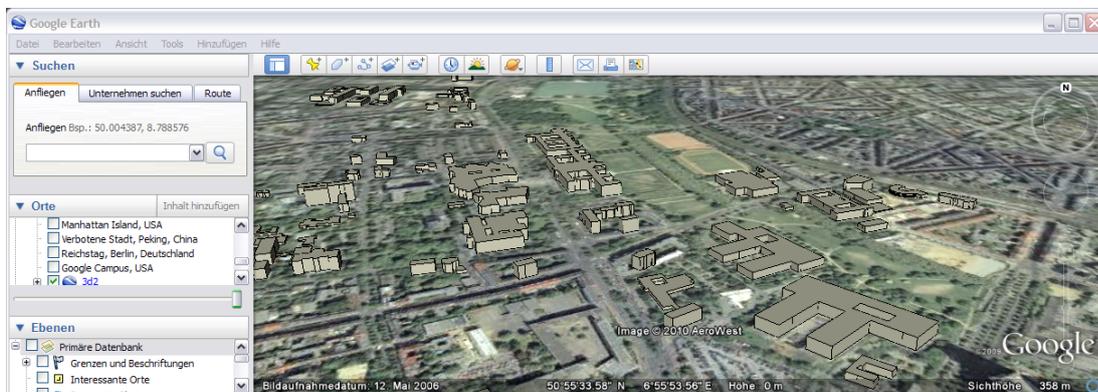


Abb. 4.31: CampusGIS-3D – Klötzchenmodell in Google Earth
(<http://earth.google.de> – Zugriffsdatum: 21.05.2010; Klötzchenmodell aus HENNIG (2008))

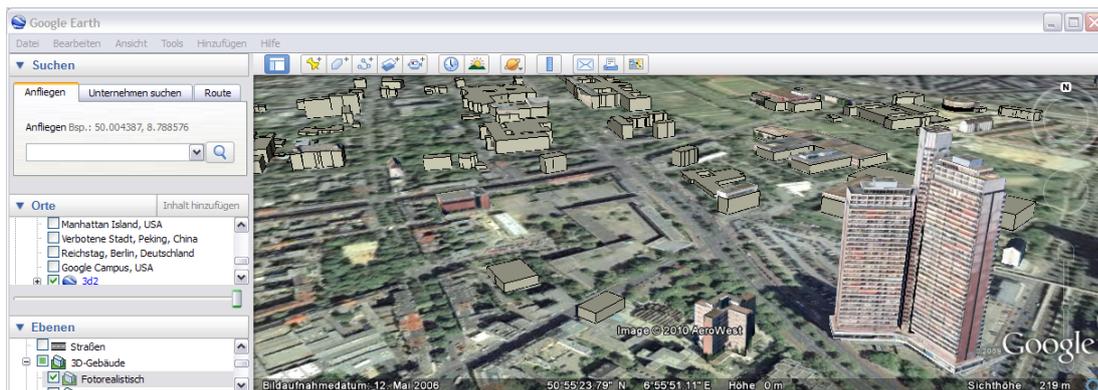


Abb. 4.32: CampusGIS-3D – Klötzchenmodell in Google Earth mit Themenebene 3D-Gebäude, fotorealistisch
(<http://earth.google.de> – Zugriffsdatum: 21.05.2010; Klötzchenmodell aus HENNIG (2008))

5 Diskussion und Bewertung

Nachdem im vorigen Kapitel Aufbau, Entwicklung und Anwendung des CampusGIS beschrieben wurden, werden in diesem Kapitel Bedeutung, Nutzen und Umsetzung des Projekts diskutiert. Dafür werden zunächst ähnliche Angebote anderer Universitäten vergleichend vorgestellt (Kap. 5.1). Neben einer Darstellung der Entwicklungen dieser anderen Systeme, soweit sich dies aus den Beobachtungen der letzten Jahre ableiten lässt, und kurzen Erläuterungen der jeweils eingesetzten Softwareprodukte, auch dies ist meist am Aufbau der Website erkennbar, sollen insbesondere die zur Verfügung stehenden Funktionen der Systeme beschrieben werden. Hervorzuheben sind vier Systeme mit speziellen Funktionalitäten, die mit den Anwendungen des CampusGIS verglichen werden. Auf dieser Grundlage lässt sich das CampusGIS in Kap. 5.2 kritisch bewerten. Anhand ausgewählter Aspekte werden in Kap. 5.3 die technischen und methodischen Ansätze des CampusGIS diskutiert. Kap. 5.4 gibt – in die Schlußbetrachtungen überleitend – einen Einblick in aktuelle und künftige Entwicklungen raumbezogener Anwendungen und ihrer Einsatzmöglichkeiten im universitären Umfeld.

5.1 WebGIS-Angebote anderer Universitäten – ein Überblick

Bei zwei Internetrecherchen in der Anfangsphase der CampusGIS-Entwicklung konnten zunächst im Sommer 2005 sechs ähnliche Projekte anderer Universitäten gefunden werden, ein halbes Jahr später war die Anzahl auf etwa das Doppelte angestiegen. Aktuell (April 2010) stehen zahlreiche Systeme zum Vergleich. Sie unterscheiden sich hinsichtlich Funktionalität und Umsetzung allerdings immens. So sind darunter neben echten WebGIS auch interaktive Karten zu finden, deren statische Objekte mit Datenbanken verknüpft sind. Sie sind von einem WebGIS dadurch abzugrenzen, dass die Karten nicht dynamisch erzeugt werden und Analysen nicht möglich sind. Eine Gegenüberstellung aller Systeme ist aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten nicht sinnvoll. Daher werden im Folgenden ausschließlich die Systeme berücksichtigt, die gleiche oder ähnliche Funktionen wie das CampusGIS bereitstellen. Sie sollten entweder echte WebGIS-Funktionalität wie z. B. Routinganwendungen oder wenigstens GIS-Standardanwendungen, insbes. Attributabfrage oder attributive Selektion für die Universitätsgebäude, anbieten. Dabei ist aktuell festzustellen, dass es zwar mehrere ähnliche, aber in Umfang und Funktionalität nur sehr wenige vergleichbare Angebote anderer Universitäten gibt (vgl. dazu BAASER et al., 2006).

Die aktuelle Internetrecherche zeigt, dass mehr als die Hälfte der 2005/2006 gefundenen Systeme nicht mehr existieren. Das sind z. B. die Angebote der Clemson University in South Carolina¹, sowie der University of Michigan². Beide nutzen inzwischen das Geoportal Google Maps,

¹ <http://www.clemson.edu/campus-map> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

² <http://www.umich.edu/info/mapsAndDirections.html> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

zu dem auch andere Universitäten verlinken, um das Routing anzubieten.

Bei vielen Universitäten haben sich die Website-Adressen geändert. Ein Auffinden ist nur mit erneuter Internetsuche möglich. Sehr nutzerfreundlich ist es dagegen, wenn die WebGIS als Kartendienste den Lageplan (im Englischen Campus Maps) der Universität ersetzen oder ergänzen und deshalb über die Homepage aufzurufen sind. Dies ist die Situation bei z. B.:

- University of Georgia (GA)³,
- Idaho State University (ID)⁴,
- Humboldt-Universität zu Berlin (HU-B)⁵,
- University of Arizona (AZ)⁶,
- University of Maryland (MD)⁷,
- Campus Navigator Technische Universität Dresden (TU-DD)⁸.

Erkennbare Pflege und Weiterentwicklungen gegenüber dem Stand 2005/2006 zeigen die Systeme der

- University of Louisville, Kentucky (KY)⁹,
- University of Oregon (OR)¹⁰,
- DePauw University, Greencastle, Indiana (IN)¹¹.

Das CampusGIS der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TU-FG)¹² sowie der Plan interactif der Université de Lausanne (Planè UNIL)¹³ (TOLARDO und FRUND, 2010) sind seit kurzer Zeit in die Websites der beiden Universitäten integriert und stellen damit Beispiele für sehr junge universitäre WebGIS dar.

Im Folgenden werden vergleichende Beobachtungen zu den ausgewählten Systemen dargelegt (Kap. 5.1.1). Anschließend werden die vier Systeme

- TerpNav Pedestrian Mapping System der University of Maryland,
- Planè UNIL – plan interactif der Université de Lausanne,
- Campus Navigator der TU Dresden und
- Campus GIS der TU Freiberg

detaillierter beschrieben (Kap. 5.1.2). Diese Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie entwe-

³ <http://maps.uga.edu/website/htmlviewer/hyperlink/viewer.htm> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

⁴ <http://giscenter-ims.isu.edu/website/maps/viewer.htm> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

⁵ <http://gis.hu-berlin.de/gis/rc13/layout-new.php?q=1111> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

⁶ <http://iiewww.ccit.arizona.edu/uamap/map.asp> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

⁷ http://www.umbc.edu/aboutumbc/campusmap/map_flash.html – Zugriffsdatum: 31.03.2010

⁸ <http://navigator.tu-dresden.de/navigator/info.xsql?sect=start> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

⁹ http://www.ulcgis.org/Belknap_Map; http://www.ulcgis.org/HSC_Map;

http://www.ulcgis.org/Shelby_Map – Zugriffsdatum: 31.03.2010

¹⁰ <http://geography.uoregon.edu/infographics/wireless/index.html> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

¹¹ <http://www.depauw.edu/visitors/campus-map> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

¹² <http://campusgis.geo.tu-freiberg.de/webgis/frontend/> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

¹³ <http://planete.unil.ch/plan> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

der Routing-Anwendungen anbieten oder Etagenpläne zur Verfügung stellen. Sie dienen dann als Grundlage zur Diskussion des CampusGIS, denn sowohl das Routing als auch die Bereitstellung detaillierter Gebäudeinformationen mit Etagenplänen sind bedeutende und in der Konzeption des CampusGIS der Universität zu Köln berücksichtigte Dienste.

Insgesamt zeigt die Internetrecherche auch, dass es nur sehr wenige nachhaltige WebGIS für Universitäten gibt. Viele der Angebote werden nicht weiter entwickelt und oft nicht einmal gepflegt. Sowohl Universitäten als auch Technische und Fachhochschulen mit Geoinformatik-Instituten oder -Lehrstühlen nutzen in der Regel weder das zur Verfügung stehende Wissen noch die oftmals vorhandenen technischen Ressourcen, um raumbezogene Daten der Universitäten darzustellen oder die eigenen Liegenschaften zu verwalten. Lediglich in kurzen Phasen werden öffentlichkeitswirksame Projekte wie z. B. 3D-Modelle zur Darstellung in Google Earth generiert (WINTER et al., 2009), jedoch oftmals ohne sie wirklich zu Orientierungszwecken oder als Planungsgrundlage zu nutzen.

5.1.1 Universitäre WebGIS mit Standard-Funktionalitäten

In diesem Kapitel werden Systeme ausgewählter Universitäten vorgestellt. Im Fokus liegt dabei eine vergleichende Darstellung der verfügbaren Daten und Anwendungen. So sind z. B. die Universitätsgebäude in allen universitären WebGIS als Themenebene integriert. Ebenso können in der Regel die Attribute zu den Universitätsgebäuden abgefragt oder Gebäude mit speziellen Eigenschaften aus einer Datenbank selektiert werden. Diese Anwendungen kommen gehäuft vor, was als Zeichen ihrer Bedeutung zu werten ist. Die Tab. 5.1 und 5.2 geben eine Übersicht wiederkehrender Themenebenen und Anwendungen und ihrer Verteilung in den Systemen der ausgewählten Universitäten. Manche Universitäten betreiben mehrere WebGIS, von denen hier jedoch nur eines vorgestellt wird: Über Softwareversion, Umsetzung, Funktionalität oder Veröffentlichung lässt sich die Aktualität abschätzen und so das aktuellste Projekt auswählen. Ergänzende, spezielle Informationen, die zusätzlich in statischen Karten, i. d. R. als PDF-Datei, abgerufen werden können, sind in einer Auswahl in den letzten Zeilen der Tabellen genannt.

Alle näher betrachteten Systeme stellen die Verkehrswege und die Grundrisse der Universitätsgebäude dar. Dreidimensionale Darstellungen aller Gebäude in einer Ansicht zeigt einzig der statische Lageplan der University of Maryland (UMD, 2009). Die Verkehrswege sind in der Regel in der Karte beschriftet und die Gebäude mit Gebäude-nummern oder -namen ausgewiesen. Viele Systeme stellen darüber hinaus Parkplätze, ÖPNV-Haltestellen und -Linien sowie Naherholungsgebiete dar. Informationen zu Barrierefreiheit wie Behindertenparkplätze, ebenerdige Gebäudezugänge sowie Aufzüge und behindertengerechte Toiletten in den Gebäuden sind nur in wenigen Systemen integriert. Viele, insbesondere die amerikanischen Universitäten, stellen diese Informationen jedoch auf einem statischen Lageplan zur Verfügung. Eine Einbindung in die interaktive Karte ist besonders dann sinnvoll, wenn ein WebGIS Routing für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen anbietet. Daneben stehen bei vielen Systemen weitere, sehr unterschiedliche Themenebenen bereit, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll.

5 Diskussion und Bewertung

Tab. 5.1: Ausgewählte Themenebenen und Funktionalitäten der universitären WebGIS von Oregon (OR), Idaho (ID), Arizona (AZ), Indiana (IN), Kentucky (KY), Georgia (GA) und Maryland (MD) im Vergleich (eigene Darstellung)

	OR	ID	AZ	IN	KY	GA	MD
Software	Flash	ArcIMS	ArcViewIMS	Flash	ArcIMS	*	Mapnik
online seit	*	*	*	2000	2009	*	*
Aktualisierung	2010	2010	*	2010	2009	*	*
offizieller Lageplan	–	+	+	+	–	–	+
Themenebenen							
- Gebäude	+	+	+	+	+	+	+
- Barrierefreiheit	–	–	+	–	–	+	*1
- Etagenpläne	–	–	–	–	–	–	–
- Verkehr	+	+	+	+	+	+	+
- Parken	+	+	+	–	–	+	+
- ÖPNV	+	+	–	–	–	+	+
- Fahrradrouten	+	–	+	–	–	–	–
- Computerräume	+	–	–	–	–	+	–
- Abdeckung W-LAN	+	–	–	–	–	–	–
- Studentenwohnheime	–	–	–	+	–	–	–
- Telefonzellen	+	–	–	–	–	+	+
- Topographie	–	–	–	–	–	+	–
- Naherholung	+	–	+	+	–	+	+
- Gedenktafeln	–	–	+	+	–	+	–
GIS-Funktionen							
- Maßstab ändern	+	+	+	+	+	+	+
- Karte verschieben	+	+	+	+	+	+	+
- Attributabfrage	+	+	+	+	+	+	–
- attributive Selektion	+	+	+	+	+	+	+
- Messen	+	–	–	–*2	+	+	–
- Hyperlink	–	+	+	+	+	–	+
- Drucken	–	+	+	–	–	–	–
- Routing	–	–	–	–*3	–	–	+
statische Karten (PDF)							
- Barrierefreiheit	+	+	+	–	–	+	+, 3D
- Parken	+	+	+	+	–	+	+, 3D
- Gebäude	+	+	+	+	–	+	+, 3D
+ = ja, vorhanden – = nein, nicht vorhanden * = nicht bekannt *1 = wegen fehlender Legende nicht klar ersichtlich *2 = Fußwegdauer nahe gelegener Gebäude bei Attributabfrage *3 = über Google Maps							

5.1 WebGIS-Angebote anderer Universitäten – ein Überblick

Tab. 5.2: Ausgewählte Themenebenen und Funktionalitäten der universitären WebGIS von Lausanne (UNIL), Dresden (TU-DD), Berlin (HU-B, FU-B), Freiberg (TU-FG) und Köln (UzK) im Vergleich (eigene Darstellung)

	UNIL	TU-DD	HU-B	FU-B	TU-FG	UzK
Software	AGS	CAFM	*	Autodesk	UMN-Mapserver	AGS
online seit	*	2003	*	2001	*	2005
Aktualisierung	*	*	*	2004	*	2010
offizieller Lageplan	+	+	+	-	+	-
Themenebenen						
- Gebäude	+	+	+	+	+	+
- Barrierefreiheit	-	+	-	-	-	+
- Etagenpläne	+	+	-	-	+*2	+*2
- Verkehr	+	+	+	+	+	+
- Parken	+	-	-	-	+	-
- ÖPNV	+	-	+	+	-	+
- Fahrradrouten	-	-	-	-	-	-
- Computerräume	-	-	-	-	-	-
- Abdeckung W-LAN	-	-	-	-	-	-
- Studentenwohnheime	+	-	-	-	-	-
- Telefonzellen	+	-	-	-	-	-
- Topographie	-	-	-	-	-	-
- Naherholung	+	-	+	+	-	+
- Gedenktafeln	-	-	-	-	-	_*3
GIS-Funktionen						
- Maßstab ändern	+	+	+	+	+	+
- Karte verschieben	+	+	+	+	+	+
- Attributabfrage	+	+	+	+*1	+	+
- attributive Selektion	+	-	+	+	+	+
- Messen	-	-	-	-	+	+
- Hyperlink	+	+	+	-	+	+
- Drucken	+	+	+	+	-	-
- Routing	-	+	-	-	-	+
statische Karten (PDF)						
- Barrierefreiheit	+	-	-	-	+	-
- Parken	-	+	-	-	-	+
- Gebäude	+	+	-	+	-	+
+ = ja, vorhanden *1 = funktioniert nicht - = nein, nicht vorhanden *2 = teilweise * = nicht bekannt *3 = vgl. CampusRundgänge						

Die bei der Internetrecherche aufgefundenen universitären WebGIS bestätigen, dass die in Kap. 4.6.1 beschriebenen Funktionalitäten „Ändern des Maßstabs“ (zoom), „Verschieben der Karte“ (pan), „Attributabfrage“ (identify) und „attributive Selektion“ (search) Standardanwendungen sind. Bis auf wenige Ausnahmen werden diese Anwendungen von allen Systemen zur Verfügung gestellt. Attributabfrage und attributive Selektion werden vornehmlich für die Universitätsgebäude angeboten. Alle anderen Geoobjekte oder eine Suche nach Personen oder Einrichtungen ist meist nicht vorgesehen. Als Gebäudeinformationen werden neben der postalischen Adresse die in den Gebäuden untergebrachten universitären Einrichtungen wie Institute, Fakultäten und Abteilungen der Universitätsverwaltungen aufgelistet. Im Allgemeinen können die Websites dieser Einrichtungen vom WebGIS aus mit einem Mausklick aufgerufen werden. Diese Funktionalität ist in den Tabellen als „Hyperlink“ dargestellt.

Werkzeuge zum Messen von Distanzen sind in wenigen universitären WebGIS vorhanden. Etwa ein Drittel der Systeme hat eine Routingfunktion integriert, wobei dafür meist auf die dafür bekannten Geoportale, i. d. R. auf Google Maps, zurückgegriffen wird. Systeme, die spezielles Fußgängerouting anbieten, sind der CampusNavigator der TU Dresden und die UMCP Pedestrian Map (TerpNav Pedestrian Mapping System) der University of Maryland¹⁴.

5.1.2 Universitäre WebGIS mit speziellen Funktionalitäten

Im Folgenden werden die Systeme der Universitäten von Maryland, Lausanne, Dresden und Freiburg näher vorgestellt. Sie repräsentieren die Umsetzung raumbezogener, webgestützter Informationssysteme basierend auf unterschiedlichen Softwareprodukten. Diese Darstellung der Systeme soll nicht einer Bewertung dienen. Dies wäre aufgrund der unterschiedlichen, jeweils zur Verfügung stehenden Anwendungen weder möglich noch sinnvoll. Sie zeigen vielmehr verschiedene Konzepte und geben Beispiele für Vielfalt und Umsetzung raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld.

Dem **TerpNav Pedestrian Mapping System der University of Maryland** liegen Daten des freien Gemeinschaftsprojekts OpenStreetMap (Kap. 2.5.5) zugrunde. Das Projekt ist mit Mapnik¹⁵ umgesetzt und stellt verschiedene raumbezogene Anwendungen zum Auffinden von Orten und Veranstaltungen bereit (Abb. 5.1):

Find Locations gibt bereits bei Eingabe der ersten Buchstaben mögliche Universitätsgebäude vor, aus denen per Mausklick das zu suchende ausgewählt werden kann. Nach Aktivieren der `Find Location`-Schaltfläche wird das Gebäude markiert und in der Karte fokussiert. In einem eingeblendeten Fenster werden ein Foto und ggf. ein Hyperlink zu weiteren Informationen angezeigt.

Find Events Diese Anwendung sollte bei Eingabe einer Veranstaltung entsprechend der Ortsuche reagieren (CIGNA et al., 2009), funktioniert derzeit jedoch nicht.

Start/End Locations berechnet nach Eingabe zweier Routenorte – per Mausklick in die Karte oder durch Eingabe von Gebäudenamen – den kürzesten Weg. Die Route wird als Pfad

¹⁴ <http://seamster.cs.umd.edu:8090/map/index.html> – Zugriffsdatum: 31.03.2010

¹⁵ <http://mapnik.org> – Zugriffsdatum: 01.04.2010

in der Karte angezeigt und die Länge des Weges in Yard angegeben. Dabei werden ggf. vorgegebene Filter berücksichtigt:

Route Filters erlaubt, die bei der Routenberechnung berücksichtigten Wege einzuschränken. So können Routen ohne Stufen, mit angeschrägten Bordsteinkanten oder ohne starke Steigungen berechnet werden.

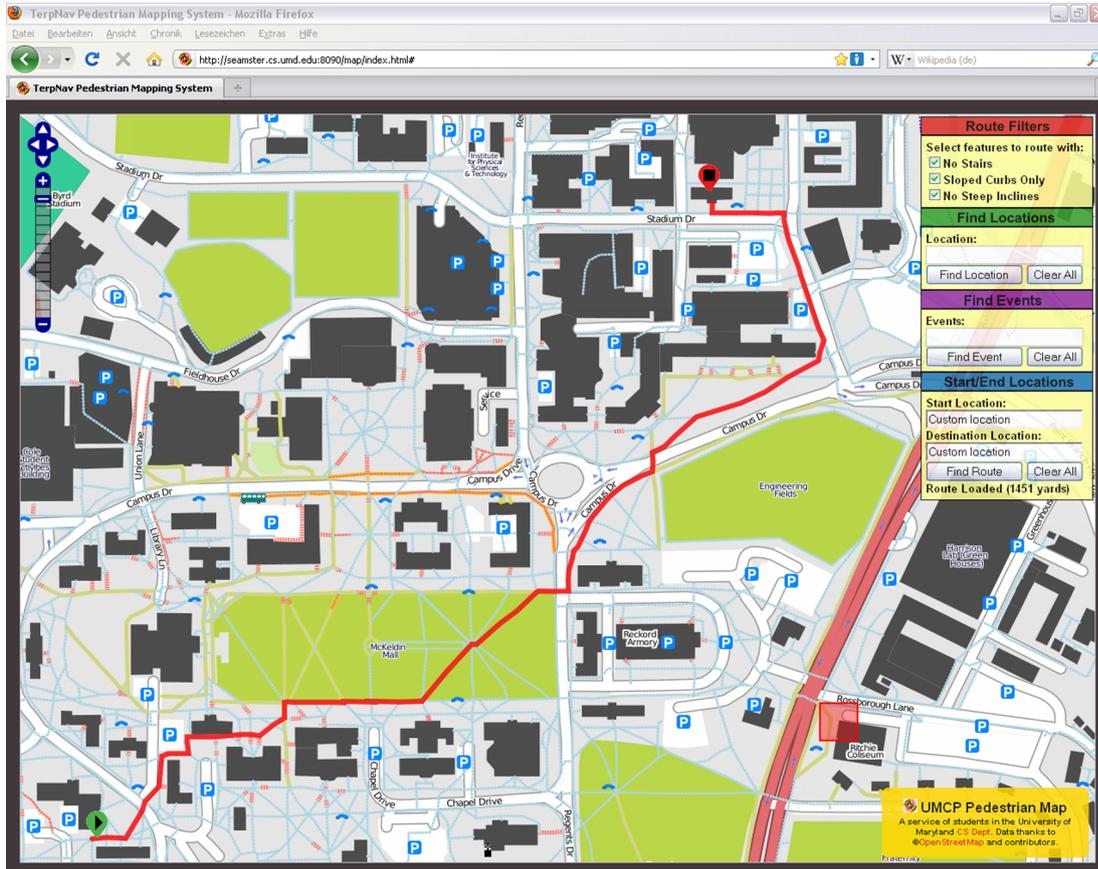


Abb. 5.1: TerpNav Pedestrian Mapping System der University of Maryland
(<http://seamster.cs.umd.edu:8090/map/index.html> – Zugriffsdatum: 15.04.2010)

Der **Campus Navigator der TU Dresden** wird von der Fakultät Bauingenieurwesen entwickelt und betrieben. Die Daten werden seit 1997 mit dem CAFM-System Kopernikus¹⁶ erfasst (TU DD, 2010). Die statischen Karten stellen Verkehrswege und Gebäude mit wenigen Interaktionsmöglichkeiten dar. Mit aktivierten Mauseffekten werden die Namen der Straßen und Gebäude angezeigt, wenn sie mit dem Mauszeiger überfahren werden (Abb. 5.2). Das Anklicken der Gebäude ruft eine verlinkte Website mit weiteren Informationen auf.

