

Technische Universität München
Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement
Fachgebiet Geoinformationssysteme

Objektorientierte Modellierung und Implementierung eines temporalen Geoinformationssystems für kulturelles Erbe

Karin Elisabeth Hosse

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Magel
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthäus Schilcher
2. Prof. Dr.-Ing. Alessandro Carosio,
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich / Schweiz

Die Dissertation wurde am 25.04.2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und
durch die Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen am 27.06.2005 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	vii
Abstract.....	viii
Vorwort.....	ix
Kapitel 1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	3
Kapitel 2 Grundlagen und Ziele.....	5
2.1 Begriffsdefinitionen.....	5
2.1.1 Kulturelles Erbe.....	5
2.1.2 Erbe der Kulturlandschaft.....	9
2.1.3 Digitales kulturelles Erbe	12
2.1.4 Temporales Geoinformationssystem (TGIS).....	13
2.2 Anforderungsanalyse für ein GIS zu Erfassung, Dokumentation und Informationsmanagement von kulturellem Erbe.....	16
2.2.1 Aufgaben eines GIS für kulturelles Erbe.....	16
2.2.2 Inhalte und Objektbereiche.....	17
2.2.3 Datenerfassung und Digitalisierung.....	18
2.2.4 Systemfunktionalität.....	21
2.2.5 Nutzen von GIS für kulturelles Erbe.....	22
2.2.6 Ergebnis.....	23
2.3 Ist-Analyse zur Integration der Dimension Zeit in GIS.....	24
2.3.1 Taxonomie temporaler GIS.....	25
2.3.2 Taxonomie der Zeit.....	26
2.3.3 Raum-zeitliche Dimensionen in GIS.....	30
2.3.4 Temporale GIS-Modelle.....	31
2.3.5 Qualität und Unsicherheit von temporalen Geodaten.....	34
2.3.6 Datenbankmodelle in temporalen GIS.....	36
2.3.7 Visualisierung von raum-zeitlichen Prozessen.....	41
2.3.8 Anwendungsbereiche für temporale GIS.....	42
2.3.9 Defizite und Forschungsbedarf.....	46
2.4 Ziele und Lösungskonzept.....	48
2.5 Projektgebiet „Oberes Achenal“.....	49
Kapitel 3 Objektorientierte Modellierung eines temporalen GIS für kulturelles Erbe.....	53
3.1 Grundlagen der Modellierung.....	53
3.2 Objektorientierte Modellierung.....	55
3.3 Objektorientierte Modellierungssprache am Beispiel von UML.....	56
3.4 Objektorientiertes konzeptionelles Datenmodell für kulturelles Erbe.....	58
3.4.1 Basismodell.....	58

	3.4.2 Thematische Objekte.....	60
	3.4.3 Geometrie-Objekte.....	62
	3.4.4 Temporale Objekte.....	65
	3.4.5 Modellierung der Unsicherheit temporaler Geodaten.....	68
	3.4.6 Methoden.....	73
3.5	Fazit der objektorientierten Modellierung temporaler GIS.....	73
Kapitel 4	Objektorientierte Implementierung des temporalen GIS für kulturelles Erbe...75	
4.1	Systemkonzept für das objektorientierte temporale GIS.....	75
4.2	Eingesetzte Entwicklungswerkzeuge.....	76
	4.2.1 Java-Entwicklungsumgebung.....	76
	4.2.2 Datenhaltung im ORDBMS ORACLE.....	77
	4.2.3 MapObjects für Java.....	79
4.3	Logisches Datenbankmodell.....	80
	4.3.1 Objektrelationale Erweiterungen.....	80
	4.3.2 Abbildung in das logische Modell.....	80
	4.3.3 Geometrisches Modell.....	83
4.4	Benutzerinterface.....	85
4.5	Objektorientierte temporale GIS-Anfragen.....	86
	4.5.1 Thematische Selektion.....	87
	4.5.2 Temporale Selektion.....	87
	4.5.3 Räumliche Selektion.....	88
4.6	Datenquellen.....	90
	4.6.1 Digitalisierung historischer Flurkarten.....	90
	4.6.2 Bebilderte Denkmalliste.....	91
	4.6.3 Historisches Lexikon.....	92
4.7	Fazit der Implementierung.....	93
Kapitel 5	Ausgewählte Anwendungsbeispiele des temporalen GIS für kulturelles Erbe....95	
5.1	Flächenhafte Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung.....	95
	5.1.1 Großmaßstäbige Datengrundlagen.....	96
	5.1.2 Modellbildung und raum-zeitliche Analysen.....	97
	5.1.3 Ergebnisse.....	99
	5.1.4 Potenzial.....	100
5.2	Multimediale 3D-Visualisierung der Streichenkirche in GIS.....	101
	5.2.1 Laserscan und 3D-Modell.....	101
	5.2.2 VRML-Modell in Xj3D-Browser.....	103
	5.2.3 Potenzial.....	104
5.3	Nachhaltige Nutzung im GIS- und Internetbasierten Heimat- und Geschichtskundeunterricht an Schulen des Achantals	105
	5.3.1 Kulturelles Erbe an Schulen.....	105
	5.3.2 GIS an Schulen.....	106
	5.3.3 Anforderungen an den Aufbau eines GIS-gestützten lokalen Geschichts- unterrichts.....	108