¹⁶ <http://www.technosoft.de> – Zugriffsdatum: 07.04.2010
automatische Weiterleitung zu <http://www.conject.com/de/facility-management>

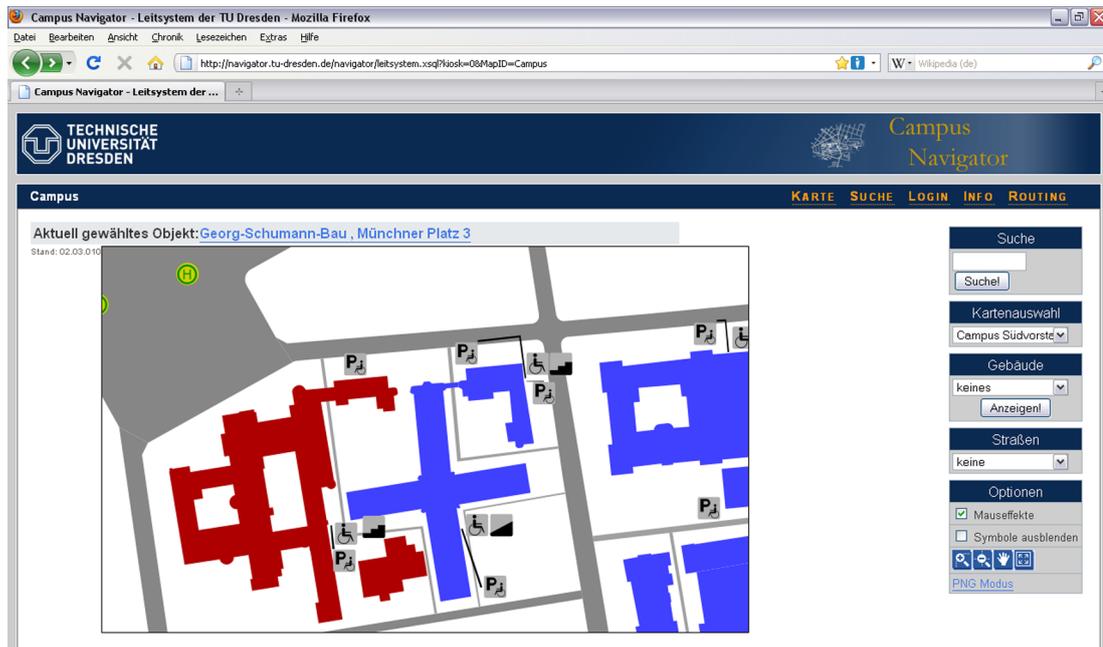


Abb. 5.2: Campus Navigator der Universität Dresden
(<http://navigator.tu-dresden.de/navigator/leitsystem.xsql>
– Zugriffsdatum: 15.04.2010)

Neben der Karte bietet das System die folgenden raumbezogenen Anwendungen:

Gebäudesuche über Gebäudename und Raumnummer;

Ausgabe: Gebäudenummer, Kurzzeichen, Link zu weiteren Gebäudeinformationen, Link zum Campusplan.

Hörsaalsuche über Hörsaalbezeichnung, entsprechend der Angabe im Vorlesungsverzeichnis;

Ausgabe: Gebäude, Etage, Anzahl der Plätze, Link zum Raumbelegungsplan, Link zum Campusplan.

Routing Zur Routenberechnung sind Start und Ziel einzugeben. Optional kann gewählt werden:

- barrierefrei,
- nur offizielle Routen.

Die Funktionalität der Anwendungen wurde Anfang April 2010 überprüft: Mit Straßennamen als Start und Ziel konnte keine Route gefunden werden. Die Eingabe von Gebäudenamen wird nach den ersten Buchstaben durch Vorschläge in einem Ausklappmenü unterstützt. Jedoch konnte auch damit keine Routenberechnung erfolgen. Auf der Website wird darauf hingewiesen, dass sich das System bis Ende des Sommersemesters 2008 im Test befindet und Routingergebnisse unter Vorbehalt zu verwenden sind.

Dagegen stellt der Campus Navigator sehr detaillierte Gebäudeinformationen zur Verfügung, die durch Anklicken von Gebäuden in der Karte oder über die Gebäudesuche aufgerufen werden.

Neben alphanumerischen Informationen wie Teilgebäudebezeichnung, Adresse, Gebäudenummer, Baujahr u. ä. lassen sich Etagenpläne aufrufen, auf denen Flure, Türen, Toiletten, Treppen, Aufzüge, Bibliotheken und Raumnummern dargestellt sind. Nach Anklicken des Links „Einrichtungen“ erscheinen die Überschriften „Institute im Gebäude“ und „Einrichtungen im Gebäude“. Weitere Einträge sind nicht vorhanden; diese Anwendung befindet sich eventuell noch im Aufbau.

Detaillierte Gebäudebeschreibungen liegen z. T. als PDF-Dokumente vor. Sie beinhalten Informationen über Zugangsmöglichkeiten für Besucher mit eingeschränkter Mobilität, dreh-, schwenk- und in der Größe veränderbare 3D-Gebäudemodelle und einen Ausschnitt des Campusplans zur Orientierung¹⁷.

Der **Planèt UNIL der Université de Lausanne** wurde auf Anfrage der Universitätsverwaltung von der Abteilung Unibat Gebäudeservice (Service des bâtiments) in Auftrag gegeben. Das gewünschte System sollte eine dynamische Bestandsaufnahme der Räumlichkeiten der Universität ermöglichen, als Instrument zur Immobilienverwaltung dienen und für alle zugänglich die Etagenpläne der Universitätsgebäude anzeigen. Zur Umsetzung wurden die technischen Ressourcen des Informatikzentrums (Centre informatique) genutzt und auf Basis des ArcGIS Server nach eigener Angabe „das erste Facility Management-Werkzeug, das sich auf ein GIS stützt“¹⁸ erstellt.

Die kartographischen Daten entstammen den folgenden Quellen:

- Unibat, Université de Lausanne,
- Katasteramt der Stadt Lausanne (Service du Cadastre de la ville de Lausanne),
- Bundesamt für Statistik der Schweiz (OFS ThemaKart - Office Fédéral de la Statistique),
- ESRI Data & Maps und
- OpenStreetMap.

Der Planèt UNIL hat keine Routinganwendung integriert, stellt zusätzlich zur dynamisch generierten, im Maßstab veränderbaren und verschiebbaren Karte jedoch die Etagenpläne der Universitätsgebäude dar. Als weitere Themenebenen lassen sich u. a. die Gebäudeeingänge, Haltestellen für Busse und Schienenverkehr sowie verschiedene Kategorien aus den Dienstleistungs- und Einzelhandelsbranchen, die unter Points d'intérêt zusammengefasst sind, einblenden.

Die Etagenpläne werden oberhalb der zentralen Kartenansicht über zwei Aufklappmenüs aufgerufen. Im ersten sind die Gebäude (Bâtiments) aufgelistet, die per Mausclick ausgewählt werden. Das so selektierte Gebäude wird in der Karte fokussiert. Im zweiten Aufklappmenü sind die Etagen des ausgewählten Gebäudes anzuwählen. Die Räumlichkeiten der selektierten Etage werden nach ihrer Funktionalität, z. B. Büro, Labor, Hörsaal, Übungsraum, Bibliothek oder Sozialraum, unterschiedlich farblich dargestellt und mit der Raumnummer beschriftet (Abb. 5.3). Nach dieser Nummer lassen sich die Räume auch suchen (Recherche). Über die Attributabfrage mit der bekannten i-Schaltfläche werden weitere Informationen zum angeklickten Raum bzw. Gebäude in der Ergebnisausgabe unterhalb der Karte tabellarisch dargestellt.

¹⁷ z. B. http://navigator.tu-dresden.de/navigator/3d/tillich_bau.pdf – Zugriffsdatum: 07.04.2010

¹⁸ <http://planete.unil.ch> – Zugriffsdatum: 08.04.2010

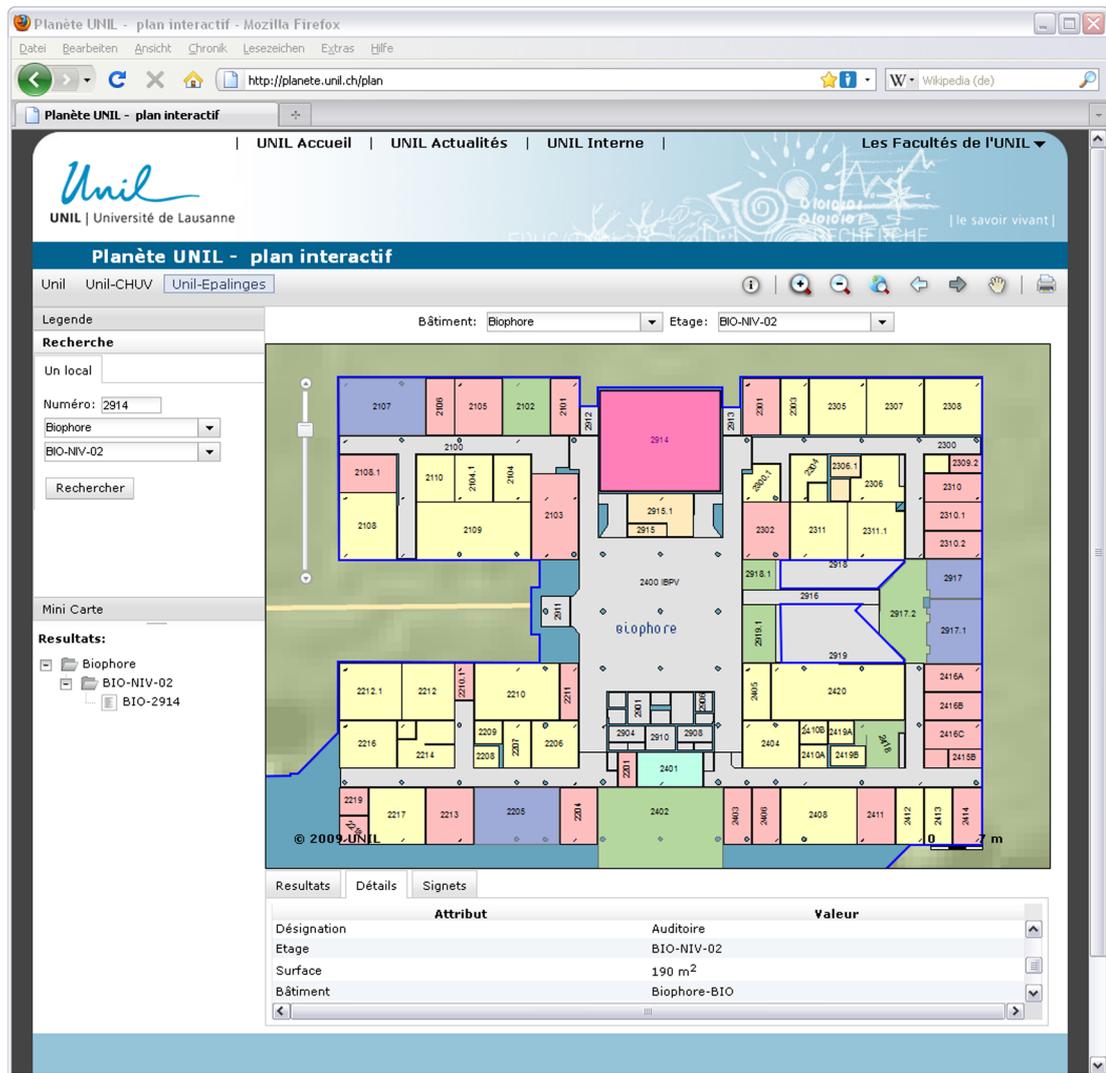


Abb. 5.3: Planèt UNIL der Universität de Lausanne
(<http://planete.unil.ch/plan> – Zugriffsdatum: 15.04.2010)

Die Website UNIL wird immer in einer festen Größe gezeigt. Sie – und damit auch die Karte – passen sich nicht an die Größe und Auflösung des Bildschirms oder an die Größe des Browserfensters an. Die Karte lässt sich jedoch über zwölf Stufen von einer kleinmaßstäbigen Europaansicht über die Schweiz und Lausanne bis hin zur großmaßstäbigen Detailansicht einzelner Universitätsgebäude verändern.

Das **Campus GIS der Technischen Universität Bergakademie Freiberg** wurde im September 2008 von einer Projektgruppe der Professur für mathematische Geologie und Geoinformatik veröffentlicht. Es basiert auf dem UMN-Mapserver und zeigt neben den Verkehrswegen Gebäude und Hörsäle der TU Freiberg. Zur Visualisierung dienen ein Orthophoto des Stadtgebiets vom Landesvermessungsamt Sachsen sowie Fotos der Universität und 360°-Filme der Firma art2viz.

5.1 WebGIS-Angebote anderer Universitäten – ein Überblick

Standardmäßig dargestellt werden die Themenebenen Luftaufnahme, Gebäude, Straßen und Parkplätze, die sich einzeln ausblenden lassen. Die Gebäude sind in der Karte mit ihren Namen beschriftet. Zusätzlich können Fotopunkte eingblendet und damit 360°-Filme oder statische Fotos angezeigt werden.

Die Karte passt sich an die Größe des Browsers an. Der Maßstab lässt sich mit den dafür vorgesehenen Werkzeugen oder dem Scrollrad der Maus vergrößern und verkleinern, die Kartenansicht verschieben. Mithilfe des Werkzeugs „ruler“ werden Distanzen auf der Karte gemessen und Richtungen angegeben. Ausgegeben werden u. a. neben den Längen von Teil- und Gesamtstrecken auch die Himmelsrichtung (Abb. 5.4).

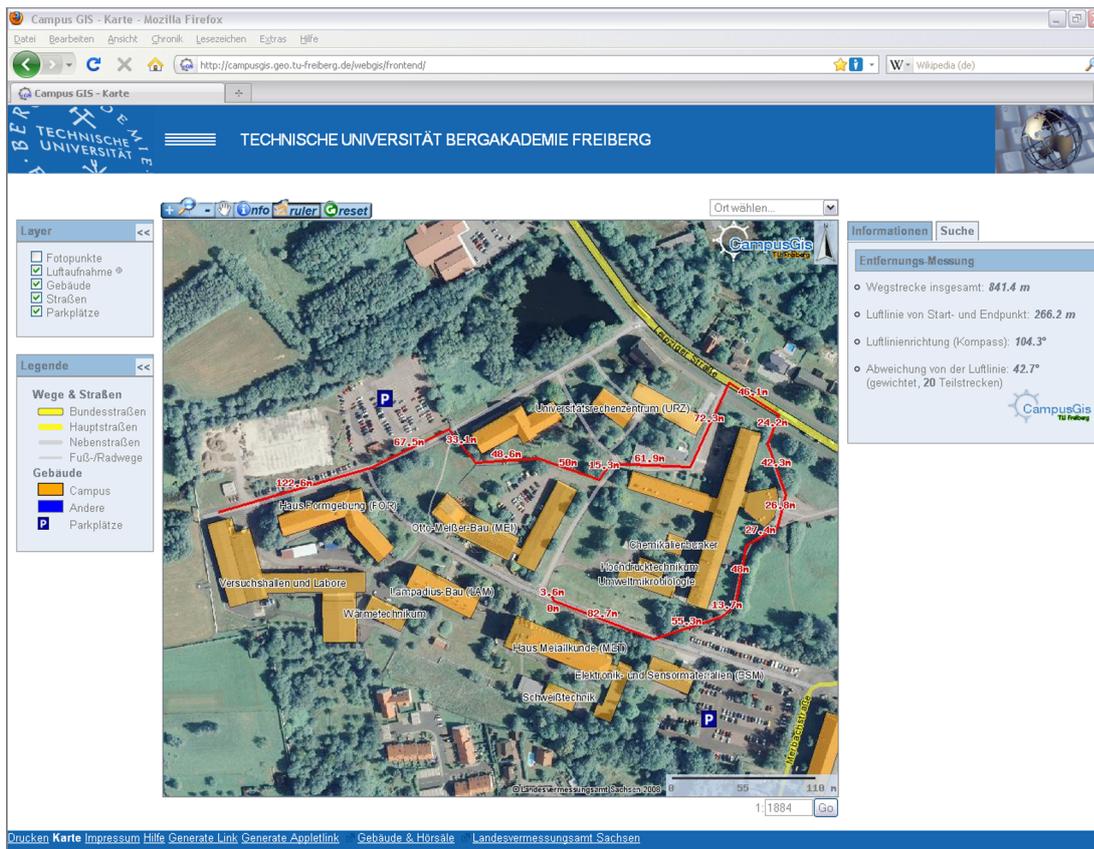


Abb. 5.4: Campus GIS der Technischen Universität Bergakademie Freiberg
(<http://campusgis.geo.tu-freiberg.de/webgis/frontend>)
– Zugriffsdatum: 15.04.2010)

Über ein Aufklappmenü können Stadtteile oder Campusbereiche direkt ausgewählt und kartographisch angezeigt werden. Wie bereits für den Planèt UNIL beschrieben, wird auch hier der selektierte Bereich fokussiert und in der Karte markiert. Zusätzlich werden die Adresse und Links zu weiteren Informationen im Informationsfenster rechts neben der Karte angezeigt. Zur Routenplanung zum angezeigten Gebäude kann Google Maps oder Map24 aufgerufen werden. Eigenes Routing steht nicht zur Verfügung. Bei den weiteren Informationen werden die in den

Gebäuden untergebrachten Einrichtungen bis hin zu Instituten und Lehrstühlen aufgelistet. Von ausgewählten Gebäuden stehen Fotos und Etagenpläne zur Verfügung. Die Fotos werden direkt angezeigt, die Etagenpläne müssen über den Link „Zur Innenansicht“ aufgerufen werden. In der gleichen Weise reagiert das System auf Attributabfragen über die i-Schaltfläche und auf die attributive Selektion, die als „Suche“ ebenfalls rechts von der Karte zur Verfügung steht. Schon bei Eingabe eines Buchstabens sucht das System nach passenden Objekten. Dies können Gebäude, Fakultäten, Lehrstühle, zentrale Einrichtungen und Straßen sein. In diesen Kategorien werden mögliche Objekte vorgeschlagen, die per Mausklick vom Nutzer ausgewählt werden können.

Das CampusGIS der Universität zu Köln wurde mit seinen Funktionen ausführlich in Kap. 4 beschrieben. Im Kap. 5.2 sollen die Funktionalitäten des CampusGIS im Vergleich mit den hier vorgestellten vier Systemen diskutiert und kritisch betrachtet werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass das CampusGIS in seiner aktuellsten Version bisher nicht der gesamten Internetgemeinde zur Verfügung steht und genauso auch die anderen Systeme in ihrer Entwicklung weiter fortgeschritten sein können, als es über die jeweilige Website sichtbar ist. Aus diesem Grund sollen auch diese vergleichenden Betrachtungen keine Wertung der Systeme sein. Vielmehr soll in Bezugnahme auf Kap. 2.7 der Einsatz raumbezogener Anwendungen im universitären Umfeld aufgezeigt werden.

5.2 Kritische Bewertung des CampusGIS

Der in Kap. 5.1 dargestellte Vergleich der webgestützten universitären raumbezogenen Informationssysteme zeigt, dass die Benutzerschnittstellen und damit die Art der Interaktion in jedem der betrachteten Systeme unterschiedlich gelöst sind. Auch wird jeweils ein anderer Schwerpunkt bezüglich der angebotenen Anwendungen gelegt. Ein modularer Aufbau, wie ihn in diesem Umfang einzig das CampusGIS zeigt, ermöglicht, verschiedene Anwendungen zu integrieren und mit einer einheitlichen Benutzeroberfläche bereitzustellen sowie Elemente entsprechend der technischen Entwicklungen und Anforderungen der Nutzer stetig zu ergänzen. Anwendungen, die in der Regel in allen WebGIS vorhanden sind, können als Standardanwendungen bezeichnet werden und sind die im Folgenden genannten und bereits in der Version 1 des CampusGIS integrierten Kernmodule:

- Darstellung einer dynamisch generierten, interaktiven Karte mit an den Maßstab angepasster Kartographie,
- WebGIS-Standardfunktionalitäten wie
 - Maßstab vergrößern und verkleinern,
 - Karte verschieben,
 - Themenebenen ein- und ausblenden.
- Attributabfrage: Informationen zu den in der Karte dargestellten Geoobjekten,
- attributive Selektion: Suche nach Gebäuden; im CampusGIS auch nach Personen und universitären Einrichtungen.

Diese Anwendungen sind i. d. R. intuitiv zu bedienen und den Nutzern teilweise von anderen Systemen wie den Kfz-Navigationssystemen oder Google Earth bekannt. Werden weitere Mo-

dule zu Verfügung gestellt, ist abzuwägen, ob sie für den Anwender hilfreich und sinnvoll sind. Das System muss mühelos bedient werden und die Interaktionen und Anforderungen des Nutzers erfüllen können (KHAN und ADNAN, 2010). Es muss kritisch untersucht werden, eventuell auch mithilfe einer Nutzerbefragung, ob die CampusGIS-Werkzeuge intuitiv bedienbar sind und in dieser Anzahl erhalten bleiben können.

Bedeutende Erweiterungen erfuhr das CampusGIS mit der Implementierung der Routing-Anwendungen und dem CampusGIS-Mobil. Die Routing-Anwendungen ermitteln den besten Weg zwischen Start und Ziel, optional unter Einbeziehung von Etappenorten, für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen. Diese und die zuvor genannten Standardanwendungen werden vom CampusGIS-Mobil über eine graphische Benutzerschnittstelle für mobile Endgeräte bereitgestellt.

Zusätzliche Module sind die

- Rundgänge,
- exemplarische Innenraumdarstellung und -routing,
- Darstellung der geometrisch sehr genauen CAD-Zeichnungen für die Gebäudeverwaltung und die
- Darstellung der 3D-Gebäudemodelle.

Diese Module sind umgesetzt, es fehlt jedoch noch an weiteren und genaueren Daten. An dieser Stelle wird deutlich, dass ein Projekt wie das CampusGIS vielen unterschiedlichen Nutzergruppen und Institutionen als raumbezogenes Werkzeug nützlich sein kann. Auf der anderen Seite ist es jedoch auch darauf angewiesen, von Kooperationspartnern mit Informationen und Daten versorgt zu werden um vollständig und aktuell zu sein.

Im Vergleich mit den Systemen anderer Universitäten (Kap. 5.1) bestätigt sich dies: Wenn das WebGIS auch den offiziellen Lageplan generieren soll oder die Universitätsverwaltung selbst den Aufbau eines WebGIS initiiert (vgl. Planèr UNIL der Universität de Lausanne), stellt diese z. B. gleichfalls die Gebäude- und Etagenpläne bereit. Damit sind die beschreibenden Attribute präziser und umfassender, weil diese Daten nur der Universitätsverwaltung bzw. den dazugehörenden Dezernaten vorliegen (vgl. CampusNavigator der TU Dresden).

Das CampusGIS der Universität zu Köln beinhaltet die folgenden Daten der universitätsinternen Kooperationspartner:

- Personendaten aus uk-online,
- Gebäudeattribute und Informationen zu Einrichtungen, Instituten und Forschungsbereichen vom RRZK,
- CAD-Zeichnungen vom Dezernat 5, Gebäude- und Liegenschaftsmanagement.

Im Folgenden werden die einzelnen Anwendungen des CampusGIS und ihre Umsetzung kritisch diskutiert.

Webdesign und kartographische Visualisierung

Für das CampusGIS ist die Darstellung eines klaren und übersichtlichen Kartenbildes unerlässlich, so dass hierfür der größte Teil der Website beansprucht wird. Die Interaktionsschaltflächen

sind oberhalb der Karte angeordnet und Eingabeformulare werden bei Bedarf auf der Karte eingeblendet, damit sie vom Nutzer sofort wahrgenommen werden. Entsprechend der Leserichtung von links nach rechts werden die Abfrageergebnisse anschließend rechts neben der Karte angezeigt. Es ist allerdings zu beachten, dass die großen und bekannten Geoportale wie Google Maps oder Map24 die Interaktionsformulare und Routenbeschreibungen links der Karte ausgeben. Sie geben der alphanumerischen Ausgabe damit einen höheren Stellenwert als der Karte. Weil die Nutzer diese Aufteilung gewöhnt sind, muss – eventuell mittels einer Nutzerbefragung – erörtert werden, ob auch das CampusGIS dieser Anordnung folgen sollte.

Im CampusGIS V. 1 werden die an- und ausschaltbaren Themenebenen in der rechten unteren Ecke angezeigt. Weil diese Position für die Nutzer sehr ungünstig und versteckt ist, wurde die Inhaltsliste im CampusGIS V. 2 in ein größeres Feld implementiert, das, wie die Abfrageergebnisse und bei den CampusRundgängen die beschreibenden Texte, rechts der Karte angezeigt wird. Der Balken, der Karten- und Ausgabefeld trennt, kann mit der Maus verschoben werden, um für Karte oder Textfeld mehr Platz zur Verfügung zu stellen.

Ähnlich der bereits angesprochenen Bereitstellung von Werkzeugen ist auch die Auflistung der Themenebenen und die Möglichkeit, diese sichtbar und unsichtbar zu schalten, kritisch zu hinterfragen. Sind Themenebenen zunächst unsichtbar und können vom Nutzer sichtbar geschaltet werden, muss dieser darauf hingewiesen werden. Der CampusNavigator der TU Dresden und das TerpNav Pedestrian Mapping System der University of Maryland stellen die Karten immer komplett dar, der Nutzer hat hier keine Möglichkeit, Themenebenen ein- oder auszublenden. Im CampusGIS V. 1 sind die Themenebenen gruppiert und nur eine kleine Auswahl vom Nutzer aktiv ein- oder auszuschalten: Universitätsgebäude, Eingänge sowie Einzelhandels- und Dienstleistungsunternehmen werden standardmäßig angezeigt, können bei Bedarf aber ausgeblendet werden. Die Einzelhandels- und Dienstleistungsunternehmen erscheinen erst ab einem vorgegebenen Vergrößerungsfaktor. Die Luftbilder können vom Nutzer zugeschaltet werden. Alle anderen Themenebenen wie z. B. das Verkehrswegenetz werden immer angezeigt, denn sie sind für die Orientierung unerlässlich. Eine entsprechende Umsetzung ist auch für das CampusGIS V. 2 vorgesehen. Auch dort gibt es eine maßstabsabhängige Visualisierung, so dass kleinräumige und detaillierte Objekte wie die CAD-Zeichnungen nur in einem entsprechend großen Maßstab angezeigt werden. Sie können aber auch vom Nutzer ausgeblendet werden. Für diese detaillierten Informationen und zusätzlich für eine Darstellung mehrerer Gebäudeebenen ist eine Sicht- und Unsichtbarschaltung unerlässlich, damit nicht zu viele Informationen übereinander gelagert dargestellt werden.

Die dreidimensionale Visualisierung von Geodaten wird derzeit aufgrund der unterschiedlichen technischen Anforderungen an die Darstellungssoftware getrennt von zweidimensionalen Karten angeboten. Hybride Systeme sind selten (BROOKS und WHALLEY, 2008). Auch das 3D-Modell der Universitätsgebäude ist eine eigenständige Anwendung. Der damit erstellte 3D-Geodienst kann mit einem 3D-Viewer wie ArcGlobe oder ArcGIS Explorer visualisiert werden. Zusätzlich ist es möglich, die KMZ-Datei in Google Earth zu öffnen. Die bestehende CampusGIS-Webapplikation ermöglicht bisher keine Anzeige von 3D-Objekten. Es wäre wünschenswert sie in das CampusGIS V. 2 einzubinden, insbesondere um die Qualität der Orientierung innerhalb des Routings zu verbessern. Gerade auf dem Universitätsgelände könnten die

Gebäude als sogenannte Landmarken (landmarks) genutzt werden. Landmarken zeichnen sich durch ihre Einzigartigkeit aus und werden bei Routenbeschreibungen an strategisch wichtigen Orten, z. B. dort, wo sich die Richtung ändert, angegeben (WINTER et al., 2009). Sie eignen sich zur Beschreibung von Routen eher als Straßennamen, weil sie aus größerer Entfernung bereits erkennbar sind.

Mögliche Hindernisse für gehbehinderte Personen sind im CampusGIS gekennzeichnet. Es sollte aber nicht bei dieser Negativhervorhebung bleiben. Zusätzlich sollten, nach Vorbild des CampusNavigator der TU Dresden, Symbole für Behindertenparkplätze sowie innerhalb der Gebäude WCs und Aufzüge dargestellt werden. Auch die Kennzeichnung öffentlicher Parkplätze sowie Hinweise zur Zufahrt – viele Parkplätze auf dem Gelände der Universität zu Köln sind nur mithilfe eines Schrankenschlüssels erreichbar – fehlen im CampusGIS bisher noch.

Attributabfrage

Die Bereitstellung der zu den Geoobjekten gehörenden Eigenschaften ist in einem GIS mit geringem Aufwand möglich. Im CampusGIS ist sie sinnvoll zur Abfrage der Geoobjektnamen wie z. B. der Gebäude- und Straßennamen in Maßstabbereichen, in denen keine Beschriftung auf der Karte eingeblendet wird. Die Abfrage weiterer detaillierter, alphanumerischer Informationen kann für die Universitätsverwaltung von Bedeutung sein: So lassen sich z. B. die Flächen eines Gebäudes oder Raums anzeigen. Um nur den Autorisierten diese Detailinformationen bereitzustellen und andere Benutzer nicht durch ein Überangebot an Informationen zu überlasten, könnten sie nutzergruppenabhängig, evtl. passwortgeschützt angezeigt werden. Sinnvoll wäre die Aufnahme der Gebäudeöffnungszeiten in die Datenbank, um diese Information über die Attributabfrage zur Verfügung zu stellen.

Attributive Selektion

Das CampusGIS unterscheidet zwischen Gebäude-, Personen- und Stichwortsuche. Diese Aufteilung erfordert vom Nutzer die Wahl der richtigen Anwendung, ist jedoch sinnvoll: das System spricht nur jeweils die Datenbanken an, die zur Beantwortung der Anfrage notwendig sind. Dadurch reduziert sich die Suchdauer. Automatische Vorschläge schon bei der Eingabe der Suchbegriffe erleichtern dem Nutzer die Eingabe und verhindern Schreibfehler, die dazu führen würden, dass keine Ergebnisse ausgegeben werden. Diese Funktion ist bei dem Campus GIS der TU Freiberg eingebunden. Eine Unterscheidung, in welcher DB gesucht werden soll, ist hier nicht vorauszuwählen und dennoch reagiert das System auf die Eingabe sehr schnell.

Die Suchergebnisse werden i. d. R. von allen Systemen in der Karte markiert und fokussiert sowie alphanumerisch und mit Hyperlinks zu weiteren Informationen dargestellt. Einzig bei dem nicht auf einem GIS basierten System der TU Dresden mangelt es an einer Kennzeichnung in der statischen Karte. Dagegen sind die Gebäudeinformationen in diesem System detaillierter als in allen anderen, weil sie komplett vom Dez. 4 – Gebäudemanagement und Datenverarbeitung – zur Verfügung gestellt werden. In diesem Bereich sollte das System als Vorbild für die anderen Systeme, auch für das CampusGIS, dienen.

Unter allen universitären WebGIS ist das CampusGIS das einzige, das Personendaten nutzt. Diese sind grundlegend, denn Lehrende und Mitarbeiter sind häufig gesuchte Ansprechpartner

im universitären Betrieb. Außerdem stellen diese individuellen Informationen einen Mehrwert und damit eine Abgrenzung gegenüber den marktführenden Geoportalen dar. Allerdings wird uk-online nur von wenigen Fakultäten und Instituten genutzt. Es konkurriert mit KLIPS, das mittlerweile universitätsweit eingeführt wurde und über Peronendaten aller Einrichtungen verfügt. Wegen ungeklärter datenschutzrechtlicher Gründe durfte aus dem CampusGIS bisher keine Verbindung zu diesem System hergestellt werden. Möglicherweise ist der Datenschutz auch ein Grund, warum die anderen Systeme keine Personendaten implementiert haben. Über die Website der Universität zu Köln wird eine Mitarbeitersuche im lokalen Netzwerk angeboten, die nicht allen Internetnutzern zur Verfügung steht. Ein solcher Schutz wäre auch für die Nutzung der Mitarbeiterdaten im CampusGIS denk- und umsetzbar.

Die Integration der detaillierten Personen-, Einrichtungs- und Gebäudedaten erfordert, dass das System für jede Datenbank eine eigene Schnittstelle ansprechen muss. Ist diese Verbindung jedoch einmal hergestellt, sind damit alle in den Datenbanken vorgenommenen Aktualisierungen auch direkt im CampusGIS vorhanden. Der Aufwand, eine Datenbank anzusprechen, ist im Vergleich zur Pflege sehr gering, der Nutzen dagegen bedeutend.

CampusRundgänge

Die CampusRundgänge sind eines der Alleinstellungsmerkmale des CampusGIS: weder eine entsprechende Anwendung noch eine ähnliche Art der Informationsvermittlung konnte bei den anderen universitären WebGIS gefunden werden. Eine Bewertung lässt sich daher am ehesten mithilfe einer Gegenüberstellung mit Informationssystemen für den Städtetourismus formulieren. Dort kommen den Raum darstellende Systeme zum Einsatz, um „die eigene Stadt optimal zu vertreten und im internationalen Wettbewerb zu positionieren (...). Ein zentrales Element ist zudem die Bereitstellung von Informationen, welche es den Besuchern erleichtern sollen, ihren Aufenthalt im Voraus zu planen (...)“ (REHBACH, 2009).

Auch eine Universität muss sich optimal vertreten und im internationalen Wettbewerb positionieren. Sie will und muss sowohl Studierende als auch Wissenschaftler ansprechen, einladen und vom eigenen Standort überzeugen. Je mehr verschiedene Themen sie anspricht, desto größer wird auch die Zahl der Interessenten und um so klarer das Bild von der Hochschule und der städtischen Umgebung, das sie sich vor dem Besuch oder der Bewerbung um einen Studien- oder Arbeitsplatz machen können. Die Umsetzung in einem WebGIS bietet sich dafür an, weil die thematischen Informationen mit einer kartographischen Visualisierung kombiniert werden.

Routinganwendungen

Das CampusGIS ist eines der wenigen Systeme, das Routinganwendungen für Fußgänger und vergleichbare Nutzergruppen sowie auch für diese Anwendung eine Benutzerschnittstelle für mobile Endgeräte bereitstellt. Verschiedene bekannte Routinganbieter (vgl. Tab. 2.1) beginnen, ihre Anwendungen auch für Fußgänger anzubieten. Jedoch mangelt es ihnen noch immer an einer auf die Bedürfnisse und Möglichkeiten von Fußgängern angepassten Datengrundlage (vgl. auch Kap. 5.3). Es fehlt an Daten, die die „viel detailliertere Bewegungsstruktur“ von Fußgängern beachten (KLUGE, 2009): Fußgänger können Parks durch- und Plätze überqueren, für Kraftfahrzeuge gesperrte Wege benutzen und – dies darf aufgrund des weitläufigen Geländes und

der Größe der Gebäude auf dem Campus ebenfalls nicht vernachlässigt werden – durch Gebäude hindurchgehen, um einen Weg abzukürzen. Die Nutzung von Autobahnen und Schnellstraßen kann in den Routenberechnungssystemen für Fußgänger ohne großen Aufwand unterdrückt werden.

Das CampusGIS zeigt, dass eine Erfassung und detaillierte Aufnahme der Fußwege nutzerspezifische Anwendungen wie die Generierung barrierefreier Routenvorschläge ermöglicht. Konzeptionen und Testumgebungen für webgestützte Routinganwendungen für Rollstuhlfahrer sind ebenfalls beschrieben von HIMMEL (2004), MÜLLER (2009a) und CIGNA et al. (2009). HIMMEL (2004) und MÜLLER (2009a) haben auch die Portierung auf mobile Endgeräte im Ausblick ihrer Arbeiten bereits angedacht.

An dieser Stelle ist die Frage zu stellen, ob der Nutzen des Systems den Aufwand dieser zeit- und kostenintensiven Datenerfassung rechtfertigt. Der Aufwand ist immens: Alle Wege sind mindestens einmal zu begehen. Dabei wird der Weg erfasst, um als digitales Geoobjekt in einem GIS implementiert zu werden. Die Wegbreite, der Oberflächenbelag, Längs- und Quergefälle müssen präzise und detailliert aufgenommen werden und als Attribute das Geoobjekt beschreiben. Auch müssen Stufen, Treppen, Bordsteine vermessen und als solche gekennzeichnet sowie die Zugänge zu den Gebäuden entsprechend der genannten Kriterien erfasst werden. Gebäudeeingänge sind mit Türbreite und der Art des Öffnungsmechanismus zu attributieren. Gänge, Flure, Treppenhäuser und Aufzüge in den Gebäuden sind entsprechend aufzunehmen. Zusätzlich ist zu beachten, dass die aufgenommenen Daten Änderungen unterliegen können: Neu- und Umbauten sind oftmals auch mit Veränderungen der Zuwege behaftet. Diese sind in einem raumbezogenen Informationssystem nachzuhalten. Auch temporäre Wegeänderungen z. B. aufgrund von Baustellen und -zufahrten sind einzupflegen. Zu Beginn der Datenaufnahme müssen außerdem die Personen, die mit der Datenaufnahme betraut werden, eingewiesen und bezüglich dieser Merkmale sensibilisiert werden. Es zeigt sich, dass dies alles mit einem enormen Aufwand einhergeht.

Jedoch sind auch die folgenden Aspekte zu beachten: Die Universität ist als Körperschaft des öffentlichen Rechts nach dem BGG verpflichtet, Neubauten sowie große Um- oder Erweiterungsbauten entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik barrierefrei zu gestalten (Bundesregierung (Hrsg.), 2002).

„Barrierefrei sind bauliche und sonstige Anlagen, Verkehrsmittel, technische Gebrauchsgegenstände, Systeme der Informationsverarbeitung, akustische und visuelle Informationsquellen und Kommunikationseinrichtungen sowie andere gestaltete Lebensbereiche, wenn sie für behinderte Menschen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne fremde Hilfe zugänglich und nutzbar sind.“ (§ 4 BGG)

Selbst mit einer konsequenten Umsetzung dieser Forderung wird es Jahrzehnte dauern, bis alle öffentlichen Gebäude barrierefrei zugänglich sind. Nicht gefordert ist, dass alle Eingänge eines Gebäudes barrierefrei sein müssen. So gibt es Insellösungen, wenn in Einzelfällen barrierefreie Zugänge errichtet werden. Solange jedoch nicht generell gilt, dass alle universitären Einrichtungen zugänglich sind, und weil die Öffentlichkeit zu informieren ist, welche Eingänge die Anforderungen erfüllen, sind detaillierte Informationen bereitzustellen. Der Nutzer ist somit in

der Lage, im Vorfeld seinen Besuch an der Universität zu planen und gegebenenfalls Hilfe anzufordern. Diese Informationen können – für Rollstuhlfahrer und vergleichbare Gehbehinderte – im CampusGIS abgerufen werden. Die Routinganwendungen ermöglichen dem Nutzer zusätzlich, Hindernisse wie Treppen zu umgehen. So muss er nicht am Hindernis umkehren und einen Alternativweg suchen, sondern wird frühzeitig zu einem geeigneten Weg geleitet.

Eine Erweiterung um ergänzende Informationen und bauliche Maßnahmen auch für Menschen mit anderen Behinderungen sind dringend notwendig: Für Sehbehinderte sind auf dem Universitätsgelände partiell taktile Bodenbeläge installiert; sie verbinden das Universitätshauptgebäude, das Philosophikum und das Hörsaalgebäude (UzK, 2009e). Ein weiterer Ausbau von entsprechenden Hilfen ist erforderlich, um bestehende Hindernisse auszugleichen. Eine akustische Nutzerschnittstelle für das CampusGIS könnte das Leitsystem ergänzen.

5.3 Bewertung der technischen und methodischen Ansätze des CampusGIS

Neben einer kritischen Bewertung der Funktionalitäten von webgestützten Geodatendiensten für raumbezogene Anwendungen im universitären Umfeld (Kap. 5.2) sind auch die technischen und methodischen Ansätze kritisch zu betrachten. Für das CampusGIS stehen dabei die folgenden sechs Aspekte im Vordergrund:

- Daten
- Datenverwaltung
- Visualisierung
- Ortsbestimmung
- Algorithmen
- Programmierseitige Umsetzung

Daten

Als Geodatenbasis wurde im CampusGIS das Basis-DLM aus dem ATKIS-Datensatz verwendet. Diese Daten zeichnen sich durch eine hohe Qualität und Aktualität aus (MEINEL und KNOP, 2008). Sie werden u. a. in dem als Quasi-Standard zu bezeichnenden Dateiformat ESRI-Shapefile vertrieben und eignen sich dadurch speziell auch zur Verarbeitung in der ESRI-ArcGIS-Produktserie. Diese liegt dem CampusGIS als Software zugrunde (Kap. 4.1) und ermöglicht einen produkt- jedoch nicht versionenübergreifenden Austausch der Daten.

Zusätzlich zum Basis-DLM wurden raumbezogene Daten des Universitätsgeländes erfasst. Wie in Kap. 4.2 beschrieben, ergänzen Fußwege, die nicht im Basis-DLM enthalten sind, sowie Gebäudegrundrisse und Eingänge die Geodatenbasis. Die Wege und Gebäudeeingänge wurden von Studierenden mithilfe von GPS und Totalstation aufgenommen und attribuiert. Diese Aufnahmen sind sehr zeitintensiv. Die Kosten für Ausrüstung und Arbeitszeit dürfen nicht außer Acht gelassen werden. Die Digitalisierung der Gebäude erfolgte zunächst auf Grundlage der Luftbilder. Wegen zu hoher Ungenauigkeiten, die hauptsächlich aus der Auflösung und Verzerrung der Luftbilder, aber auch aus der Unaufmerksamkeit der damit betrauten Studierenden resultieren, wurden die Gebäude zu einem späteren Zeitpunkt nochmals auf Basis der DGK5 digitalisiert.

Bei Aktualisierungen der erfassten Daten wurde eine mangelnde Abwärtskompatibilität der verschiedenen ArcGIS-Versionen zum Problem: Mithilfe von ArcGIS 9.3.1 Service Pack 1 wurden nachträglich zwei Neubauten als Geoobjekte eines Objektdatensatzes innerhalb der auf ETRS89/UTM projizierten CampusGIS-Geodatenbank digitalisiert. Die Aktualisierung sollte nicht nur im CampusGIS V. 2 vorgenommen werden, sondern auch im CampusGIS V. 1 Berücksichtigung finden. Das CampusGIS V. 1 wird über einen Server des RRZK basierend auf ArcIMS 9.0.1 bereitgestellt und verwendet Geodaten im SHP-Format. Diese Daten sind noch auf DHDN90/GK projiziert.

Die Bereitstellung der aktuellen Gebäudepolygone erforderte daher einen Export der Objektklasse zum SHP-Format sowie eine Transformation von ETRS89/UTM nach DHDN90/GK. Werden Export und Transformation in einem Geoprozessierungsschritt durchgeführt, werden die Gebäudepolygone zwar vom ArcIMS akzeptiert und angezeigt, sie liegen jedoch ein wenig versetzt zur korrekten Lage. Um diesen Lagefehler zu beheben, wurden die Daten zunächst aus der Objektklasse in eine SHP-Datei exportiert und hier mittels des Datenverwaltungswerkzeugs „Projection“ nach DHDN90/GK transformiert. Der so generierte Datensatz wird vom ArcIMS nicht angenommen. Weder das Löschen aller nicht unbedingt notwendigen Dateien der Formate SBN, SBX, SHP.XML noch die Implementierung der vor der Transformation zur GDB als Teil des Shapefiles vorhandenen Projektionsdefinitionsdatei im PRJ-Format ermöglichten die Annahme des neuen SHP-Datensatzes. Aufgrund dieser Probleme stellt das CampusGIS V. 1 weiterhin die Universitätsgebäude ohne die zwischen Ende 2007 und 2009 fertiggestellten Gebäude Herzzentrum und Zentrum für Biowissenschaften dar.

Problematisch ist die Nutzung der ATKIS-Daten für Routing-Anwendungen: Aufgrund fehlender Informationen zu Abbiegevorschriften und Einbahnstraßen können keine korrekten Empfehlungen für das Kfz-Routing generiert werden (VOLZ et al., 2002). Zudem liegen keine Informationen zu Geschwindigkeitsbegrenzungen oder tageszeitabhängigen Geschwindigkeitsunterschieden vor, so dass die Berechnung der Transferzeiten nur auf der Streckenlänge basieren kann und eine Durchschnittsgeschwindigkeit für PKW im Stadtverkehr angegeben werden muss. Diese Einschränkungen tangieren das CampusGIS momentan nur peripher, denn das Fußgänger-routing ist hiervon nicht betroffen. Es ist für den geplanten Ausbau des CampusGIS jedoch zu berücksichtigen.

In den Datensätzen spezieller Anbieter für Routing- und Navigationsdaten fehlen allerdings wie in den ATKIS-Daten kleinräumige Informationen wie die für das Fußgänger-Routing notwendigen Fußwege (KNECHT, 2009). Diesbezüglich müssen noch einmal die bereits in Kap. 2.6.3 vorgestellten bekannten Routingdienste betrachtet und ihr aktueller Entwicklungsstand untersucht werden: Für den Vergleich mit dem CampusGIS sollte die in Abb. 4.21 dargestellte Fußgänger-Route vom Hintereingang des Universitätshauptgebäudes, nahe des Alphons-Silbermann-Wegs, zum Gebäude Geographie/Rundbau, Zülpicher Straße 45, exemplarisch von den drei Diensten Google Maps, Microsoft Bing Maps und Nokia Ovi Karten generiert werden. Den Diensten liegen die folgenden digitalen Geodatenätze zugrunde (Stand: 03.05.2010):

- Google Maps: Tele Atlas 2010
- Bing Maps: NAVTEQ 2010
- Ovi Karten: NAVTEQ 2009

5 Diskussion und Bewertung

Während Google Maps und Bing Maps darauf hinweisen, dass es „möglicherweise keine Bürgersteige oder Fußwege“ (Abb. 5.5) bzw. „auf dieser Strecke möglicherweise keine Fußwege oder andere Bereiche für Fußgänger“ (Abb. 5.6) gibt, warb Ovi bereits im Oktober 2009 mit dem Werbeslogan „Navigation, die keine asphaltierten Wege braucht“ für sein Fußgängerouting. Es zeigt sich jedoch, dass keiner der Dienste wirklich auf die Nutzung für Fußgänger ausgerichtet ist.