5.3.4 Lösungskonzept: GIS-Portal für den Schulunterricht.....	110
5.3.5 Potenzial.....	111
Kapitel 6 Zusammenfassung und Ausblick.....	113
Literaturverzeichnis.....	117
Abbildungsverzeichnis.....	131
Tabellenverzeichnis.....	135
Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....	137
Anhang.....	141
Anhang A Objektartenkataloge.....	141
Anhang B Verwendete Java-Klassen aus MapObjects.....	142
Anhang C Vier ausgewählte Zeitschnitte aus den Katasterwerken.....	143
Anhang D Lebenslauf.....	144

Zusammenfassung

In den letzten Jahren hat die Diskussion um den Erhalt und die Nutzung von kulturellem Erbe aufgrund des Potenzials für Tourismus, Planung und Bildung sowie der Bedeutung für die Entwicklung in der Informationsgesellschaft verstärkt politisches und gesellschaftliches Interesse auf sich gezogen. Die rasanten informationstechnologischen Entwicklungen im Kulturerbe-Sektor führen zu einer Neubewertung der gesellschaftlichen Rolle von öffentlichen Einrichtungen. Die Beteiligten stellen erhöhte Anforderungen an das Management von Sammlungen, die wissenschaftliche Forschung über die Erhaltung von Materialien sowie die Verfügbarkeit und den innovativen, umfassenden und dynamischen Zugang zu kulturellen Beständen durch Wissenschaftler, Fachkräfte und interessierte Bürger. Mit dem Einsatz der Internettechnologie sowie neueren Entwicklungen der Datenbanktechnologie in Standard-Computeranwendungen oder Spezialexsystemen können Informationen zum kulturellen Erbe einer großen Anzahl von Nutzern verfügbar gemacht werden.

Seit Anfang der 90er Jahre werden Geoinformationssysteme (GIS) zunehmend auch in Disziplinen außerhalb der Geodäsie und Geografie eingesetzt. Unter anderem beschäftigen sich aktuell die Archäologie, die Geologie und die Denkmalpflege mit der digitalen Datenverarbeitung von kulturell und historisch interessanten Objekten in GIS. Insbesondere zur Bearbeitung von raumbezogenen Problemstellungen stehen in allen gängigen GIS zahlreiche Methoden zur Erfassung, Speicherung, Analyse und Visualisierung zur Verfügung. Der zeitlichen Komponente dagegen, die gerade für historische Entwicklungen oder dynamische Prozesse eine große Rolle spielt, wurde sehr viel weniger Bedeutung beigemessen. Sie wird aber neben der nach wie vor sehr wichtigen dritten Dimension in Anwendungen für das kulturelle Erbe zunehmend geschätzt.

Objektorientierte Sprachen und Methoden sind als Softwareentwicklungs-Technologie in der Geoinformatik und ihren Anwendungsgebieten unverzichtbar geworden. Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher, durch die Nutzung der Vorteile der Objektorientierung bzw. eines objektrelationalen Datenbanksystems einen durchgängigen objektorientierten Ansatz zur Erfassung und Verwaltung von Geobjekten in einem temporalen GIS (TGIS) für kulturelles Erbes aufzuzeigen. Die Vorgehensweise beinhaltet die objektorientierte konzeptionelle Modellierung eines temporalen Datenmodells für kulturelles Erbe unter besonderer Berücksichtigung von temporalen Anforderungen der Anwendung mittels der Bildung von Objekten mit räumlichen, zeitlichen und thematischen Eigenschaften sowie der Implementierung in eine objektorientierte Software-Umgebung.

Es wird auf punktuelle Aspekte des temporalen Umfelds in GIS für kulturelles Erbe eingegangen und diese werden anhand von Anwendungsbeispielen beschrieben. Bei der Modellierung des Informationssystems wurde ein UML-Klassendiagramm eingesetzt und dieses in ein objektrelationales Datenbanksystem abgebildet.