Bei der gestellten Aufgabe erwies sich Google Maps als fußgängerfreundlichster Dienst. Es war der einzige, der

- Hausnummern zumindest annähernd berücksichtigte,
- die Wegbeschreibung ohne Ausdrücke wie „Fahren Sie...“ ausgibt und
- zumindest teilweise Fußwege in die Routenplanung einbezieht.

Diese Fußwege sind allerdings topologisch nicht korrekt mit dem restlichen Wegenetz verbunden, so dass ein Umweg generiert wird.

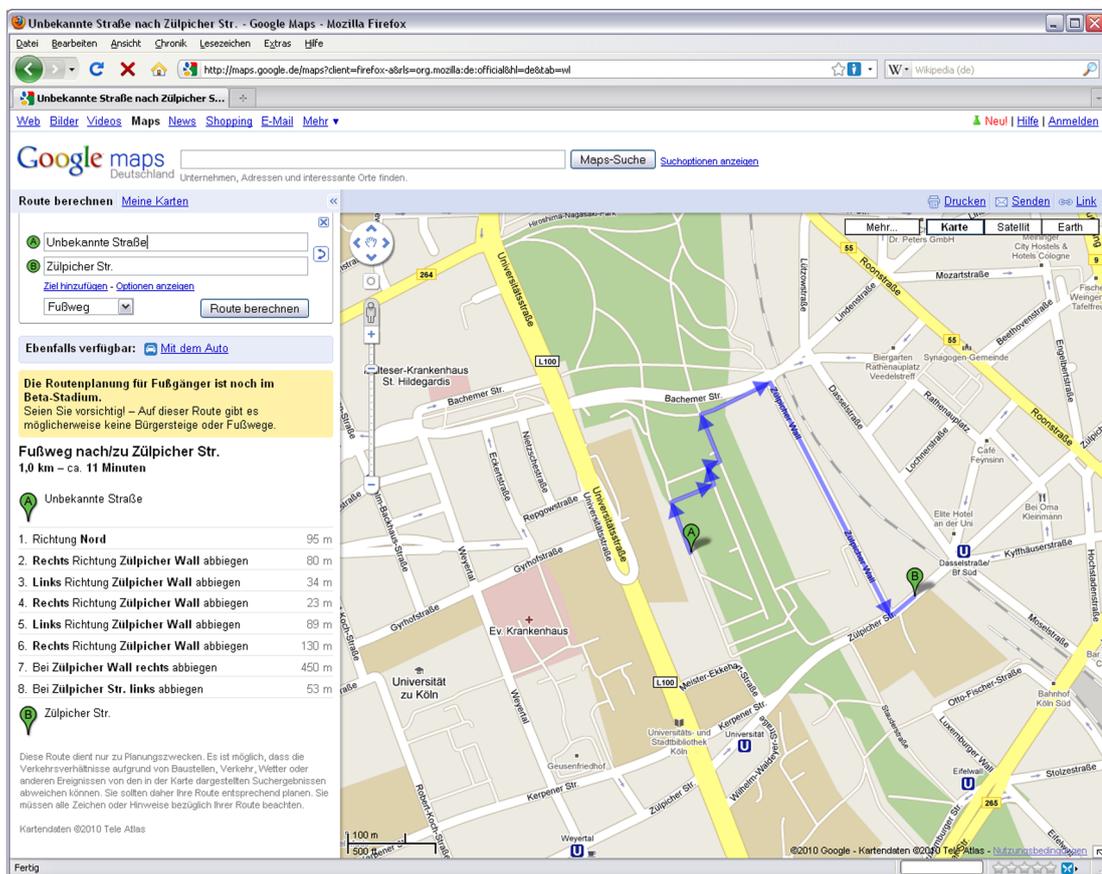


Abb. 5.5: Google Maps – Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau
(<http://maps.google.de> – Zugriffsdatum: 29.04.2010)

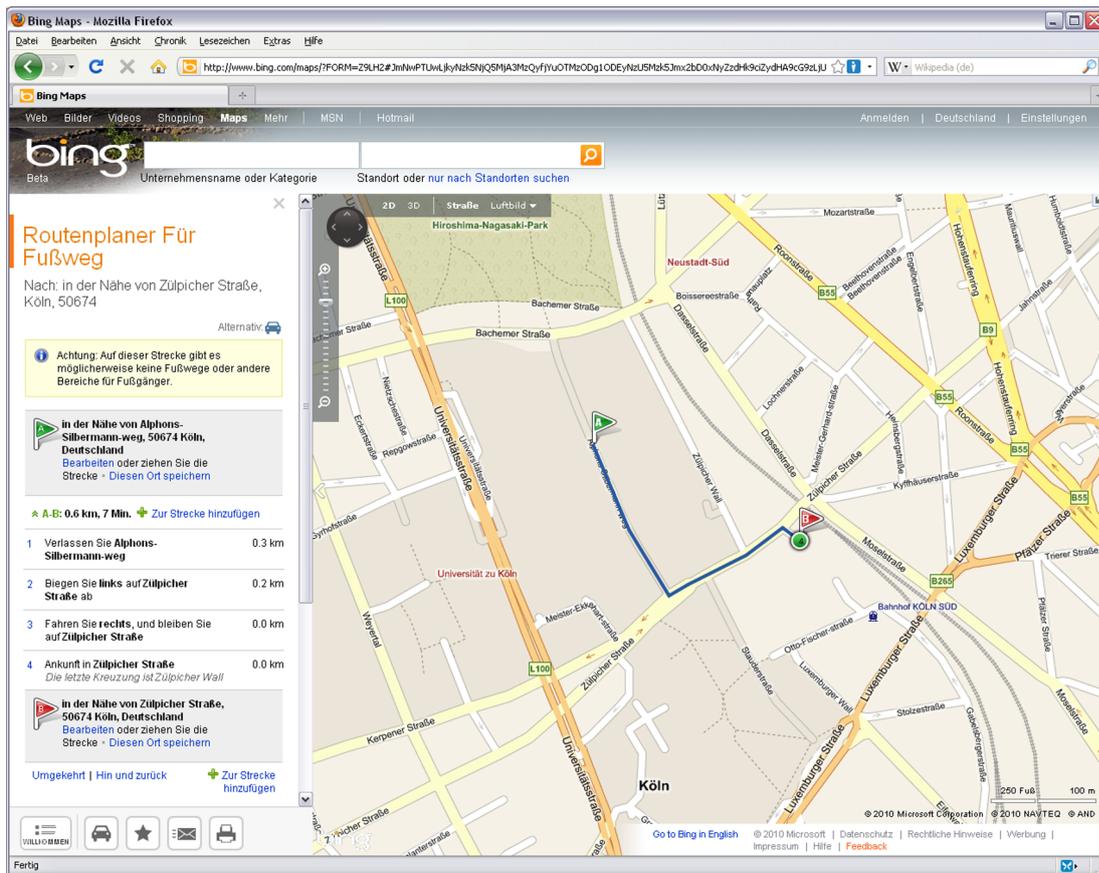


Abb. 5.6: Bing Maps – Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau
(<http://www.bing.com> – Zugriffsdatum: 29.04.2010)

Alle drei Anbieter ermöglichen, die Routenorte per Mausclick in die Karte zu definieren. Dies erfordert zwar Ortskenntnis, ermöglicht jedoch Routenorte ohne postalische Adresse wie z. B. „Hintereingang Universitätshauptgebäude“ zu berücksichtigen. Google Maps (Abb. 5.5) und Bing Maps (Abb. 5.6) verschieben die auf die Karte geklickten Routenorte immer automatisch auf die nächstgelegene Stelle des jeweils vorhandenen Wegenetzes. Ovi (Abb. 5.7) erlaubt ein Platzieren von Routenorten auch im Gelände. Dies scheint zunächst nutzerfreundlicher. Tatsächlich sieht der Nutzer jedoch erst durch die generierte Route, welche Wegenetzpunkte der Dienst anstelle der eingegebenen Orte benutzt. Bei Google Maps und Bing Maps kann der Nutzer diese ggf. noch vor der Berechnung anpassen. Je mehr Wege im Netz fehlen, desto problematischer ist es, insbesondere für Ortsfremde, die Routenpunkte im Gelände mit dem Wegenetz zu verbinden. Im Falle des Startpunktes hinter dem Universitätshauptgebäude kann sogar dieses Gebäude eine Barriere zwischen dem Nutzerstandort und dem Wegenetz sein (Abb. 5.7).

Im Vergleich mit dem CampusGIS zeigt sich neben dem generellen Mangel an Fußwegen, dass keiner der Anbieter eine Fußwegberechnung mit einer Differenzierung nach unterschiedlichen Nutzergruppen zulässt. Zusatzinformationen über Steigung und Gefälle, Oberflächenbelag u. ä. könnten nicht nur für Gehbehinderte, sondern z. B. auch für Inline-Skater von Interesse sein.

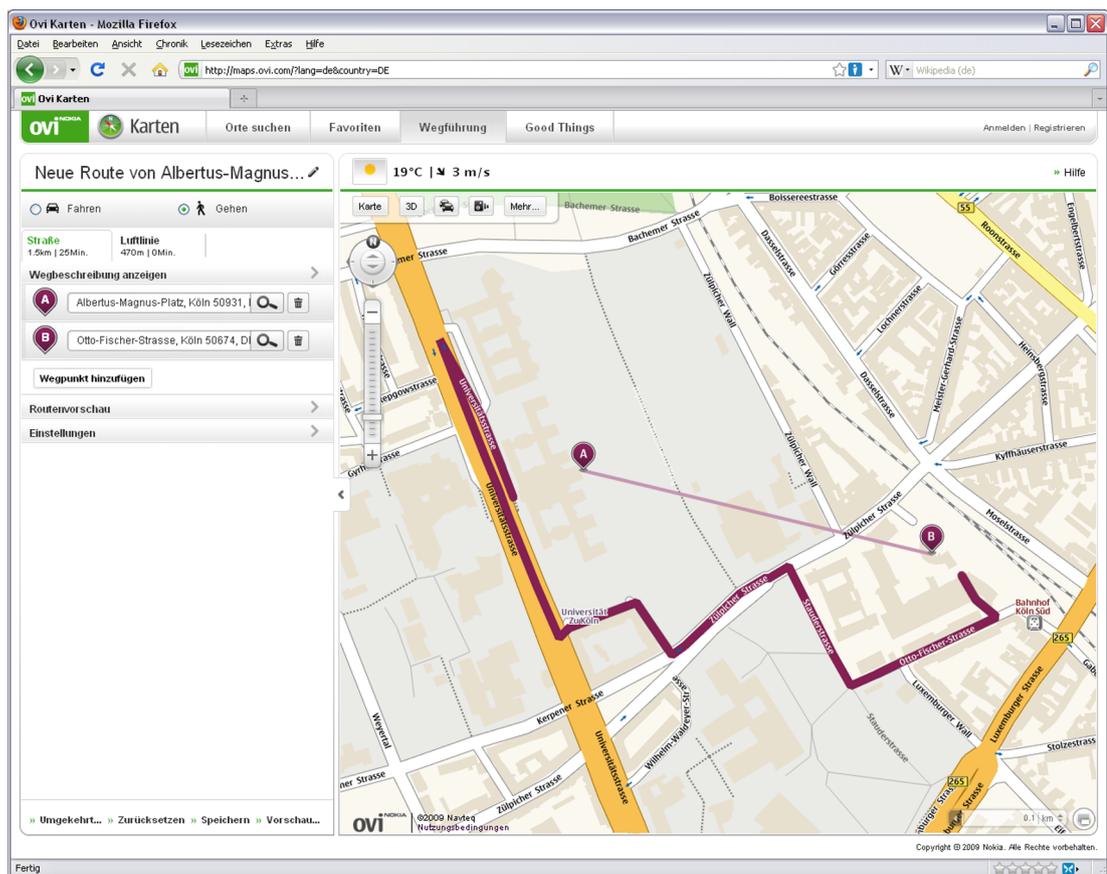


Abb. 5.7: Nokia Ovi Karten – Fußweg vom Universitätshauptgebäude zum Rundbau
(<http://maps.ovi.com> – Zugriffsdatum: 29.04.2010)

Für Testzwecke innerhalb des Dissertationsvorhabens wurde von Tele Atlas der Datensatz Geo-Street+ in einer Lizenz für drei Jahre zur Verfügung gestellt. Die Daten liegen im SDC-Format (Smart Data Compression) vor. Dieses verschlüsselte und hochkomprimierte Datenformat kann zu Shapefiles oder anderen gängigen GIS-Formaten konvertiert werden, verliert dann jedoch die durch die Komprimierung bedingten Vorteile des geringen Speicherplatzbedarfs und der erhöhten Verarbeitungsgeschwindigkeit. Eine Konvertierung ist notwendig, um eigene Daten wie die Fußwege, Gebäude und Gebäudeeingänge topologisch in den Tele Atlas-Datensatz zu integrieren.

Das Erstellen von Daten im SDC-Format ist nur mit dem Daten-Entwicklerset (Data Developer's Kit) möglich, das in Verbindung mit einer Schulung bei ESRI in den USA zu erwerben ist. Möglich wäre, die Daten nach der Integration zur Konvertierung an einen von ESRI autorisierten Dienstleister zu übergeben. Unabhängig von den dadurch entstehenden Kosten bedeutet das jedoch, dass Aktualisierungen und Ergänzungen an den Daten nicht mehr möglich sind bzw. für jede Änderung eine erneute Konvertierung veranlasst werden müsste. Auch die Erstellung eines Netzwerkdatensatzes müsste in Auftrag gegeben werden, denn ArcGIS erlaubt das Le-

sen, jedoch nicht die Erstellung eines Netzwerkdatensatzes mit SDC-Daten. Damit ist es nicht möglich, Editierungen im Netzwerkdatensatz vorzunehmen, was aber im Verlauf der Projektentwicklung wichtig ist. Aus diesen Gründen wurde bisher auf eine Nutzung der Tele Atlas-Daten verzichtet und kann für die Zukunft auch nicht empfohlen werden.

Alternativ muss die Nutzung der OpenStreetMap-Daten geprüft werden. Entsprechend dem Grundgedanken der kollektiven Erfassung ist es leicht möglich, die eigenen Daten wie Fußwege und Universitätsgebäude zu integrieren. Damit werden die Lücken geschlossen, die kommerziell angebotene Datensätze enthalten (GELERNTER, 2008). Als weitere Vorteile gelten die kostenfreie Nutzung, die hohe Aktualität sowie die mit kommerziellen Daten vergleichbare oder sogar bessere Qualität der Daten (LAUER und ZIPF, 2009; OVER et al., 2009; GILES, 2005). Die steigenden Nutzerzahlen und das dem Projekt zugrunde liegende Konzept der gegenseitigen Kontrolle lässt die Schließung von noch bestehenden Datenlücken sowie weitere Qualitätsverbesserungen erwarten (KRAMPE, 2009). Im Gegensatz zu den Implementierungstests mit den Tele Atlas-Daten wurde der OpenStreetMap-Datensatz noch nicht für die Anwendung im CampusGIS getestet. Der Blick auf das Projekt der University of Maryland oder das Rollstuhl-Routing von MÜLLER (2009a) versprechen jedoch eine Eignung dieser Daten.

Datenverwaltung

Das Konzept des CampusGIS basiert auf der Verknüpfung verschiedener, verteilter Datenbanken mit raumbezogenen Daten. Diese Geodaten liegen in Form von Geobjekten vor. Während für den Aufbau des GIS und die erste Version des CampusGIS zunächst Geodaten im SHP-Format verwendet wurden, wurden die Daten für das CampusGIS V. 2 in eine ESRI file-GDB importiert. Damit liegt den räumlichen Daten eine definierte Struktur aus Objektklassen zugrunde, die in Objektdatensätzen innerhalb der GDB gruppiert sind. Diese Struktur verbessert sowohl die Leistungsfähigkeit des Systems als auch die Möglichkeiten der Datenverwaltung (CHILDS, 2009; ARCTUR und ZEILER, 2004). Ausschlaggebend für das CampusGIS war, dass das Erstellen einer Topologie und eines Netzwerkdatensatzes das Datenformat einer GDB benötigt. Beides ist für die Routinganwendungen unabdingbar.

Die Attribute der externen Datenbanken sind über die Gebäude-ID an die Geobjekte der GDB angebunden. Dies ermöglicht neben der raumbezogenen zusätzlich eine attributive Abfrage der Gebäudedaten. Über die Gebäude-ID sind auch die Eingänge mit den Eigenschaften der Gebäude verknüpft. Für die Kommunikation zwischen den DB-Servern werden standardisierte Protokolle und Programmiersprachen verwendet (ISRAELEN und FREDERIKSEN, 2005). Die Dienststruktur des jeweiligen Servers gibt vor, über welches Protokoll bzw. welche Sprache die Anfragen DB-konform verarbeitet werden. Das CampusGIS setzt dafür JSP, HTTP, SQL und PHP ein.

Die CAD-Daten wurden georeferenziert und als Objektklassen, gruppiert in Objektdatensätze, in die GDB importiert. Damit stehen diese hoch genauen Vektordaten raumbezogen zur Verfügung. Eine automatisierte Georeferenzierung der Pläne ist bisher nicht möglich, so dass die Pläne jedes Gebäudes zur Integration einzeln mit Koordinaten versehen werden müssen. Dieser Aufwand lohnt zur Ableitung von Rauminformationen, die insbesondere der Raumbelegungsplanung sowie der Innenraumnavigation dienen. In Kombination mit einer Schnittstelle zur Bau-

verwaltungsdatenbank erhöht sich der Nutzen auch für die mit der technischen Gebäudeverwaltung betrauten Abteilungen.

Die Integration der CAD-Daten in das GIS erlaubt, zu den Zeichnungsobjekten DB-basiert Eigenschaften abzuspeichern. Außerdem ermöglicht sie die Anbindung an die Gebäudedatenbank über die Gebäude-ID, so dass die in der Gebäudedatenbank vorliegenden attributiven Informationen auch in Verbindung mit den CAD-Zeichnungen abgefragt werden können. Allerdings geht auf diesem Weg das Potential der CAD-Umgebung verloren: Die integrierten CAD-Zeichnungen eignen sich nunmehr lediglich der Visualisierung, nicht aber der Konstruktion und Bearbeitung. Der umgekehrte Ansatz zur Kombination von GIS und CAD scheint aus diesem Blickwinkel sinnvoller: mit GIS-Funktionalität erweiterte CAD-Software (Kap. 3.4.4) ermöglicht, Geodatendienste aus dem CampusGIS oder anderen Portalen in die CAD-Umgebung zu integrieren. Damit stehen auch dort ergänzende raumbezogene Informationen zur Verfügung (ASTROTH, 2008). Bedingt durch die diensteorientierte Architektur der heutigen und zukünftigen Webanwendungen wird die Interoperabilität in beiden Richtungen – sowohl die Integration von CAD-Zeichnungen in GIS-Anwendungen als auch die Integration von GIS-Diensten in CAD-Umgebungen – weiter ausgebaut werden. Damit wird zumindest eine Visualisierung des jeweils fremden Datenformats systemübergreifend gegeben sein. Erfassung, Konstruktion und Verwaltung werden den jeweiligen Expertensystemen vorbehalten bleiben.

Neben den angesprochenen Datenbanken, auf die das CampusGIS zur Personen-, Gebäude- und Einrichtungsabfrage zugreift, wurde eine weitere Datenbank erstellt, um die CampusRundgänge zu verwalten. Für den Aufbau und die Pflege dieser Datenbank, aus der die Informationen zu den Standorten der Rundgänge ausgelesen werden, sind die Mitarbeiter des Projekts CampusRundgänge verantwortlich. Zur Diskussion stand, anstelle der DB-basierten Struktur statische Webseiten für jeden Standort zu erstellen, die als HTML-Dokumente abgespeichert und von der CampusRundgänge-Website aufgerufen werden. Für die Umsetzung nur eines Rundgangs mit den erwähnten sieben bis zehn Standorten wäre dies sicher die weniger aufwendige Lösung gewesen. Jedoch sollen die CampusRundgänge erweitert werden. DB erleichtern die Verwaltung der Inhalte und Änderungen sowie Aktualisierungen von Texten und Medien. Sie helfen redundante Datensätze zu vermeiden; es genügt, die DB an einer Stelle zu aktualisieren, um die gleichen Informationen auch auf mehreren Webseiten anzuzeigen. DB lassen sich ohne großen Aufwand erweitern und sind zukunftsorientiert.

Visualisierung

Die Universität soll im Außenauftritt als Einheit und unverwechselbar wahrgenommen werden. Dafür wurden Gestaltungsvorgaben für den visuellen Auftritt aller Einrichtungen entwickelt und definiert (UZK, 2006). Diese Regeln werden durch das Webdesign des CampusGIS weitgehend befolgt, so dass insbesondere der Kopfbereich der Website die Identität der Universität widerspiegelt. Bei der weiteren Aufteilung der Website konnten aus Gründen der Funktionalität nicht alle Vorgaben berücksichtigt werden.

Für die Generierung der CampusGIS-Karten sind im System – in Anlehnung an die Gestaltungsvorgaben – Eigenschaften für eine ästhetische Kartographie vordefiniert. Daneben ist die maßstabsabhängige Darstellung der Geoobjekte unter Mitwirkung der Abteilung für Kartogra-

phie des Geographischen Instituts der Universität zu Köln festgelegt worden. Unter diesen Voraussetzungen können, wenn seitens der Universitätsverwaltung der Wunsch besteht, aus dem CampusGIS die offiziellen Lagepläne abgeleitet werden, so dass auch in den Lageplänen die Identität der Universität – sei es auf der Website oder in gedruckter Form – sichtbar wird.

Für die Universitätsgebäude wurde ein Rotton gewählt, weil sie in der Karte hervorgehoben werden sollen. Dabei unterscheiden sich die Gebäude des Universitätsklinikums von denen der universitären Hochschule, um dem Nutzer eine erste Orientierungshilfe zu geben. Mit wachsendem Maßstab steigen auch die in der Karte dargestellten Informationen (PATALAVICIUTE et al., 2005). Neben Beschriftung von Straßen und Gebäuden werden auch Symbole für die Zugänglichkeit der Gebäudeeingänge und Wege sowie für Dienstleistungs- und Einzelhandelsunternehmen eingeblendet. Die Symbole werden maßstabsabhängig in verschiedenen Größen dargestellt.

Die 3D-Visualisierung des CampusGIS bedarf weiterer Entwicklung und der technischen Einbindung in die bestehende Webapplikation. Aktuelle Ansätze zur Erweiterung des Feinheitsgrads der Darstellung von dem im Rahmen einer Diplomarbeit generierten Klötzchenmodell zu fotorealistischen Modellen werden von WILLMES et al. (2010) aufgezeigt und diskutiert. Wie in Kap. 4.6.8 beschrieben, ist die 3D-Visualisierung bisher nicht mit den anderen Funktionalitäten des CampusGIS kombiniert. Dies sollte ein nächster Schritt sein, um das CampusGIS nutzerfreundlicher, attraktiver und realitätsnäher zu gestalten.

Insbesondere für das CampusGIS-Mobil muss ein Mittelweg gefunden werden zwischen guten Orientierungsmöglichkeiten, die durch 3D-Modelle unterstützt werden können, und der bereits in Kap. 3.6.3 erwähnten simplifizierten Darstellung der Geoobjekte, um einen möglichst geringen Datenfluss für die Nutzung mit mobilen Endgeräten zu gewährleisten (WESKAMM, 2010). Eine egozentrische Kartenansicht, in der nutzernahe Bereiche detaillierter als die weitere Umgebung dargestellt werden (DOGRU et al., 2008), könnte die Anwendungen des CampusGIS für die Nutzung auf mobilen Endgeräten weiter perfektionieren.

Ortsbestimmung

In die vorgestellten universitären WebGIS sind keine Anwendungen zur Ortsbestimmung integriert. Zur Bewertung der Anwendungen, auf die das CampusGIS-Mobil zurückgreift, müssen daher andere Aspekte herangezogen werden. In Kap. 3.5.2 werden verschiedene Methoden elektronischer Verfahren vorgestellt, die nicht vom Wissen des Nutzers um seinen Aufenthaltsort abhängig sind, sondern ihn selbst ermitteln. Dies ist eine grundlegende Voraussetzung für echte, ortsbezogene Dienste, die ausgehend von Navigationsanwendungen als besondere Anwendungen für mobile Nutzer entwickelt wurden (VAUGHAN-NICHOLS, 2009).

Mit den Mobiltelefonen der neueren Generation verfügen viele mobile Endgeräte bereits über GPS-Empfänger. Sie sind auch als USB-Stick oder direkt integriert in Note- und Netbooks erhältlich. Mithilfe der satellitengestützten Methoden sind sehr genaue Positionsbestimmungen möglich. Diese Genauigkeit kann von den unter dem Begriff Netzwerklösungen zusammengefassten Ortsbestimmungsmethoden in der Regel nicht erreicht werden. Im Vergleich zu den satellitengestützten Lösungen sind diese dagegen nicht von der Verfügbarkeit eines GPS-Empfängers abhängig. Sie nutzen verschiedene Infrastrukturen wie z. B. W-LAN- oder Funkzellennetze oder,

wie von MUIR und VAN OORSCHOT (2006) beschrieben, die die Rechner kennzeichnenden IP-Adressen.

Sinnvoll und nutzerfreundlich ist die Kombination verschiedener Methoden, wie sie die vom W3C spezifizierte Geolocation-API ermöglicht. Je nach Verfügbarkeit entnimmt sie einem in das mobile Endgerät integrierten GPS-Empfänger die genaue Position oder nähert sie über die Zugangsknoten der genannten Netzwerke an. Diese API ist in verschiedene aktuelle Browser bereits integriert oder kann als Erweiterung nachinstalliert werden (WESKAMM, 2010). Trotz einer Abfrage, ob der Nutzer der Ermittlung des Standorts zustimmt, steht diese Methode in der Kritik von Datenschützern, die hier einen Eingriff in die Privatsphäre des Nutzers sehen (DOTY et al., 2010).

Algorithmen

Wie zuvor beschrieben, ist ein geometrisch-topologischer Netzwerkdatsatz die Basis für die vom CampusGIS V. 2 angebotenen Routenberechnungen. Mathematisch betrachtet stellt der Netzwerkdatsatz einen Graphen dar, der durch die Menge seiner Knoten und Kanten definiert wird. Zusätzlich zu diesem Graphen werden Algorithmen benötigt, die vorgeben, wie das Kürzeste-Wege-Problem zu lösen ist. Bei der Wahl eines Algorithmus für das Kürzeste-Wege-Problem sind insbesondere die zwei Faktoren

- Rechenzeit und
- Speicherbedarf

zu berücksichtigen. Soll der Algorithmus den kürzesten Weg in Echtzeit berechnen, erhöht sich die Bedeutung der Rechenzeitminimierung. Bedarf an einer schnellen Lösung besteht z. B. bei der Navigation, die Routenganweisungen in Echtzeit zur Verfügung stellen muss. Dies ist all jenen bekannt, die einer Anweisung des Kfz-Navigationsgeräts nicht folgten und dann auf eine neue Berechnung mit modifizierter Route warten mussten. Aber auch Routengenerierungen im Internet dürfen nicht lange dauern, denn die Nutzer erwarten schnelle Antworten (ADNAN et al., 2010). Zusätzlich sorgt eine minimierte Rechenzeit dafür, dass die Ressourcen des Computers für weitere Anwendungen zur Verfügung stehen (CIGNA et al., 2009).

Der Speicherbedarf besteht auf Seiten des Servers. Im Verlauf der Berechnung sind Zwischenergebnisse zu speichern. Was genau gespeichert wird, ist vom Algorithmus abhängig. Die Algorithmen können z. B. Informationen darüber benötigen, welche Netzwerkknoten bereits verarbeitet wurden, ob und mit welchem Wert dieser Knoten in der weiteren Berechnung berücksichtigt werden muss und welche Kanten und Knoten zur Lösung des Problems führen. Der Speicherplatzbedarf ist außerdem abhängig von der Anzahl der Kanten und Knoten des Graphen.

Der Dijkstra-Algorithmus betrachtet jeden Knoten des Netzwerks einmal, kennzeichnet ihn und belegt ihn nur dann mit dem kumulativen Gewicht seit Berechnungsanfang, wenn er die kürzeste Strecke seit dem Start darstellt. Sobald ein anderer Knoten diese Bedingung erfüllt, wird dieser gekennzeichnet und mit dem neuen Distanzwert gespeichert. Ausgehend vom Startknoten werden alle Knoten des Netzwerks besucht. Die Berechnung breitet sich dadurch ringförmig um den Startknoten aus (BRINKHOFF, 2008).

Im Gegensatz zu diesem Vorgehen erlaubt der Bellman-Ford-Algorithmus das wiederholte Besuchen eines Knotens. Dadurch können – insbesondere bei großen Netzwerken – längere Rechenzeiten entstehen (ZHAN und NOON, 1998). Die Rechenzeit kann bei Verwendung des A*-Algorithmus, bedingt durch dessen heuristischen Ansatz, verringert werden. Dieser Algorithmus berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Knoten Teil des kürzesten Wegs zum Ziel ist. In einem Wegenetzwerk würde dieser Algorithmus daher einen Knoten bevorzugt betrachten, der in Richtung des Ziels liegt. Allerdings werden von diesem Algorithmus alle besuchten Knoten gespeichert, woraus ein hoher Speicherbedarf resultiert.

Interessant und bemerkenswert ist, dass die genannten Algorithmen in den 1950-1960er Jahren entwickelt wurden, also aus einer Zeit stammen, als noch keine Computer zur Lösung mathematischer Probleme zur Verfügung standen. Auch die EDV änderte nichts an ihrer Bedeutung. Immer wieder müssen sich neue Algorithmen dem Vergleich mit diesen Algorithmen stellen, bisher wurde keine überzeugende neue Lösung gefunden. Die jüngeren Ansätze basieren oftmals sogar auf dem Dijkstra-Algorithmus, konnten ihn jedoch bisher nicht ablösen.

Programmierseitige Umsetzung

Die in Kap. 5.1 vorgestellten WebGIS-Angebote anderer Universitäten zeigen, dass die Umsetzung eines solchen Projekts mithilfe verschiedener Softwareprodukte möglich ist. Das Spektrum reicht von Programmen zur Herstellung graphischer Animationen wie Flash bis hin zu Produkten wie ArcGIS Server oder UMN Mapserver, die professionelle GIS-Anwendungen integrieren können. Dazwischen existiert sogenannte Mappingsoftware wie ArcIMS, die dynamische Karten erstellen, aber kaum GIS-Funktionalität bereitstellen kann. Daneben zeigt ein Beispiel, dass raumbezogene Daten aus einem CAFM-System abgeleitet werden können. Die Wahl der Software muss sich daher zunächst nach der Funktionalität richten, die das Endprodukt anbieten soll.

Aus diesem Grund wurde nach der Entwicklung des CampusGIS V. 1 auf Basis des ArcIMS die Serversoftware gewechselt und das CampusGIS V. 2 ArcGIS Server-basiert entwickelt. Diese Software erlaubt durch die Erweiterung Network Analyst, die für das CampusGIS bedeutende Routinganwendungen umzusetzen.

Auch für den ArcIMS wird eine Erweiterung angeboten, die Routenberechnungen in die ArcIMS-Umgebung integrieren soll: der ArcIMS Routeserver. Allerdings verlangt diese Software nach Daten im SDC-Format, die aus den vorgenannten Gründen für das CampusGIS nicht benutzt werden konnten. Die Entwicklung von Routeserver-Anwendungen scheiterte bei allen Versuchen, den SDC-Datensatz Tele Atlas GeoStreet+ ohne die campuspezifischen Fußwege und Gebäude zu implementieren. Fehler- und Problembeschreibungen konnten von ESRI-Deutschland mangels Erfahrung nicht kommentiert werden. Als ArcGIS Server mit Network Analyst-Erweiterung verfügbar war, wurde seitens ESRI ein Wechsel auf diese neue Technologie empfohlen. Mittlerweile gibt ESRI bekannt, dass die Entwicklung des Produkts ArcIMS eingestellt wird¹⁹.

¹⁹ <http://www.esri.com/software/arcgis/arcims/index.html> – Zugriffsdatum: 27.04.2010

Auch auf Basis des ArcGIS Server, Vers. 9.2, konnte die Routinganwendung zunächst nicht implementiert werden, denn diese Software erlaubte keine Ausgabeparameter vom Typ Network Analyst Layer. Dies ist jedoch das Format, in dem ArcGIS Server die generierten Routen ausgibt. Nach Auskunft von ESRI sollte dieses Datenformat zur Ausgabe in der Version 9.3 unterstützt werden, so dass das Erscheinen dieser Version abgewartet wurde. Es zeigte sich, dass auch ArcGIS Server 9.3 nur über den in Kap. 4.3.2 beschriebenen Umweg, nämlich durch eine Datenselektion, die Ausgabe der Route ermöglicht.

Diese Probleme sind ärgerlich, insbesondere wenn bedacht wird, welch hochwertiges und kostenintensives Programmpaket ESRI mit der ArcGIS-Produktpalette entwickelt hat. Der Wechsel von ArcIMS zu ArcGIS Server und bei beiden Produkten zwischen verschiedenen Versionen war im Rahmen dieses Disserationsvorhabens nur aufgrund des vorhandenen Hochschullizenzvertrags möglich.

Diese Darstellung zeigt auch, dass sich die Entwicklung des CampusGIS beständig an den aktuellen Marktentwicklungen orientierte. Bereits mit dem CampusGIS V. 1 wurde AJAX implementiert, noch bevor sich diese Technologie-Kombination im Web 2.0 durchsetzte (BAASER, 2007; BAASER et al., 2008). Mit dem Wechsel zu ArcGIS Server wurde die Systemarchitektur des CampusGIS wiederum den aktuellen Entwicklungen angepasst: Die Ausgabe an den Client, zuvor in HTML und JavaScript übertragen, wird seither durch JSP realisiert. Dies schien eine zukunftsweisende Methode zu sein. In der Folge wuchs allerdings die Leistungsfähigkeit von JavaScript enorm, die Entwicklung von JavaScript-Schnittstellen wurde forciert und die gegenüber Java einfachere Handhabung verhalf der Skriptsprache zum Aufstieg in die zehn weitest verbreiteten Programmiersprachen (KIENLE, 2010).

Der große Aufwand, der für das CampusGIS in die Java-basierte Entwicklung investiert wurde, und der fortgeschrittene Stand dieser Entwicklung erlaubte zu diesem Zeitpunkt, als auch ESRI ausgereifte JavaScript-Schnittstellen für ArcGIS Server bereitstellte, keinen erneuten Wechsel zurück zu JavaScript. Für die Zukunft muss dies jedoch in Erwägung gezogen werden, denn JavaScript scheint nun die vormals Java vorbehaltenen, dynamischen Lösungen mit deutlich weniger Programmieraufwand zu verbinden (RICHARDS et al., 2010). Neben den von HOFFMEISTER et al. (2009) dargestellten Anwendungsmöglichkeiten erlauben sowohl die ESRI ArcGIS API for JavaScript²⁰ als auch die ArcGIS JavaScript Extension for Bing Maps²¹ mittlerweile die Zusammenarbeit mit dem ArcGIS Server Network Analyst. So können nun auch auf dieser Basis die Routinganwendungen des CampusGIS integriert werden. Bei einem Wechsel zu den JavaScript-Schnittstellen würde das CampusGIS außerdem durch die Einbindungsmöglichkeiten insbesondere der Luftbilder und Vogelperspektiven von Bing Maps, mittels der ArcGIS JavaScript Extension for Bing Maps, profitieren.

Für andere Universitäten, die keinen Lizenzvertrag mit ESRI haben, bietet sich der UMN Mapserver für die Umsetzung eines WebGIS an. Als Open Source-Software profitiert er von Anwendungsimplementationen einer regen und großen Nutzergemeinde, die in der Regel ebenso wie

²⁰ <http://resources.esri.com/arcgisserver/apis/javascript/arcgis> – Zugriffsdatum: 28.04.2010

²¹ <http://resources.esri.com/arcgisserver/apis/javascript/ve> – Zugriffsdatum: 28.04.2010

der Mapserver selbst kostenfrei bereitgestellt werden. Das vorgestellte Campus GIS der TU Freiberg zeigt eine nutzerfreundliche und stabile Umsetzung auf Basis des UMN Mapserver. Über verschiedene Erweiterungen lassen sich auch Routinganwendungen in diese Systemumgebung implementieren. Auch für das CampusGIS der Universität zu Köln sollte diese Software näher betrachtet werden, um die aktuellen Entwicklungen im Open Source-Bereich zu untersuchen und sich ggf. von ESRI unabhängig zu machen.

5.4 Aktuelle Entwicklungen raumbezogener Anwendungen und ihr Potential für das universitäre Umfeld

Nach den vergleichenden Betrachtungen universitärer WebGIS bezüglich ihrer Inhalte, Anwendungen und methodischen Umsetzung in den vorangegangenen Unterkapiteln dürfen die technischen Fortschritte im Bereich des Internet und der mobilen Endgeräte nicht außer Acht gelassen werden. Im Gegenteil, sie müssen in der Konzeption universitärer WebGIS Berücksichtigung finden, damit diese Informationssysteme für die Anwender attraktiv bleiben bzw. attraktiver werden und dem Nutzer wirklichen Mehrwert bieten.

Bereits eingehend betrachtet wurden die Entwicklungen der Geoportale. Bedeutend ist die Darstellung von 3D-Stadtmodellen. Dies umso mehr, wenn die Fassaden fotorealistisch texturiert sind. Im Beispiel des CampusNavigators der TU Dresden ist diese Funktionalität auch bereits im Umfeld eines universitären WebGIS implementiert. Eine weitere Detailerhöhung der 3D-Stadtmodelle ist die virtuelle Begehbarkeit (Kap. 2.5.5).

Alternativ werden Panoramabilder angeboten, die einen realistischen Eindruck der Umgebung geben. Neben dem bereits in Kap. 2.5.5 erwähnten Google StreetView bietet Microsoft eine entsprechende Anwendung namens Bing Siteview. Es ist abzusehen, dass beide Unternehmen diese Anwendungen als Geodienste zur Integration in fremde Websites freigeben. So stellen sie schon Schnittstellen bereit, über die Google Maps und Bing Maps inkl. der Luft- und Satellitenbilddaten in andere Projekte integriert werden können. Bis dahin ermöglichen Panoramabilder oder -animationen eine verbesserte Visualisierung. Drei Flashanimationen mit Aufnahmen aus der Umgebung des Universitätshauptgebäudes stehen auf der Website der Universität zu Köln zur Verfügung und könnten in das CampusGIS integriert werden.

Vereinzelte Unternehmen beginnen, die gegenüber der Kfz-Navigation veränderten Anforderungen von Fußgängern an Routinganwendungen zu berücksichtigen und Fußgänger-Routing anzubieten (Tab. 2.1). In diesem Bereich besteht noch immer ein großer Bedarf an Fußgänger-spezifischen, räumlichen Informationen (GAISBAUER und FRANK, 2008). Im Rahmen des CampusGIS der Universität zu Köln wurden sie beispielsweise bereits erfasst. Jedoch soll hier nicht weiter auf die Inhalte eingegangen, sondern insbesondere eine bedeutende, technische Entwicklung aufgezeigt werden:

Aktuell zeigen sich große Umbrüche bei der Verfügbarkeit von Anwendungen auf mobilen Endgeräten. Als Vorreiter ist hier das iPhone von Apple zu nennen. Für dieses Gerät, aber mehr und mehr auch für entsprechende Geräte anderer Hersteller, werden sogenannte Apps (Kurzform für Applikation) entwickelt. Dies sind kleine eigenständige Programme, die auf dem mobilen Gerät

installiert werden können und es mit zusätzlicher Funktionalität ausstatten. Der Vorteil gegenüber einem Angebot wie CampusGIS-Mobil ist, dass der Nutzer – je nach Anwendung – nicht zwingend ständig mit dem Internet verbunden sein muss.

Für das universitäre Umfeld wären Apps als „mobile Alltagshelfer“ (Verband der deutschen Internetwirtschaft e. V. (eco), 2010a) nach dem Vorbild von z. B. CityWatch by Zannel interessant. Diese App zeigt dem Nutzer, wer seiner Bekannten in der Nähe ist und was aktuell in seiner Umgebung passiert. Die App ermöglicht es den Nutzern außerdem, miteinander in Kontakt zu treten und sich auszutauschen (BUTCHER, 2008). Denkbare Anwendungen mit raumbezogenen Informationen des Campus und des angrenzenden Geländes wären für die in Kap. 2.7 vorgestellten Nutzergruppen z. B.:

- Gebäudesuche
- Hörsaalsuche
- Wegfinder zu zentralen Einrichtungen
- Suche von Bibliotheken, Laboren, Kopierern etc.
- Anzeige der Mensa-Speisepläne
- Liegenschafts- und Gebäudeverwaltung
- Freunde-/Kommilitonen-Finder
- Freizeitgestaltung
- Darstellung der Einzelhandels- und Dienstleistungsangebote
- Restaurantwahl

Bezogen auf das CampusGIS der Universität zu Köln könnte ein interaktiver Lageplan mit den Gebäuden, die Rundgänge und die Innenrauminformationen für die Gebäudeverwaltung als Apps angeboten werden. In Kombination mit den im Gerät vorhandenen Ortungsmöglichkeiten wird der Nutzer auf dem Gelände geleitet und ggf. zu seinem Wunschziel geführt.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das CampusGIS der Universität zu Köln stellt die zur Zeit funktionsreichste Implementierung eines WebGIS für den universitären Anwendungsbereich dar. Es konnten sowohl Orientierungs-, Ortsbestimmungs- und Routinganwendungen als auch Dienstleistungsinstrumente für die Immobilienverwaltung bereitgestellt werden. Für die Entwicklung der Anwendungen und Benutzerschnittstelle wurden drei potentielle Nutzergruppen identifiziert, die zahlreiche und unterschiedliche Ansprüche an das System stellen.

Als öffentliche Einrichtung ist die Universität gesetzlich verpflichtet, bei Neu- und Umbaumaßnahmen barrierefreie Zugänge zu schaffen. Bis dies für alle Gebäude umgesetzt ist, sollte Besuchern die Möglichkeit gegeben werden, sich über die Zugänglichkeit zu informieren. Die Bedeutung eines modernen, raumbezogenen Informationssystems im universitären Umfeld ist damit unbestritten.

Generell ist zwischen dem Aufwand zur Bereitstellung und dem Nutzen einer Anwendung abzuwägen. Eine genaue Beurteilung dieser Aspekte ist in vielen Fällen nur begrenzt möglich. Kommerziellen Geodaten mangelt es an Auflösung und Detailgenauigkeit. Fußwege und ihre Eigenschaften sind für Fußgänger-Routinganwendungen ergänzend zu erfassen. Für weitere campusrelevante Informationen spricht das CampusGIS über Schnittstellen Datenbanken an, für deren Aufbau und Pflege andere Institutionen verantwortlich sind. So werden aktuelle Daten genutzt sowie eine redundante Datenerfassung und -haltung vermieden.

Webgestützte Anwendungen entwickeln sich rasant und räumliche Informationen werden auch mobil abgefragt. Ortsbezogene Dienste (Location-based Services, LBS) stehen mehr und mehr im Zentrum des Interesses. Das CampusGIS-Mobil ermöglicht die mobile Nutzung der CampusGIS-Geodatendienste. Es hat sich bei der Entwicklung des CampusGIS gezeigt, dass der technische Fortschritt im Forschungsfeld mobiler, raumbezogener Anwendungen sehr schnell ist. Aus diesem Grund müssen fast jährlich Systemanpassungen und Weiterentwicklungen vorgenommen werden. Dieser Trend wird sich auch in den nächsten Jahren fortsetzen.

Es wird erwartet, dass der LBS-Markt nach 2012 – auch bedingt und angestoßen durch das europäische GNSS Galileo – nochmals deutlich anwächst (LOPEZ, 2007). Das IT-Forschungs- und Beratungsunternehmen Gartner in Stamford, Connecticut, setzt die LBS in der „Top 10 Consumer Mobile Applications for 2012“ auf Platz zwei und sagt voraus, dass die Nutzerzahl von weltweit 96 Millionen im Jahr 2009 auf 526 Millionen 2012 steigen wird (PETTEY und STEVENS, 2009). Dies ist auch an den aktuellen Angeboten der führenden Mobilfunk-Netzbetreiber zu sehen, die besonders die Geräte mit Ortungs- und – oftmals auch kostenfreier – Navigationsfunktionalität bewerben. Aufgrund der zweijährigen Vertragslaufzeit der meisten Mobilfunkverträge, an die i. d. R. auch der Kauf eines Mobilfunkgeräts gekoppelt ist, kommt es zu entsprechend periodischen Neuanschaffungen. Daher ist zu erwarten, dass in wenigen Jahren die meisten der Mobilfunkgeräte diese Funktionalitäten standardmäßig integriert haben.

Auch in Zukunft muss mit schnellen und bedeutenden Weiterentwicklungen in den Bereichen GIS und Internet gerechnet werden. Ebenso sind ständig neue Geräte mit zunehmender Funktionalität und erweiterten Anwendungsbereichen zu erwarten. Ein Beispiel dafür ist das gerade erschienene Apple iPad, das von manchem als Konkurrenz zu Smartphones oder Notebooks gesehen, vom Hersteller jedoch als dazwischen stehender, neuer Gerätetyp beworben wird. Es werden leichte, roll- oder faltbare Bildschirme entwickelt, die als „digitales Papier“ gedruckte Produkte ablösen. Die durch die geringe Bildschirmgröße der Smartphones bedingten Einschränkungen werden damit aufgehoben. Das Orientieren mithilfe eines Stadtplans – oder des CampusGIS – wird durch automatische Orts- und Richtungsbestimmung sowie nutzerdefinierte Maßstabsänderungen der digitalen Karte vereinfacht.

Für das CampusGIS sind zunächst die weiter zunehmende mobile Nutzung und die allgemeine Entwicklung des Softwaremarktes zu berücksichtigen. Aufgrund der gestiegenen Leistungsfähigkeit von JavaScript und der unkomplizierteren Handhabung gegenüber der mächtigen Programmiersprache Java sollte die nächste Version des CampusGIS – entsprechend dem CampusGIS-Mobil – auf einer JavaScript-basierten Systemarchitektur implementiert werden. Zuvor sind jedoch auch die anderen von ESRI unterstützten Schnittstellen für Flex und Silverlight hinsichtlich Leistung und Aufwand zu prüfen. Silverlight ist die Grundlage von Bing Maps (FISCHER, 2010), darauf basierende Anwendungen funktionieren allerdings bisher nicht unter Linux (KÖNIG und SCHÜLER, 2010).

Bei einer Änderung der Systemarchitektur ist auch zu beachten, dass für Juni 2010 die Veröffentlichung der Produktserie ArcGIS 10 angekündigt ist. Die Vorabveröffentlichung (pre release) steht bereits derzeit (Mai 2010) zur Verfügung. Insbesondere für die Network Analyst-Erweiterung sind Neuerungen angekündigt, die auch für das CampusGIS-Routing interessant sein könnten. Außerdem bietet ESRI ein Entwicklerwerkzeug für iPhone-Apps, mit dem eine CampusGIS-App entwickelt werden sollte.

Inhaltlich sind zahlreiche Erweiterungen für das CampusGIS denkbar. Geplant ist zunächst, die Routinganwendungen um Innenrauminformationen zu erweitern. Damit wird ein Raum-zu-Raum-Routing möglich, das das Auffinden von Personen erleichtert. Die Integration der 3D-Ansichten und die Kopplung an die Routinganwendungen verbessern die Visualisierung. Die für zwei Gebäude exemplarisch implementierten CAD-Pläne haben Pilotcharakter. Eine Ausweitung auf alle Gebäude und um ergänzende Leitungsinformationen, die z. B. die Ver- und Entsorgungsnetze abbilden, werden die technische Immobilienverwaltung unterstützen.

Die Sammlungen raumbezogener, nutzergenerierter Inhalte im Sinne der Neogeographie werden weiterhin anwachsen. An diesem Trend muss mitgewirkt werden: Die für das CampusGIS erhobenen Daten könnten in Projekte wie OpenStreetMap integriert werden, während im Gegenzug das CampusGIS die dort vorhandenen Daten als Geobasis nutzt. Unbestritten ist, dass Geodaten – auch in Zukunft – systematisch, regelmäßig und präzise zu pflegen und aktualisieren sind. Zusätzliche Dienste, die der Nutzergemeinschaft ermöglichen, aktuelle Termine und Daten zu veröffentlichen, könnten den Austausch zahlreicher studiums- und universitätsrelevanter Informationen fördern.

Quellenverzeichnis

- ADNAN, M.; SINGLETON, A.; LONGLEY, P. 2010: Developing Efficient Web-based GIS Applications. In: *Working Papers Series* 153 (2010), Feb., S. 1–15
- AdV 2007: *Bundeseinheitliche Transformation für ATKIS (BeTA2007). Version: 1.1.* – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)
- AdV 2007a: *Wissen(s)werte(s) über das amtliche deutsche Vermessungswesen.* Broschüre. – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)
- AdV 2008b: *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). Erläuterungen zum ATKISBasis-DLM. Vers. 6.0.* online. – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)
- AdV 2008c: *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). Hauptdokument. Vers. 6.0.* online. – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)
- AHRENS, G.-A. 2009a: Endbericht zur Verkehrserhebung 'Mobilität in Städten – SrV 2008' und Auswertungen zum SrV-Städtepegel / Universität Dresden. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. Nov. 2009a. – Forschungsbericht
- AHRENS, G.-A. 2009b: Sonderauswertung zur Verkehrserhebung 'Mobilität in Städten – SrV 2008'. Städtevergleich / Universität Dresden. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. Nov. 2009b. – Forschungsbericht
- AKINCI, B.; KARIMI, H.; PRADHAN, A.; WU, C.-C.; FICHTL, G. 2008: CAD and GIS interoperability through semantic web services. In: *ITcon* 13 (2008), S. 39–56
- ALBERTZ, J. 2007: *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen und Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.* 3., aktualis. u. erw. A. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 4 2007. – ISBN 9783534198788
- ALTMAIER, A.; KANY, C.; SCHMIDT, M.; MENZ, G. 2002: Generierung eines Digitalen Höhenmodells (DHM) aus CORONA-Satellitenbildern. In: *Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren - innovative Methoden.* 1. Aufl. Herbert Wichmann Verlag, 2002, S. 199–206

- ARCTUR, D.; ZEILER, M. 2004: *Designing Geodatabases. Case studies in GIS Data Modeling*. ESRI Press, 2004. – 250 S
- ASTROTH, J. 2008: Computer Environments for GIS and CAD. In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 112–118
- AUBRECHT, C.; DUTTER, M.; HOLLAUS, M.; STEINNOCHER, K. 2007: Objekt-orientierte Analyse von Fernerkundungsdaten mit anschließender Gebäudegeneralisierung als Basis für 3D-Visualisierungen im urbanen Raum. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2007. Beiträge zum 19. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, Juli 2007, S. 25–31
- Autodesk 2004: *CAD and GIS - Critical Tools, Critical Links. Removing Obstacles Between CAD and GIS Professionals*
- BAASER, U. 2003: *Multimediales, interaktives Web-GIS Rheinland-Pfalz*, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Diplomarbeit, 2003
- BAASER, U. 2007: Das Online-CampusGIS für die Universität zu Köln. In: *ArcAktuell* (2007), Nr. 2/2007, S. 45
- BAASER, U.; GNYP, M.; HENNIG, S.; HOFFMEISTER, D.; KÖHN, N.; BARETH, G. 2006: Online-CampusGIS für die Universität zu Köln. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2006. Beiträge zum 18. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, Juli 2006, S. 24–31
- BAASER, U.; GNYP, M.; HENNIG, S.; HOFFMEISTER, D.; KÖHN, N.; LAUDIEN, R.; BARETH, G. 2006a: CampusGIS for the University of Cologne: a tool for orientation, navigation and management. In: WU, H. (Hrsg.); ZHU, Q. (Hrsg.): *Geoinformatics 2006: Geospatial Information Technology* Bd. 6421. Wuhan, China: SPIE, Okt. 2006a, S. 64211L
- BAASER, U.; HENNIG, S.; AASEN, H.; DORNAUF, E.; GNYP, M.; HOFFMEISTER, D.; KÖHN, N.; LOUWEN, B.; LAUDIEN, R.; BARETH, G. 2008: AJAX-based linkage of databases for location-based-services: The Online-CampusGIS of the University of Cologne. In: CHEN, J. (Hrsg.); JIANG, J. (Hrsg.); NAYAK, S. (Hrsg.): *ISPRS Congress Proc.* Bd. XXXVII, Part B4, Commission IV. Beijing, China: Organising Committee of the XXI ISPRS Congress, Juli 2008, S. 745–750
- BAASER, U.; LAUDIEN, R.; BARETH, G. 2010: CampusGIS routing – a web-based LBS for the University of Cologne. In: *Proceedings of Joint International Conference on Theory, Data Handling and Modelling in GeoSpatial Information Science*, 2010. – (im Druck)
- BAKKEN, S.; AULBACH, A.; SCHMID, E.; WINSTEAD, J.; WILSON, L.; LERDORF, R.; ZMIEVSKI, A.; AHTO, J. 2002: *PHP Handbuch*. 13-09-2002, Sept. 2002
- BALL, M. 2006: Digital Reality: Comparing Geographic Exploration Systems. In: *GeoWorld* 01 (2006), Jan.

- BALZERT, H. 2004: *Webdesign & Web-Ergonomie*. 1. W3L GmbH, Herdecke, 2004. – 352 S
- BARTELME, N. 2005: *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen*. 4. vollständig überarbeitete Aufl. Springer, Berlin, 2005
- BEDOLL, S.; CULP, R.; EBBERS, M.; INNIS, B. 2007: *GIS based Enterprise Solutions with WebSphere Server and ArcGIS Server*
- BELLMAN, R. 1958: On a routing problem. In: *Quarterly of Applied Mathematics* 16 (1958), Nr. 1, S. 87–90
- BENEDICTO, J.; DINWIDDY, S.; GATTI, G.; LUCAS, R.; LUGERT, M. 2000: GALILEO: Satellite System Design and Technology Developments / European Space Agency. Nov. 2000. – Forschungsbericht
- BERNARD, L. (Hrsg.); FITZKE, J. (Hrsg.); WAGNER, R. (Hrsg.) 2004: *Geodateninfrastruktur. Grundlagen und Anwendungen*. 1. Wichmann, 2004
- BERNHARSDSEN, T. 2002: *Geographic Information Systems: An Introduction*. 3rd. John Wiley & Sons, 2002. – ISBN 9758721933
- Bezirksregierung Köln 2008a: *Erfassungsverfahren (und ihr Einsatz in NRW)*. – URL http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07_produkte/landschaftsinformation/hoeihenmodelle/erfassungsverfahren/index.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Bezirksregierung Köln 2008b: *Höhenmodelle*. – URL http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07_produkte/landschaftsinformation/hoeihenmodelle/allgemein/index.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Bezirksregierung Köln 2008c: *Digitales Geländemodell 5*. – URL <http://www.lverma.nrw.de/produkte/landschaftsinformation/hoeihenmodelle/gelaendemodelle/dgm5/DGM5.htm>. – Zugriffsdatum: 29.05.2009 – Diese Webseite ist nicht mehr verfügbar.
- Bezirksregierung Köln 2008d: *Digitales Oberflächenmodell*. – URL http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07_produkte/landschaftsinformation/hoeihenmodelle/dom/index.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Bezirksregierung Köln 2008e: *3D-Gebäudestrukturen (3D-GIS)*. – URL http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07_produkte/landschaftsinformation/hoeihenmodelle/3d/index.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010

- Bezirksregierung Köln 2008f: *ATKIS – DLM50*. online. – URL
http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07_produkte/landschaftsinformation/landschaftsmodelle/atkis_dlm_50/index.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Bezirksregierung Köln 2008g: *Luftbilder 1:13 000*. online. – URL
http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07_produkte/bildinformationen/luftbilder/index.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Bezirksregierung Köln o. J.: *Informationen zu TIM-online. Produktbeschreibung. Produktmerkmal. Nutzungsmöglichkeit*. online. – URL
<http://www.tim-online.nrw.de>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- BÄHR, H.-P.; VÖGTLE, T. 1998: *Digitale Bildverarbeitung. Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung*. 3. Aufl. Herbert Wichmann Verlag, 1998. – ISBN 9783879072705
- BILL, R.; C.CAP; KOF AHL, M.; MUNDT, T. 2004: Indoor and Outdoor Positioning in Mobile Environments – a Review and some Investigations on WLAN-Positioning. In: *Geographic Information Sciences* 10 (2004), Dez., Nr. 2, S. 91–98
- BILL, R. 1999a: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd. 1: Hardware, Software und Daten*. 4., völlig Neubearb. und erw. Aufl. Herbert Wichmann Verlag, 1999a
- BILL, R. 1999b: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen*. 2., völlig Neubearb. und erw. Aufl. Herbert Wichmann Verlag, 1999b
- BILL, R.; ZEHNER, M.; NAUMANN, M. 2001–2008: *Geoinformatik-Service*. online
- BITKOM 2010a: *Etwa jeder vierte Internetnutzer surft mobil*. Presseinformation. – URL
http://www.bitkom.org/de/presse/8477_63160.aspx. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM)
- BITKOM 2010b: *Smartphones erobern den Massenmarkt*. Presseinformation. – URL
http://www.bitkom.org/de/presse/49896_62420.aspx. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM)
- BITKOM 2010d: *Connected Worlds: Das Web gehört fest zum Alltag der Menschen*. Presseinformation. – URL
http://www.bitkom.org/de/presse/8477_62612.aspx. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM)

- BIZER, J.; DINGEL, K.; FABIAN, B.; GÜNTHER, O.; HANSEN, M.; KLAFFT, M.; MÖLLER, J.; SPIEKERMANN, S. 2006: TAUCIS. Technikfolgenabschätzung Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung / Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein and Institut für Wirtschaftsinformatik der Humboldt-Universität zu Berlin. Juli 2006. – Studie
- BKG (Hrsg.) 2008: *Geodienste im Internet - ein Leitfaden*. Broschüre. – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
- BKG (Hrsg.) 2009: *Digitale Landschaftsmodelle. Aufbau und Pflege des DLM 1 : 250 000*. – URL http://www.bkg.bund.de/nn_159362/DE/Bundesamt/Geoinformation/GI__Produktion/Landschaftsmodelle/Landschaftsmodelle__node.html. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
- BOHLMANN, G. 2008: Zielvereinbarung zum Modellversuch „Dezentrales Liegenschaftsmanagement“ von Minister Pinkwart sowie Rektor und Kanzler unterzeichnet. In: *mit uns. Zeitschrift für die nichtwissenschaftlichen MitarbeiterInnen der Universität zu Köln* (2008), März, S. 9
- BOLLMANN, J.; KOCH, W. 2002: *Lexikon der Kartographie und Geomatik*. CD-ROM
- BRABEC, F.; SAMET, H. 2007: Client-Based Spatial Browsing on the World Wide Web. In: *IEEE Internet Computing* 11 (2007), Nr. 1, S. 52–59. – ISSN 1089-7801
- BRIDWELL, S. 2008a: Location-Based Services (LBS). In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008a, S. 267–270
- BRIELE, M. 2006: *Voll orientiert! Suche war gestern – WLAN-Lokalisierung ist heute*. Presseinformation. – Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS)
- BRIESE, C.; KRAUS, K.; MANDLBURGER, G.; PFEIFER, N. 2001: Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner. In: *Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche in Obergurgl*, 2001, S. 17–26
- BRINKHOFF, T. 2008: *Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis: Einführung in objektrelationale Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wichmann, März 2008. – ISBN 9783879074723
- BROOKS, S.; WHALLEY, J. 2008: Multilayer hybrid visualizations to support 3D GIS. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 32 (2008), Nr. 4, S. 278 – 292. – Geographical Information Science Research - United Kingdom. – ISSN 0198-9715
- BUEHLER, K. 2003: *Data Models and Interoperability. An Open GIS Consortium (OGC) White Paper*. OGC White Paper. – Open Geospatial Consortium, Inc.
- BUHMANN, E.; WIESEL, J. 2007: *GIS-Report 2007/08: Software Daten Firmen*. 10. Aufl. Bernhard Harzer Verlag, Karlsruhe, 2007

- Bundesregierung (Hrsg.) 2002: *Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen (Behindertengleichstellungsgesetz – BGG)*
- BURROUGH, P. 1994: *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, 1994
- BURROUGH, P.; MCDONNELL, R. 1998: *Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems)*. korrig. Nachdr. Oxford University Press, 1998. – ISBN 9780198233657
- BUTCHER, D. 2008: CityWatch by Zannel launches LBS app for iPhone. In: *Mobile Marketer. The news leader in mobile marketing, media and commerce* (2008), Dez.
- CASTELLI, G.; ROSI, A.; MAMEI, M.; ZAMBONELLI, F. 2007: Ubiquitous Browsing of the World. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 7. – ISBN 9781846288265
- CHERKASSKY, B.; GOLDBERG, A.; RADZIK, T. 1996: Shortest paths algorithms: theory and experimental evaluation. In: *Math. Program.* 73 (1996), Nr. 2, S. 129–174. – ISSN 0025-5610
- CHILDS, C. 2009: The Top Nine Reasons to Use a File Geodatabase. A scalable and speedy choice for single users or small groups. In: *ArcUser* 12 (2009), Nr. 2, S. 12–15
- CHRISMAN, N. 2008: Geometric Primitives. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008, S. 197–200
- CIGNA, J.; DAVÉ, P.; HICKEY, C.; HOLZBERGER, J.; KUHN, M.; KWOK, S.; O’HAVER, B.; RYAN, E.; SLIVINSKI, L. 2009: Specializing pedestrian maps to address the needs of people using wheelchairs: a case study in community-sustainable information systems / Team FASTR (Finding Alternative Specialized Travel Routes), University of Maryland. 2009. – Thesis
- CODD, E. 1970: A relational model of data for large shared data banks. In: *Commun. ACM* 13 (1970), Nr. 6, S. 377–387. – ISSN 0001-0782
- CRAGLIA, M.; GOODCHILD, M.; ANNONI, A.; CAMARA, G.; GOULD, M.; KUHN, W.; MARK, D.; MASSER, I.; MAGUIRE, D.; LIANG, S.; PARSONS, E. 2008: Next-Generation Digital Earth. A position paper from the Vespucci Initiative for the Advancement of Geographic Information Science. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 3 (2008), S. 146–167
- CURTIN, K. 2007: Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections. In: *Cartography and Geographic Information Science* 34 (2007), Nr. 2, S. 103–111

- CURTIN, K. 2008: Network Data Structures. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008, S. 314–317
- CURTIN, K. 2008a: Network Analysis. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008a, S. 310–313
- CZERWINSKI, A.; GRÖGER, G.; DÖRSCHLAG, D.; STROH, V.; KOLBE, T.; PLÜMER, L. 2007: Nachhaltige Erweiterung der Geodateninfrastruktur für 3D-Geodaten auf Basis von CityGML — am Beispiel der EU-Umgebungslärmkartierung. In: *Kartographische Schriften*, Deutsche Gesellschaft für Kartographie, 2007, S. 67–74
- DAVIS JR., C.; LACERDA ALVES, L. 2008: Web Services, Geospatial. In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 1270–1273
- DE LANGE, N. 2005: *Geoinformatik in Theorie und Praxis*. 2. aktualis. und erw. A. Springer, Berlin, 2005. – ISBN 9783540282914
- DE SMITH, M. (Hrsg.); GOODCHILD, M. (Hrsg.); LONGLEY, P. (Hrsg.) 2006–2009: *Geospatial Analysis – a comprehensive guide. Web Version*. 3. Matador, Leicester, 2006–2009. – URL <http://www.spatialanalysisonline.com/output/>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- DECHTER, R.; PEARL, J. 1985: Generalized Best-First Search Strategies and the Optimality of A*. In: *Journal of the Association for Computing Machinery* 32 (1985), Juli, Nr. 3, S. 505–536
- DELANEY, E.; BOSMANS, D. 2008: *Google Signs Five Year Map Agreement with Tele Atlas*. – URL http://www.teleatlas.com/WhyTeleAtlas/Pressroom/PressReleases/TA_CT018846. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Deutscher Bundestag (Hrsg.) 2009: *Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten (Geodatenzugangsgesetz – GeoZG)*. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 8
- DEVLIN, G.; MCDONNELL, K.; WARD, S. 2008: Timber haulage routing in Ireland: an analysis using GIS and GPS. In: *Journal of Transport Geography* 16 (2008), Nr. 1, S. 63–72
- DIAZ, L.; GRANELL, C.; GOULD, M. 2009: *Spatial Data Integration Over the Web*. Bd. II. Kap. XXXVI, S. 325–333. In: FERRAGGINE, V. (Hrsg.); DOORN, J. (Hrsg.); RIVERO, L. (Hrsg.): *Handbook of Research on Innovations in Database Technologies and Applications: Current and Future Trends* Bd. II, IGI Global, 2009
- DICKMANN, F. 2001: *Web-Mapping und Web-GIS, mit CD-ROM*. 1. Auflage. Westermann, 2001
- DIEKMANN, T.; GEHRKE, N. 2003: Ein Framework zur Nutzung situationsabhängiger mobiler Dienste. In: DITTRICH, K. (Hrsg.); KÖNIG, W. (Hrsg.); OBERWEIS, A. (Hrsg.); RANNENBERG, K. (Hrsg.); WAHLSTER, W. (Hrsg.): *Informatik 2003: Innovative Informatikanwendungen* Bd. 34, 2003, S. 217–221

- DIJKSTRA, E. 1959: A note on two problems in connexion with graphs. In: *Numerische Mathematik* 1 (1959), S. 269–271
- DILLEMUTH, J. 2005: Evaluating maps for mobile display. In: GARTNER, G. (Hrsg.): *Location based services & Telecartography. Proceedings of the Symposium 2005*, Research Groupe Cartography within the Institute of Geoinformation and Cartography in Cooperation with the ICA Commission on Maps and the Internet, 2005 (Geowissenschaftliche Mitteilungen 74), S. 143–147
- DIN e. V. 1996: *Barrierefreies Bauen – Teil 2: Öffentlich zugängliche Gebäude und Arbeitsstätten, Planungsgrundlagen*, Nr. DIN 18024-2. – Deutsches Institut für Normung e. V.
- DIN e. V. 1998: *Barrierefreies Bauen – Teil 1: Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze; Planungsgrundlagen*, Nr. DIN 18024-1. – Deutsches Institut für Normung e. V.
- DÖLLNER, J. 2005: Smart-Buildings. In: *GeoBIT* 10 (2005), Nr. 3, S. 16–17
- DOGRU, A.; DUCHÊNE, C.; MUSTIÈRE, S.; ULUGTEKIN, N. 2008: User Centric Mapping for Car Navigation Systems. In: GARTNER, G. (Hrsg.); LEITINGER, S. (Hrsg.); REHRL, K. (Hrsg.): *Keynotes. Extended Abstracts. LBS Showcases. 5th Symposium on Location Based Services & Telecartography.*, Research Groupe Cartography within the Institute of Geoinformation and Cartography in Cooperation with the ICA Commission on Maps and the Internet, 2008, S. 114–118
- DOTY, N.; MULLIGAN, D.; WILDE, E. 2010: Privacy Issues of the W3C Geolocation API / UC Berkeley School of Information. Feb. 2010 (2010-038). – Information Report
- DÖRFFEL, G. 2008: OpenStreetMap Daten und ArcGIS – Geodaten als Wiki-Community Projekt. In: *ArcAktuell* (2008), Nr. 4/2008, S. 43
- ELIAS, B. 2007: Pedestrian Navigation - Creating a tailored geodatabase for routing. In: KAISER, T. (Hrsg.); JOBMANN, K. (Hrsg.); KYAMAKYA, K. (Hrsg.): *WPNC'07: 4th Workshop on Positioning Navigation and Communication 2007, Workshop Proceedings*, 2007, S. 41–47
- ESA; ESA und Europäische Kommission (Hrsg.) 2002: *Galileo. Das europäische Programm für weltweite Navigationsdienste*. Noordwijk, Niederlande, Sept. 2002 (BR-186). – European Space Agency (Europäische Weltraumorganisation)
- ESRI 1992: *Understanding GIS: The Arc/Info Method*. John Wiley & Sons, 1992. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2008b: *ArcGIS ModelBuilder. Eine deutschsprachige Einführung zu Aufbau und Umgang mit Geoverarbeitungsmodellen in ArcGIS*. online. – ESRI Geoinformatik GmbH

- ESRI 2008f: *ESRI-Supported Open Geospatial Consortium, Inc., and ISO/TC 211 Standards. White Paper.* – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009a: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: About Shapefiles, dBASE tables, and file types.* online. – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=3301&pid=3300&topicname=About_shapefiles,_dBASE_tables,_and_file_types. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009b: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: An overview of the geodatabase.* – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=2474&pid=2473&topicname=An_overview_of_the_geodatabase. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009d: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: Architecture of a geodatabase.* – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=2482&pid=2472&topicname=Architecture_of_a_geodatabase. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009f: *Algorithms used by Network Analyst.* online. – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Algorithms_used_by_Network_Analyst. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009g: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: About the ESRI Grid format.* online. – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=About_the_ESRI_Grid_format. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009h: *ArcGIS Desktop 9.3.1 Functionality Matrix.* – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009i: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: Using Select By Attributes.* – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=250&pid=247&topicname=Using_Select_By_Attributes. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI 2009j: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: Publishing optimized map services.* – URL http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=546&pid=545&topicname=Publishing_optimized_map_services. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI. 2009l: Simple CAD Interoperability. New build of ArcGIS for AutoCAD. In: *ArcUser* 12 (2009l), Spring, S. 6
- ESRI 2009m: *ArcGIS Desktop 9.3 Help: GP Service example: Shortest route on a street network.* online. – URL

- http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=gp_service_example:shortest_route_on_a_street_network. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI o.J. a: *ArcGIS Server 9.3 Help: Tuning and configuring services. Release 9.3.1*. online. – URL http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/java/index.htm#tuning_services.htm. – Zugriffsdatum: 03.02.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI o.J. b: *Using ArcIMS 9.3 Help: Welcome to ArcIMS*. online. – URL http://webhelp.esri.com/arcims/9.3/General/arcims_help.htm. – Zugriffsdatum: 04.02.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI o.J. c: *ArcGIS Server 9.3 Help: Map service capabilities. Release 9.3.1*. online. – URL http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3.1/java/index.htm#what_is_a_map_service.htm. – Zugriffsdatum: 04.02.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI o.J. d: *ArcXML Programmer's Reference Guide for ArcIMS 9.2*. online. – URL <http://edndoc.esri.com/arcims/9.2/>. – Zugriffsdatum: 05.02.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- ESRI o.J. e: *ArcGIS Server 9.3.1 Help. Configuring a multiple-machine deployment*. online. – URL <http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3.1/java/index.htm>. – Zugriffsdatum: 04.02.2010. – Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.
- Eurimage 2009: *Eurimage. Products and Services*. Broschüre
- European Space Imaging GmbH 2003: *IKONOS-2-Szene*, Nr. 5292. – Aufnahme vom 10.08.2003
- FGDC 2002: *Strategie für die Nationale Geodaten-Infrastruktur (National Spatial Data Infrastructure, NSDI)*. Strategiepapier. – Federal Geographic Data Committee
- FISCHER, F. 2008b: Innovative Location Based Services. Freitimer - a Location-based Tool. In: *GEOInformatics. Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals* 11 (2008b), Sept., Nr. 6, S. 24–29
- FISCHER, F. 2010: Everything will be Geo-tagged. Local Search Media become Social and Mobile in 2010 Finally. In: *GEOInformatics. Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals* 13 (2010), Jan./Feb., Nr. 1, S. 10–12
- FLACKE, W. 2007: *Koordinatensysteme in Deutschland*. Verzeichnis. – ESRI Geoinformatik GmbH
- FORD, L. 1956: Network Flow Theory. In: *RAND Corp.* (1956), S. 923

- FRANCICA, J. 2008a: Location-Based Services: Practices and Products. In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008a, S. 623–626
- FREIMUTH, A. 2009: *Informationen zum Gasthörer- und Seniorenstudium. Sommersemester 2009*. Broschüre. – Universität zu Köln
- GAISBAUER, C.; FRANK, A. 2008: Wayfinding Model For Pedestrian Navigation. In: BERNARD, L. (Hrsg.); FRIIS-CHRISTENSEN, A. (Hrsg.); PUNDT, H. (Hrsg.); COMPTE, I. (Hrsg.): *11th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2008*, 2008
- GARRETT, J. 2005a: *Ajax: A New Approach to Web Applications*. online. – URL <http://www.adaptivepath.com/ideas/essays/archives/000385print.php>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- GARTNER, G. 2003: Geovisualisierung und Kartenpräsentation im Internet – Stand und Entwicklung. In: ASCHE, H. (Hrsg.); HERRMANN, C. (Hrsg.): *Web.Mapping 2. Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste*. Herbert Wichmann Verlag, 2003, Kap. Geovisualisierung – Methodik und Anwendung, S. 45–56
- GDI-DE 2007: *Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland. Version 1. Konzept zur fach- und ebenenübergreifenden Bereitstellung von Geodaten im Rahmen des E-Government in Deutschland*. online. – Geodateninfrastruktur Deutschland. Arbeitskreis Architektur der GDI-DE, Geschäfts- und Koordinierungsstelle GDI-DE, con terra GmbH
- GELERNTER, J. 2008: Neogeography. In: FIORDO, R. (Hrsg.); DUMOVA, T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Social Interaction Technologies*. IGI Global, 2008, S. in prep.
- GeoEye 2009: *GeoEye-1 Fact Sheet*. Datenblatt
- GIFF, G.; VAN LOENEN, B.; CROMPVOETS, J.; ZEVENBERGEN, J. 2009: Geoportals in Selected European States: A Non-Technical Comparative Analysis. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 4 (2009)
- GI Geoinformatik GmbH (Hrsg.) 2007: *ArcPad 7 - das deutschsprachige Handbuch. Mit Einführung in GPS-Grundlagen und mobiles GIS sowie praktischen Übungsbeispielen zur Arbeit mit GNSS*. Wichmann, 2007
- GILES, J. 2005: Internet encyclopaedias go head to head. In: *nature* 438 (2005), Dez., Nr. 15, S. 900–901
- GIW-Kommission 2008: *Digitaler Rohstoff Geoinformation*. Faltblatt. – Kommission für Geoinformationswirtschaft
- GOLDBERG, A. V.; RADZIK, T. 1993: A heuristic improvement of the Bellman-Ford algorithm. In: *Applied Mathematics Letters* 6 (1993), Nr. 3, S. 3–6. – ISSN 0893-9659

- GOODCHILD, M. 2005: GIS, Spatial Analysis, and Modeling Overview. In: MAGUIRE, D. (Hrsg.); BATTY, M. (Hrsg.); GOODCHILD, M. (Hrsg.): *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Esri Pr, Juli 2005, S. 1–17. – ISBN 9781589481305
- GOODCHILD, M. 2007: Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 2* (2007), S. 24–32
- GOODCHILD, M. 2007a: Citizens as sensors: Web 2.0 and the volunteering of geographic information. In: *GeoFocus 7* (2007a), S. 8–10
- GOODCHILD, M. 2007b: Citizens as sensors: the world of volunteered geography. In: *GeoJournal 69* (2007b), Aug., Nr. 4, S. 211–221
- GORE, A. 1998: *The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century*. online. – The 5th International Symposium on Digital Earth - Bringing Digital Earth down to Earth
- GRANELL, C.; GOULD, M.; ESBRI, M. 2008: *Geospatial Web Service Chaining*. Kap. XXIV, S. 189–195. In: KARIMI, H. (Hrsg.): *Handbook of Research on Geoinformatics*, Idea Group Publishing, Jan. 2008
- GRANELL, C.; GOULD, M.; MANSO, M.; BERNABÉ, M. 2008: *Spatial Data Infrastructures*. Kap. V, S. 36–41. In: KARIMI, H. (Hrsg.): *Handbook of Research on Geoinformatics*, Idea Group Publishing, Jan. 2008
- GRAUL, C. 2002: Location Based Services – Motor mobiler Kommunikation? In: ZIPF, A. (Hrsg.); STROBL, J. (Hrsg.): *Geoinformation mobil*. 1. Wichmann, Jan. 2002. – ISBN 9783879073733
- GREJNER-BRZEZINSKA, D. 2004: Positioning and Tracking Approaches and Technologies. In: KARIMI, H. (Hrsg.); HAMMAD, A. (Hrsg.): *Telegeoinformatics: Location-based Computing And Services*. CRC P., 3 2004, Kap. 3. – ISBN 9780203501078
- GRÖGER, G.; KOLBE, T.; DREES, R.; KOHLHAAS, A.; MÜLLER, H.; KNOSPE, F.; GRUBER, U.; KRAUSE, U. 2004: Das interoperable 3D-Stadtmodell der SIG 3D der GDI NRW / Initiative Geodateninfrastruktur NRW. Mai 2004 (Vers. 2). – Forschungsbericht
- GRÖGER, G.; BENNER, J.; DÖRSCHLAG, D.; DREES, R.; GRUBER, U.; LEINEMANN, K.; LÖWNER, M.-O. 2005: Das interoperable 3D-Stadtmodell der SIG 3D. In: *zfv. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 130* (2005), Dez, Nr. 6, S. 343–353
- GRITZMANN, P.; BRANDENBERG, R. 2005: *Das Geheimnis des kürzesten Weges: Ein mathematisches Abenteuer*. 3., überarb. A. Springer, Berlin, 2005. – ISBN 9783540221937
- GSDI Association 2002: *Geography is the language. Let's talk*. Broschüre. – Global spatial data infrastructure association
- GSDI Association 2008: *Bylaws & Operating Procedures of the Global Spatial Data Infrastructure Association*. Verordnung. – Global spatial data infrastructure association

- GSDI Association 2009: *Spatial Data Infrastructure Convergence: Building SDI Bridges to Address Global Challenges*. online. – URL <http://gsdi.org/gsdil1/index.html>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Global spatial data infrastructure association
- HAKE, G.; GRÜNREICH, D.; MENG, L. 2002: *Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. 8., vollst. neu bearb. und erw. A. Gruyter, 2002. – ISBN 3-11-016404-3
- HART, G.; DOLBEAR, C. 2007: What's so Special about Spatial? In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 4. – ISBN 9781846288265
- HARVEY, F. 2009: More than Names – Digital Earth and/or Virtual Globes? In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 4 (2009)
- HELLBUSCH, J. 2004: *Barrierefreies Webdesign. Praxishandbuch für Webgestaltung und grafische Programmoberflächen*. 1. Dpunkt Verlag, Okt. 2004. – ISBN 9783898642606
- HENNERMANN, K. 2006: *Kartographie und GIS – Eine Einführung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2006. – ISBN 3534196929
- HENNIG, S. D. 2008: *Prozessierung von Laserscanndaten zur Erstellung eines 3D-Stadtmodells: CampusGIS-3D*, Universität zu Köln, Diplomarbeit, Mai 2008
- HEYWOOD, I.; CORNELIUS, S.; CARVER, S. 2006: *An Introduction to Geographical Information Systems*. 3rd. Pearson, 2006
- HÖFFKEN, S.; PAPASTEFANOU, G.; ZEILE, P. 2008: Google Earth, GPS, Geotagging und neue Möglichkeiten für die Stadtplanung – Ein emotionales Kiezportrait. In: *REAL CORP 008*, 2008, S. 275–281
- HÖH, R. 2000: *GPS Outdoor-Navigation*. 1. Reise Know-How Verlag Rump, 2000
- HIGHTOWER, J.; BORRIELLO, G. 2001a: Location Sensing Techniques / University of Washington, Computer Science and Engineering. Aug. 2001a. – Technical Report. – 57–66 S
- HIMMEL, S. 2004: *Konzeption und Umsetzung eines webbasierten Navigationssystems für Rollstuhlfahrer/innen. Am Beispiel des Innenstadtbereichs von Marburg a. d. Lahn*. Marburg, Philipps-Universität Marburg, Diplomarbeit, Nov. 2004
- HOËCKER, B. 2007: *Aufzeichnungen eines Schnitzeljägers: Mit Geocaching zurück zur Natur*. Rowohlt Tb., Mai 2007. – ISBN 9783499622526
- HOFFMEISTER, D. 2008: *Fotorealistische Gebäudemodellierung mittels terrestrischem Laserscanning*, Universität zu Köln, Diplomarbeit, Nov. 2008

- HOFFMEISTER, D.; GELHAR, M.; WILLMES, C.; STEFFENS, R.; LOUWEN, B.; SCHUMACHER, T.; BUSCHMANN, W.; BARETH, G. 2009: European Mining Database – NRW: Archive Structures in a Web Mapping Application. In: CURDT, C. (Hrsg.); BARETH, G. (Hrsg.): *Proceedings of the Data Management Workshop*, Selbstverlag Geographisches Institut der Universität zu Köln, Okt. 2009 (Kölner Geographische Arbeiten 90), S. 75–81
- HOPKINSON, C.; CHASMER, L. 2008: LiDAR. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008, S. 256–257
- HUDSON, P. 2006: *PHP in a Nutshell*. 1. O'Reilly, 2006. – ISBN 9783897213432
- HUDSON-SMITH, A.; CROOKS, A.; GIBIN, M.; MILTON, R.; BATTY, M. 2009: NeoGeography and Web 2.0: concepts, tools and applications. In: *Journal of Location Based Services* 3 (2009), Juni, Nr. 2, S. 118–145
- HURNI, L.; SCHNEIDER, B. 2000: Kartographische Visualisierung von Geodaten. In: SOGI (Hrsg.): *Tagungsband GIS/SIT 2000*. Fribourg, Schweiz: Schweizer Organisation für Geo-Information (SOGI), 2000, S. 6.1–6.6
- HyperJoint GmbH 2009: *Barrierefrei bauen mit nullbarriere.de*. – URL <http://nullbarriere.de/technische-baubestimmungen-liste.htm>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- IMAGI 2008: *GeoPortal.Bund. Das Geodatenportal für Deutschland*. Faltblatt. – Interministerieller Ausschuss für Geoinformationswesen
- ISO 2008: *ISO 19107:2003. Geographic information – Spatial schema*, Nr. ISO 19107:2003. – International Organization for Standardization
- ISRAELSEN, T.; FREDERIKSEN, R. 2005: The Use of GIS in Transport Modeling. In: MAGUIRE, D. (Hrsg.); BATTY, M. (Hrsg.); GOODCHILD, M. (Hrsg.): *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Esri Pr, Juli 2005, S. 265–287. – ISBN 9781589481305
- JANSEN, H. (Hrsg.); RITTER, G. (Hrsg.); WIKTORIN, D. (Hrsg.); GOHRBANDT, E. (Hrsg.); WEISS, G. (Hrsg.) 2003: *Der historische Atlas Köln: 2000 Jahre Stadtgeschichte in Karten und Bildern*. 1. Emons, 11 2003. – ISBN 9783897052659
- JASANI, B. (Hrsg.); STEIN, G. (Hrsg.) 2002: *Commercial Satellite Imagery: A tactic in nuclear weapon deterrence*. 1. Springer, Berlin, 2002
- JESCHOR, A.; BLEIEL, K. 1989: *Orientierung mit Karte und Luftbild*. 3., überarb. A. Walhalla und Praetoria, 1989
- JIANG, B.; YAO, X. 2006: Location-based services and GIS in perspective. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 30 (2006), Nr. 6, S. 712 – 725. – ISSN 0198-9715
- JIANG, B.; ZIPF, A. 2004: An Introduction to the Special Issue on LBS and GIS. In: *Geographic Information Sciences* 10 (2004), Dez., Nr. 2, S. 89–90

- JONES, A. 2010: *Method of and apparatus for generating routes*. Schutzrecht (Patent Application Publication): US 2010/0036606 A1, Nr. US 2010/0036606 A1
- JUNG, V. 1998: *Integrierte Benutzerunterstützung für die Visualisierung in Geo-Informationssystemen*, Technischen Universität Darmstadt, Dissertation, 1998
- KASSNER, R. 2007: *Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten digitaler Höhenmodelle zur Ermittlung solarer Dachpotenziale*, Universität zu Köln, Diplomarbeit, Jan. 2007
- KAPPAS, M. 2001: *Geographische Informationssysteme*. Westermann, 2001
- KARPISCHEK, S.; MAGAGNA, F.; MICHAHELLES, F.; SUTANTO, J.; FLEISCH, E. 2009: Towards location-aware mobile web browsers. In: *Proceedings of 8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2009)* Association for Computing Machinery (ACM) (Veranst.), Nov. 2009
- KASSNER, R.; KOPPE, W.; SCHÜTTENBERG, T.; BARETH, G. 2008: Analysis of the solar potential of roofs by using official LIDAR data. In: CHEN, J. (Hrsg.); JIANG, J. (Hrsg.); NAYAK, S. (Hrsg.): *ISPRS Congress Proc. Bd. XXXVII, Part B4, Commission IV*. Beijing, China: XXXVII ISPRS Congress, Juli 2008, S. 399–404
- KEMP, K. (Hrsg.) 2008: *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008
- KENNEDY, M. 2009: *Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS: A Workbook Approach to Learning GIS*. 2. Wiley-Blackwell, 2009
- KERN, C. 2006: *Anwendung von RFID-Systemen*. Springer-Verlag, 2006
- KETTEMANN, R. 2003: GPS-Verfahren – Einsatzgebiete – Rahmenbedingungen - Kombinationslösungen. In: *GPS für GIS im Umweltbereich und Naturschutz – Tagungsband*, 2003, S. 1 – 1–15
- KHAN, Z.; ADNAN, M. 2010: *Usability Evaluation of Web-based GIS Applications. A Comparative Study of Google Maps and MapQuest*. Ronneby, Sweden, School of Computing. Blekinge Institute of Technology, Master Thesis, Jan. 2010
- KÖHNE, A.; WÖSSNER, M. 2007: *GPS-System. Erreichbare Genauigkeit*. online. – URL <http://www.kowoma.de/gps/Genauigkeit.htm>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- KIENLE, H. 2010: It's About Time to Take JavaScript (More) Seriously. In: *IEEE Software* 27 (2010), Mai/Juni, Nr. 3, S. 60–62
- KIM, B.; JEONG, S. 2009: A comparison of algorithms for origin-destination matrix generation on real road networks and an approximation approach. In: *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING* 56 (2009), Feb., Nr. 1, S. 70–76
- KIM, T. 2008: Standards. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008, S. 446–455

- KLEINER, C.; LIPECK, U.; FALKE, S. 2000: Objekt-Relationale Datenbanken zur Verwaltung von ATKIS-Daten. In: BILL, R. (Hrsg.); SCHMIDT, F. (Hrsg.): *ATKIS – Stand und Fortführung – Beiträge zum 51. DVW-Seminar am 25. und 26. September 2000 an der Universität Rostock* Bd. 39, 2000, S. 169–177
- KLEINSCHMIDT, P.; RANK, C. 2004: *Relationale Datenbanksysteme. Eine praktische Einführung*. 3., überarb. und erw. A. Springer Verlag, Sept. 2004. – 271 S
- KLUGE, M. 2009: Fußgängernavigation: Reality View – der Einsatz von Computerspielnavigation in der realen Welt. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2009. Beiträge zum 21. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, 2009, S. 394–403
- KNECHT, S. 2009: Navidaten für Fußgänger. In: *GIS.BUSINESS* 2 (2009), Feb., S. 29–31
- KÖNIG, P.; SCHÜLER, P. 2010: Die Welt als Bilderpuzzle. Wohin die Reise bei Google Maps und Bing Maps geht. In: *c't – Magazin für Computertechnik* (2010), April, Nr. 9, S. 76–80
- KOFAHL, M. 2007: Mobile Nutzung von Location Based Services im Web. In: *GIS – Zeitschrift für Geoinformatik* 4 (2007), S. 28–34
- KOHLSTOCK, P. 2004: *Kartographie: Eine Einführung*. UTB, 2004
- Kommission der europäischen Gemeinschaften 2004: *Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung einer Raumdateninfrastruktur in der Gemeinschaft (INSPIRE)*, Nr. KOM(2004) 516 endgültig. 2004/0175 (COD)
- KORDUAN, P.; ZEHNER, M. 2008: *Geoinformation im Internet: Einführung zur Eingabe, Analyse, Visualisierung und Verarbeitung raumbezogener Daten mittels Webtechnologien: Technologien zur Nutzung raumbezogener Informationen im WWW*. 1. Wichmann, 2008. – ISBN 9783879074563
- KRAAK, J.-M. (Hrsg.); BROWN, A. (Hrsg.) 2000: *Web Cartography: Developments and Prospects*. 1. CRC, 9 2000. – ISBN 9780748408696
- KRAAK, M.-J. 2003a: Webcartography – design, use and products. In: ASCHE, H. (Hrsg.); HERRMANN, C. (Hrsg.): *Web.Mapping 2. Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste*. Herbert Wichmann Verlag, 2003a, Kap. Webmapping – Status und Perspektiven, S. 18–26
- KRAAK, M.-J.; ORMELING, F. 2003: *Cartography. Visualization of Geospatial Data*. 2. Pearson Education, 2003
- KRALIDIS, A. 2007: Geospatial Web Services: The Evolution of Geospatial Data Infrastructure. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 22. – ISBN 9781846288265

- KRAMPE, S. 2009: Entwicklung eines Lkw-Empfehlungsnetzes für die Region Frankfurt RheinMain auf Basis von OpenStreetMap. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2009. Beiträge zum 21. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, 2009, S. 598–607
- KUMARI, S.; GEETHANJALI, N. 2010: A Survey on Shortest Path Routing Algorithms for Public Transport Travel. In: *Global Journal of Computer Science and Technology* 9 (2010), Jan., Nr. 5, S. 73–76
- LAKE, R.; FARLEY, J. 2007: Infrastructure for the Geospatial Web. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 2. – ISBN 9781846288265
- Landesregierung NRW 2004: *Verordnung zur Schaffung barrierefreier Informationstechnik nach dem Behindertengleichstellungsgesetz Nordrhein-Westfalen (Barrierefreie Informationstechnik-Verordnung Nordrhein-Westfalen – BITV NRW)*, Nr. 201
- Landesregierung NRW 2009: *Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten Nordrhein-Westfalen (Geodatenzugangsgesetz - GeoZG NRW)*, Nr. 7134
- LAUER, J.; ZIPF, A. 2009: Verbesserung der Datengrundlage für die Routenplanung im Bereich landwirtschaftlicher Logistik auf Basis offener Geodaten. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2009. Beiträge zum 21. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, 2009, S. 414–423
- LECHTHALER, M.; STADLER, A. 2006: "Cross Media" gerechte Kartengraphik in einem AIS. In: *CORP 2006 & Geomultimedia06*, 2006, S. 443–452
- Leica Geosystems GmbH (Hrsg.) 2000: *Einführung in die GPS Vermessung (Global Positioning System)*. 1.0. Leica, 2000 (GPS Basics). – 59 S
- LILLESAND, T.; KIEFER, R.; CHIPMAN, J. 2008: *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6. Wiley & Sons, 2008
- LINDER, W. 1999: *Geo-Informationssysteme. Ein Studien- und Arbeitsbuch*. 1. Springer, Berlin, 1999. – ISBN 9783540652762
- LONGLEY, P.; BATTY, M. 2003: *Advanced Spatial Analysis: The CASA Book of GIS*. ESRI Press, Juni 2003
- LONGLEY, P.; GOODCHILD, M.; MAGUIRE, D.; RHIND, D. 2005: *Geographic Information Systems and Science*. 2. John Wiley & Sons, 2005
- LOPEZ, A. 2007: *Seamless Localization and Navigation*. – T-Systems Enterprise Services GmbH. Business Center Location Based Services

- LUFTER, J. 1999: Objektrelationale Datenbanksysteme. In: *Informatik-Spektrum* 22 (1999), Aug., S. 288–290
- LUPIEN, A.; MORELAND, W.; DANGERMOND, J. 1987: Network Analysis in Geographic Information Systems. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53 (1987), Okt., Nr. 10, S. 1417–1421
- LVermA NRW 1997–1998: *DGM5. Laserscannererfassung 1997-1998*, Nr. 1733/2005. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Bonn (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- LVermA NRW 1998: *Deutsche Grundkarte 1:5 000 (DGK5)*. Analoge Ausgabe, Standardblattschnitt. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- LVermA NRW 2003a: *Orthobild. Befliegung 2003*. digital, Nr. 1333. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Bonn (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- LVermA NRW 2004: *ATKIS. Digitale Modelle der Erdoberfläche*. Broschüre. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- LVermA NRW 2005: *Digitales Landschaftsmodell DLM25*. digitale Geodaten, Nr. 1733/2005. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Bonn (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- LVermA NRW 2006: *Luftbilderzeugnisse. Produkte des Landesvermessungsamtes NRW*. Broschüre. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- LVermA NRW 2006a: *Landesvermessung NRW. Produkte und Dienstleistungen 2006/2007*. Katalog, 2. Aufl.. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (heute: Bezirksregierung Köln Abteilung 7 – Geobasis NRW)
- MACEACHREN, A. (Hrsg.); TAYLOR, D. (Hrsg.) 1994: *Visualization in Modern Cartography (Modern Cartography, Vol 2)*. 1. Pergamon, 1994
- MADHAVAN, B.; WANG, C.; TANAHASHI, H.; HIRAYU, H.; NIWA, Y.; YAMAMOTO, K.; TACHIBANA, K.; SASAGAWA, T. 2006: A computer vision based approach for 3D building modelling of airborne laser scanner DSM data. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 30 (2006), Nr. 1, S. 54 – 77. – ISSN 0198-9715
- MAGUIRE, D.; BATTY, M.; GOODCHILD, M. 2005a: GIS, Spatial Analysis and Modeling: Current Status and Future Pprospects. In: MAGUIRE, D. (Hrsg.); BATTY, M. (Hrsg.); GOODCHILD, M. (Hrsg.): *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Esri Pr, Juli 2005a, S. 445–455. – ISBN 9781589481305

- MALCZEWSKI, J. 1999: *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, 1999.
– ISBN 9780471329442
- MALM, A.; FAGERBERG, J. 2008: *LBS Temperature Meter 2008 / Berg Insight*. Gothenburg, Schweden, 2008. – Markterhebung
- MARTIN, C.; EIBLMAIER, M. 2002: *Lexikon der Geowissenschaften*. CD-ROM
- MASSOM, R.; LUBIN, D. 2006: *Polar Remote Sensing. Volume II: Ice Sheets*. 1. Springer, Berlin, 2006
- MEINCKE, J. 1998: *Vorwort zur Kleinen Kölner Universitätsgeschichte*. online. – URL <http://www.portal.uni-koeln.de/universitaetsgeschichte.html>. – Zugriffsdatum: 22.05.2009
- MEINEL, C.; SACK, H. 2004: *WWW. Kommunikation, Internetworking, Web-Technologien*. 1. Springer, Berlin, 2004
- MEINEL, G.; KNOP, M. 2008: Geobasisdaten in Deutschland — Verfügbarkeit und Qualitätsaspekte des ATKIS Basis-DLM und der DTK25(-V). In: SCHRENK, M. (Hrsg.); POPOVICH, V. V. (Hrsg.); ENGELKE, D. (Hrsg.); ELISEI, P. (Hrsg.): *REAL CORP 008*, 2008, S. 571–581
- MELNIKOV, V.; MAXIMOV, O. 2008: Geoinformation Systems and Fields of Their Potential Application in Modern Information Society. In: *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics* 42 (2008), Dez., Nr. 6, S. 257–265
- MENG, L. 2001: Die Bandbreite kartographischer Darstellungen. In: *Festschrift 50 Jahre Kartographie in München* (2001). – FH München
- MENG, L. 2004: Methoden zur Gestaltung egozentrischer Karten. In: *Kartographische Schriften* Band 9 (2004), S. 113–119
- MENG, L. 2005: Ego centres of mobile users and egocentric map design. In: MENG, L. (Hrsg.); ZIPF, A. (Hrsg.); REICHENBACHER, T. (Hrsg.): *Map-based Mobile Services: Theories, Methods and Implementations*. 1. Springer Verlag, Heidelberg, 2005, Kap. 7, S. 87–105. – ISBN 9783540230557
- MENG, L.; FORBERG, A. 2006: 3D Building Generalisation. In: MACKANESS, W. (Hrsg.); RUAS, A. (Hrsg.); SARJAKOSKI, T. (Hrsg.): *Challenges in the Portrayal of Geographic Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation*. Vilnius, 2006, Kap. 11, S. 211–236
- MEUTHEN, E. 1998: *Kleine Kölner Universitätsgeschichte*. online. – URL <http://www.portal.uni-koeln.de/universitaetsgeschichte.html>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010

- MICHAELIS, C.; AMES, D. 2008: Web Feature Services (WFS) and Web Map Services (WMS). In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 1259–1261
- MILLER, H. 2008: Location-Aware Technologies. In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 623
- MITCHELL, T.; EMDE, A.; CHRISTL, A. 2008: *Web-Mapping mit Open Source-GIS-Tools*. 1. Auflage. O'Reilly, 2008
- MÜLLER, A. 2009a: *Ein Routing-Portal für Rollstuhlfahrer auf der Basis von OpenStreetMap-Daten. Konzeption, Realisierung und Perspektiven*. Freiburg, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Magisterarbeit, Sept. 2009a
- MÜLLER, H.; ENG, M.; SIEBOLD, M. 2007: *Informationsbroschüre GIS in Kreisverwaltungen*, Feb. 2007. – i3, Fachhochschule Mainz; Landkreistag Rheinland-Pfalz
- MOOG, H. 2007: Das Hochschulrechenzentrum im Bologna-Prozess - Alternative IT-Versorgungskonzepte für die Hochschulverwaltung. In: *HIS Magazin* (2007), Jan., Nr. 1/2007, S. 8–9
- MOORE, E. 1959: The shortest path through a maze. In: *Proc. International Symposium on Theory of Switching, part 2*, Harvard Univ. Press, 1959, S. 285–292
- Mozilla Corporation 2005–2009a: *Standortbezogenes Surfen*. – URL <http://de.www.mozilla.com/de/firefox/geolocation/>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Mozilla Labs 2005–2009: *Introducing Geode*. – URL <http://mozillalabs.com/blog/2008/10/introducing-geode/>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- MUIR, J.; VAN OORSCHOT, P. 2006: *Internet Geolocation and Evasion / School of Computer Science, Carleton University, Ottawa, Canada*. 2006. – Forschungsbericht
- NÄSLUND, M. 2007: *Web-based mapping. An evaluation of four JavaScript APIs*, Linköping Institute of Technology, Final thesis, 2007
- NEBERT, D. 2004: *Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook Version 2.0*. – Global Data Spatial Infrastructure
- NEIS, P.; ZIPF, A. 2008: Zur Kopplung von OpenSource, OpenLS und OpenStreetMaps in OpenRouteService.org. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2008. Beiträge zum 20. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, Juli 2008, S. 158–163
- NEUMANN, A. 2008: Web Mapping and Web Cartography. In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 1261–1269

- NIELSEN, J. 1997: *How Users Read on the Web*. online. – URL <http://www.useit.com/alertbox/9710a.html>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Nokia Deutschland 2009: *Mit Nokia 100.000-mal das Ziel finden*. online. – URL <http://www.nokia.de/nokia/presseloft/pressemitteilungen/pressemeldungen?newsid=-29190>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- Nokia Deutschland 2009a: *Navigation, die keine asphaltierten Wege braucht*. – URL http://www4.nokia.de/presseloft/200909/Navigationenkampagne_CLP.pdf. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- NÄVY, J. 2006: *Facility Management: Grundlagen, Computerunterstützung, Systemeinführung, Anwendungsbeispiele*. 4., aktualis. u. erg. A. Springer, Berlin, 8 2006. – ISBN 9783540251644
- OGC 2004a: *OGC Web Map Service Interface. Version 1.3.0*, Nr. OGC 03-109r1. – Open GIS Consortium Inc.
- OGC 2005a: *Web Feature Service Implementation Specification. Version 1.1.0*, Nr. OGC 04-094. – Open GIS Consortium Inc.
- OGC 2007a: *OpenGIS Web Processing Service. Version 1.0.0*, Nr. OGC 05-007r7. – Open GIS Consortium Inc.
- OLSEN, R. 2007: *Remote Sensing from Air And Space*. SPIE – The International Society for Optical Engineering, 2007
- O'REILLY, T. 2005: *What is Web 2.0. Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software*. online. – URL <http://www.oreillynet.com/lpt/a/6228>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- ORLIN, J.; MADDURI, K.; SUBRAMANI, K.; WILLIAMSON, M. 2010: A faster algorithm for the single source shortest path problem with few distinct positive lengths. In: *Journal of Discrete Algorithms* 8 (2010), Nr. 2, S. 189 – 198. – Selected papers from the 3rd Algorithms and Complexity in Durham Workshop ACiD 2007. – ISSN 1570-8667
- OVER, M.; SCHILLING, A.; NEUBAUER, S.; LANIG, S.; ZIPF, A. 2009: Virtuelle 3D Stadt- und Landschaftsmodelle auf Basis freier Geodaten. In: STROBL, J. (Hrsg.); BLASCHKE, T. (Hrsg.); GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2009. Beiträge zum 21. AGIT-Symposium*. Salzburg, Österreich: Herbert Wichmann Verlag, 2009, S. 608–617
- PATALAVICIUTE, V.; FRECKMANN, P.; DÜPMEIER, C. 2005: SVG basierte Karten für mobile Guidesysteme: Erstellung, Gestaltung und Interaktionsmechanismen unter besonderer Berücksichtigung von Karten für den Naturtourismus / Forschungszentrum Karlsruhe in der Hemholtz-Gemeinschaft. Karlsruhe, Okt. 2005 (FZKA 7063). – Wissenschaftlicher Bericht, genehmigte Masterarbeit

- PEACHAVANISH, R.; KARIMI, H.; AKINCI, B.; BOUKAMP, F. 2006: An ontological engineering approach for integrating CAD and GIS in support of infrastructure management. In: *Advanced Engineering Informatics* 20 (2006), S. 71–88
- PESCH, R.; SCHMIDT, G.; SCHRÖDER, W.; ADEN, C.; KLEPPIN, L.; HOLY, M. 2007: Development, Implementation and Application of the WebGIS 'MossMet'. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 18. – ISBN 9781846288265
- PETERSON, M. 2003: Webmapping at the start of the new Millennium – state of the art. In: ASCHE, H. (Hrsg.); HERRMANN, C. (Hrsg.): *Web.Mapping 2. Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste*. Herbert Wichmann Verlag, 2003, Kap. Webmapping – Status und Perspektiven, S. 3–17
- PETERSON, M. 2008: Web GIS. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008, S. 511–513
- PETTEY, C.; STEVENS, H. 2009: *Gartner Identifies the Top 10 Consumer Mobile Applications for 2012*. Pressemitteilung. – URL <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1230413>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Gartner Inc.
- PETZOLD, B.; REISS, P.; STÖSSEL, W. 1999: Laser scanning – surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54 (1999), S. 95–104
- PETZOLD, B.; WALTER, V. 1999: Revision of topographic databases by satellite images. In: *Sensors and mapping from space 1999. ISPRS, Hannover*. M. Schroeder and K. Jacobsen and G. Konechy and C. Heipke, 1999, S. 9
- PFEIFER, N. 2003: Oberflächenmodelle aus Laserdaten. In: *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation* 91 (2003), Nr. 4
- PFEIFER, N. 2008: Laserscanning in der Vermessung: Vorteile, Nachteile und Perspektiven. In: *rm Data-GeoNews. Software-Magazin für Vermessung und Geo-Information* (2008), Nr. 3, S. 4–5
- PFLÜGER-CARNAGHI, M. o. J.: *Lernhefte*. Bd. MMDE03: *Screen- und Webdesign*. Studiengemeinschaft Darmstadt GmbH, o. J.. – 66 S
- RÄBER, S.; JENNY, B. 2003: Karten im Netz – ein Plädoyer für mediengerechte Kartengrafik. In: ASCHE, H. (Hrsg.); HERRMANN, C. (Hrsg.): *Web.Mapping 2. Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste*. Herbert Wichmann Verlag, 2003, Kap. Geovisualisierung – Methodik und Anwendung, S. 57–76

- REHBACH, J. 2009: *WebMapping- und WebGIS-Systeme für den Städtetourismus – Ein Vergleich verschiedener Systemlösungen am Beispiel Köln*, Universität zu Köln, Diplomarbeit, Aug. 2009
- RICHARDS, G.; LEBRESNE, S.; BURG, B.; VITEK, J. 2010: An Analysis of the Dynamic Behavior of JavaScript Programs. In: *Proceedings of the ACM SIGPLAN 2010 Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI 2010)*. Toronto, Canada: ACM, Juni 2010
- ROESELING, S.; NS-Dokumentationszentrum der Stadt Köln (Hrsg.) 1999: *Das braune Köln. Ein Stadtführer. Die Innenstadt in der NS-Zeit*. Emons, 1999. – 149 S
- ROUSE, L.; BERGERON, S.; HARRIS, T. 2007: Participating in the Geospatial Web: Collaborative Mapping, Social Networks and Participatory GIS. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 14. – ISBN 9781846288265
- SAEED, G.; BROWN, A.; KNIGHT, M.; WINCHESTER, M. 2010: Delivery of pedestrian real-time location and routing information to mobile architectural guide. In: *Automation in Construction* In Press, Corrected Proof (2010)
- SCHAEFFER, J. 2008a: Computer-aided drafting (CAD). In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008a, S. 43–44
- SCHEER, A.-W. 2010e: *Connected World. Statement zur Pressekonferenz „Connected Worlds“*. Statement zur Pressekonferenz. – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM)
- SCHEUGENPFLUG, S. J. 2005: *Relationale und Objektrelationale Datenbankkonzepte in Geoinformationssystemen*, Technischen Universität München, Dissertation, 2005
- SCHILCHER, M.; GUO, Z.; KLAUS, M.; ROSCHLAUB, R. 1999: Aufbau von 3DStadtmodellen auf der Basis von 2D-GIS. In: *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung* 67 (1999), S. 157–170
- SCHILDWÄCHTER, R.; ZEILE, P. 2008: Echtzeitvisualisierung in städtebaulichen Entscheidungsprozessen. In: *REAL CORP 008*, 2008, S. 235–241
- SCHMIDER, E. 2003: *Handbuch für Webtexter. So schreiben Sie fürs Internet*. 1., Aufl. Springer, Berlin, 2003 (X.media.press)
- SCHUBERT, M. 2004: *Datenbanken. Theorie, Entwurf und Programmierung relationaler Datenbanken*. 1. Teubner Verlag, Okt. 2004. – 349 S
- SEIFERT, M. 2006: The AAA model as Contribution to the standardisation of the Geoinformation Systems in Germany. In: *Shaping the Change – XXIII FIG Congress*, Okt. 2006 (WS 3 – Workshop 3 - International Standards Seminar II), S. 0967

- SELFHTML e. V. 2007a: *HTML*. online. – URL
<http://de.selfhtml.org/intro/technologien/html.htm>. –
Zugriffsdatum: 12.05.2010
- SELFHTML e. V. 2007b: *Stylesheets*. online. – URL
<http://de.selfhtml.org/intro/technologien/css.htm>. – Zugriffsdatum:
12.05.2010
- SELFHTML e. V. 2007c: *XML und XML-Derivate*. online. – URL
<http://de.selfhtml.org/intro/technologien/xml.htm>. – Zugriffsdatum:
12.05.2010
- SELFHTML e. V. 2007d: *Java*. online. – URL
<http://de.selfhtml.org/intro/technologien/java.htm>. –
Zugriffsdatum: 12.05.2010
- SELFHTML e. V. 2007e: *JSP*. online. – URL
<http://de.selfhtml.org/intro/schnittstellen/andere.htm>. –
Zugriffsdatum: 12.05.2010
- SINHA, A. 2008: Web Feature Services (WFS). In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.):
Encyclopedia of GIS. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 1256–1259
- SOBEL, D.; ANDREWES, W. 2000: *Längengrad. Die illustrierte Ausgabe: Die wahre
Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte wissenschaftliche Problem seiner Zeit
löste*. Berlin Verlag, 2000
- Stadt Köln 2007: *Köln. 3D*. DVD
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) 2009: *Statistisches Jahrbuch 2009. Für die Bundesrepublik
Deutschland*. SFG Servicecenter Fachverlage, Sept. 2009. – 753 S
- STAUDINGER, M.; HASSELGRÜBLER, B. 2002: Die Genauigkeit der Ortsbestimmung mit
Mobilfunkgeräten bei der automatischen Standortbestimmung in Notfällen. In: ZIPF, A.
(Hrsg.); STROBL, J. (Hrsg.): *Geoinformation mobil*. 1. Wichmann, Jan. 2002, S. 151–156. –
ISBN 9783879073733
- Städtetag NRW 2007: *Fortführung von 3D-Stadtmodellen*. Zwischenbericht
- STROBEL, S.; REINHARDT, W. 2007: Die Bedeutung von Profilen für den Datenaustausch
mittels Geography Markup Language. In: *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie
und Geodäsie (2007)*
- TEEGER, G. 2001: Geodaten im Internet. Ein Überblick. In: *Informatik-Spektrum* 24 (2001),
Aug., Nr. 4, S. 193–206
- TIMPF, S. 2008: „Location-based Services“ – Personalisierung mobiler Dienste durch
Verortung. In: *Informatik-Spektrum* 31 (2008), Feb., Nr. 1, S. 70–74

- TOLARDO, C.; FRUND, B. 2010: Les SIG pour la gestion du patrimoine immobilier à l'Université de Lausanne. In: *ArcAktuell* (2010), Nr. 1, S. 28–29
- TOMLINSON, R. 2007: *Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. 3. ESRI Press, 2007
- TORNIAI, C.; BATTLE, S.; CAYZER, S. 2007: Sharing, Discovering and Browsing Geotagged Pictures on the World Wide Web. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 15. – ISBN 9781846288265
- TSOU, M.-H. 2004: Integrated Mobile GIS and Wireless Internet Map Servers for Environmental Monitoring and Management. In: *Cartography and Geographic Information Science* 31 (2004), Nr. 3, S. 153–165
- TSOU, M.-H. 2008a: Web Service. In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008a, S. 513–514
- TU, S.; ABDELGUERFI, M. 2006: Web Services for Geographic Information Systems. In: *IEEE Internet Computing* 10 (2006), Nr. 5, S. 13–15
- TU DD 2010: *Info. Impressum*. – URL <http://navigator.tu-dresden.de/navigator/info.xsql?sect=impr.> – Zugriffsdatum: 06.04.2010. – Technische Universität Dresden: Fakultätsrechenzentrum, Fakultät Bauingenieurwesen
- TURNER, A. 2006: *Introduction to Neogeography*. O'Reilly, Dez. 2006 (Short Cut)
- UMD 2009: *Campus Map. University of Maryland. 2009-2010*. Lageplan, Nr. 20090727 1100. – University of Maryland
- Uniflash GmbH 2004: *Technische Produktbeschreibung und Leistungscharakteristik*
- Uniflash GmbH o. J.: *Produkte. uk-online*. – URL <http://uniflash.de>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010
- UZK 2004a: *3-D Handbuch. Wegeleit- und Gebäudekennzeichnungssystem*. Handbuch. – Universität zu Köln
- UZK 2006: *2-D Handbuch. Corporate Design*. Handbuch. – Universität zu Köln
- UZK 2007a: *KLIPS. Kölner Lehr-, Informations- und Prüfungs-Service. Projektziel und -inhalte*. – URL <http://pos-lsf-team.uni-koeln.de/index.php/KLIPS-Projekt>. – Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Universität zu Köln

- UZK 2007b: *HIS-Software*. online. – URL
<http://pos-lsf-team.uni-koeln.de/index.php/HIS-Software>. –
Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Universität zu Köln
- UZK 2008b: *Planungs- und Bauvorhaben. Baumaßnahmen*. online
- UZK 2008c: *KLIPS. Kölner Lehr-, Informations- und Prüfungs-Service. Projektorganisation*.
– URL <http://pos-lsf-team.uni-koeln.de/index.php/Hauptseite>. –
Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Universität zu Köln
- UZK 2009a: *Bauprojekte. Bau und Liegenschaften*. – Universität zu Köln
- UZK 2009b: *Kurzstatistik Wintersemester 2009/10*. online. – Universität zu Köln
- UZK 2009c: *Abteilung 51: Struktur- und Entwicklungsplanung*. – URL
<http://verwaltung.uni-koeln.de/abteilung51/content>. –
Zugriffsdatum: 12.05.2010. – Universität zu Köln
- UZK 2009d: *Abteilung 51: Struktur- und Entwicklungsplanung. Aufgaben*. – URL
<http://verwaltung.uni-koeln.de/abteilung51/content/aufgaben>. –
Zugriffsdatum: 22.03.2010. – Universität zu Köln
- UZK 2009e: *Blindenleitsystem der Universität zu Köln*. Faltblatt. – Universität zu Köln
- UZK o. J. a: *Neue Gebäudenummern für die Universität zu Köln*. online. – URL
<http://www.uni-koeln.de/uni/gebaeude/nummern.html>. – Zugriffsdatum:
12.05.2010. – Universität zu Köln
- VAN DEN BERG, A.; WILLEMS, T.; PYE, G.; DE WILDE, W.; MORGAN-OWEN, R.; DE
MATEO, J.; SCARAFIA, S.; HOLLREISER, M. 2010: Galileo Test User Receiver. In: *GPS
World. The Business & Technology of Global Navigation & Positioning* 21 (2010), April,
Nr. 4, S. 36–41
- VAUGHAN-NICHOLS, S. 2009: Will Mobile Computing's Future Be Location, Location,
Location? In: *Computer* 42 (2009), Nr. 2, S. 14–17. – ISSN 0018-9162
- Verband der deutschen Internetwirtschaft e. V. (eco) 2010a: *Zukunft der Apps:
Werbefinanzierte ortsbezogene Dienste*. Presseinformation. – URL
http://www.eco.de/arbeitskreise/2633_7502.htm. – Zugriffsdatum:
12.05.2010
- VOLZ, S.; GROSSMANN, M.; HÖNLE, N.; NICKLAS, D.; SCHWARZ, T. 2002: Integration
mehrfach repräsentierter Straßenverkehrsdaten für eine föderierte Navigation. In: *it –
Information Technology* 44 (2002), Nr. 5, S. 260–267
- W3C 2009: *Geolocation API Specification. Editor's Draft*. online. – URL
<http://dev.w3.org/geo/api/spec-source.html>. – Zugriffsdatum:
11.03.2009. – World Wide Web Consortium

- WEISER, M. 1991: The Computer for the 21st Century. In: *Scientific American* (1991), S. 94–10
- WENZ, C. 2007: *JavaScript und AJAX. Das umfassende Handbuch*. 7., aktualisierte Auflage. Galileo Press, 2007
- WESKAMM, J. 2010: *CampusGIS-Mobil: Realisierung eines mobilen WebGIS für den Campus der Universität zu Köln*, Universität zu Köln, Diplomarbeit, Feb. 2010
- WICK, M.; BECKER, T. 2007: Enhancing RSS Feeds with Extracted Geospatial Information for Further Processing and Visualization. In: SCHARL, A. (Hrsg.); TOCHTERMANN, K. (Hrsg.): *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society (Advanced Information and Knowledge Processing)*. 1. Springer, Berlin, Mai 2007, Kap. 10. – ISBN 9781846288265
- WILLE, H. 2005: Navigation. Der Kampf um die geographische Länge. In: *P. M. Magazin* 07 (2005), Juli, Nr. 07, S. 92–98
- WILLMES, C.; BAASER, U.; VOLLAND, K.; BARETH, G. 2010: Internet based Distribution and Visualization of a 3D Model of the University of Cologne Campus. In: BANDROVA, T. (Hrsg.); KONECNY, M. (Hrsg.): *Proceedings of the 3rd ISDE Digital Earth Summit 2010*. Nessebar, Bulgaria, Juni 2010
- WINTER, S.; DUCKHAM, M.; ROBINSON, M. 2009: A New Direction. Routing By Landmarks. In: *GEOInformatics. Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals* 12 (2009), Okt./Nov., Nr. 7, S. 58–59
- WOOD, J. 2008: Digital Elevation Model (DEM). In: KEMP, K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications, 2008, S. 107–109
- WURGLITSCH, R. 2005: *Temporale Daten in relationalen und objektrelationalen Datenbanken*. 1. Lulu Pr., 2005. – 193 S
- ZASLAVCKY, I. 2008: Web Services. In: SHEKHAR, S. (Hrsg.); XIONG, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of GIS*. Springer Verlag GmbH, 2008, S. 1269–1270
- ZHAN, F.; NOON, C. 1998: Shortest Path Algorithms: An Evaluation using Real Road Networks. In: *Transportation Science* 32 (1998), Feb., Nr. 1, S. 65–73
- ZIPF, A. 2002b: Die mobile Geo-Informationsgesellschaft – Technologie, Chancen und Risiken. In: ZIPF, A. (Hrsg.); STROBL, J. (Hrsg.): *Geoinformation mobil*. 1. Wichmann, Jan. 2002b. – ISBN 9783879073733
- ZIPF, A. 2004a: Mobile Anwendungen auf Basis von Geodateninfrastrukturen — von LBS zu UbiGIS. In: BERNARD, L. (Hrsg.); FITZKE, J. (Hrsg.); WAGNER, R. (Hrsg.): *Geodateninfrastruktur. Grundlagen und Anwendungen*. 1. Wichmann, 2004a, Kap. 26, S. 225–234

ZIPF, A. 2007a: Dreidimensionale Karten im Web – Google Earth & mehr. In: *AutoCAD* Sonderheft zur Intergeo 2007 (2007a)

ZIPF, A. 2007b: Google Maps and Google Earth in Kommunen!? Wieviel Web 2.0_3D brauchen Kommunen und gibt es interoperable Alternativen? In: *geoNews* 02 (2007b), S. 3–4

ZIPF, A.; STROBL, J.; ZIPF, A. (Hrsg.); STROBL, J. (Hrsg.) 2002: *Geoinformation mobil*. 1. Wichmann, Jan. 2002. – ISBN 9783879073733

ZOGG, J.-M. 2006a: Von GPS zu Galileo – Die Weiterentwicklung der Satelliten-Navigation. Teil 1: Navigationstechnische Grundlagen, GPS und GLONASS. In: *Elektronik* (2006a), Nr. 4

Erklärung

Ich versichere, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe; dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; dass sie noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, dass ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluss des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen der Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Prof. Dr. Georg Bareth betreut worden.

Köln, den 25. Mai 2010

Ursula Baaser