Die Grundlage der vorliegenden Arbeit bildete eine Zusammenarbeit der Technischen Universität München mit Gemeinden des Achantals und Verwaltungen in Lehrveranstaltungen und Projekten in Bereichen der Erfassung, Dokumentation und Analyse von kulturellem Erbe in einem GIS. Der eigentliche Wert von kulturellem Erbe, so wurde von den Beteiligten in einem Workshop im Jahr 2001 festgestellt, liegt für die ländlichen Gemeinden nicht in rein kommerzieller Natur, sondern besteht in der Förderung intellektueller Aktivitäten und der Bewusstmachung, dass kulturelles und historisches Wissen die Wurzel regionaler und lokaler Identität bildet. Durch die Kombination neuer Medien, GIS und Internet können neue Anwendergruppen für eine nachhaltige Nutzung, beispielsweise im Heimat- oder Geschichtsunterricht, hinzu gewonnen werden. Zusätzliche oder neue Einnahmequellen entstehen dann in anderen, mit dem Kultursektor verbundenen wirtschaftlichen Sektoren, wie z. B. der regionalen Entwicklung, dem Tourismus oder der Medienindustrie.

Abstract

In recent years, there has been a growing social and political debate about the preservation and use of cultural heritage resources. Attention was drawn to the potential of cultural heritage for tourism, planning and education as well as to its significance for the formation of the information society in general. The rapid development of information technologies in the field of cultural heritage leads to a reevaluation of the social role of public facilities. The parties hereto make great demands on the management of collections, scientific research on the preservation of materials as well as the availability and innovative, comprehensive and dynamic access to cultural assets through scientists, specialists and interested citizens. By employing Internet technologies and recent developments in database technologies in standard computer applications or expert systems, information about cultural heritage can be made accessible to a large group of users.

From the early nineties, Geographic Information Systems (GIS) have increasingly been used outside disciplines such as geodesy and geography. Amongst others, archaeologists, geologists and people concerned with the preservation of monuments and historic buildings work with digital representations of cultural and historical objects in GIS. Particularly with regard to the processing of spatial problems, state-of-the-art GIS provide numerous methods for acquisition, storage, analysis and visualisation. In contrast, the temporal component that plays an important role for historical developments and dynamic processes has received far less attention. However, in addition to the still very important third dimension, the temporal dimension is increasingly being valued in cultural heritage applications.

Object-oriented languages and methods have become indispensable software development technologies in geoinformatics and its fields of applications. It is therefore a goal of this work to present an integrated object-oriented approach for the acquisition and management of geo-objects in a temporal GIS (TGIS) for cultural heritage. This is achieved through utilising the advantages provided by object-oriented concepts and object-oriented database management systems respectively. The approach comprises the object-oriented conceptual modelling of a temporal data model for cultural heritage. Special consideration is given to the temporal requirements of applications by modelling objects with spatial, temporal and thematic properties as well as by implementing the solution within an object-oriented software environment.

Selected aspects of the temporal environment for cultural heritage in GIS are addressed and further explained on the basis of use case scenarios. An UML class diagram is used for the modelling process which is transformed into an object-relational database management system.

The basis of the present work is a co-operation between the Technical University of Munich, local authorities of the “Achtental” valley and regional authority in university courses and projects concerned with the acquisition, documentation and analysis of cultural heritage in a GIS. According to the results of a workshop held in 2001, the real value of cultural heritage for rural communities is not merely financial in nature, but lies in an encouragement of intellectual activities and in increasing the awareness that cultural and historical knowledge forms the roots for regional and local identity. Combining new media, GIS and Internet, new user groups for a sustainable utilisation, for example, in social and history lessons, can be found and inspired. Additional or new sources of revenue will then emerge from other economic sectors that are connected to the cultural sector. Examples here are regional development, tourism or the media industry.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Assistentin am Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement der TU München.

Das Gebiet der Geoinformatik ist stark querschnittsorientiert, von den Grundlagen der IuK-Technologie über die geodätische Messtechnik, das Geodatenmanagement und Geoprocessing bis zu den GIS-Fachanwendungen. Diese Spannweite ist prädestiniert, nicht nur den wissenschaftlichen Nachwuchs an der Hochschule zu begeistern, sondern bereits Schülern in der Schule einen ersten Eindruck von der Vielseitigkeit und den spannend aufbereiteten Themen der Geoinformatik zu vermitteln.

Mein ganz besonderer Dank gilt dem Betreuer und stetigen Förderer meiner Arbeiten, Herrn Prof. Matthäus Schilcher für seinen wertvollen fachlichen Rat, für die Mühen als erster Berichter der Arbeit sowie für den nötigen Freiraum zur Durchführung und Fertigstellung.

Im Besonderen möchte ich zudem Herrn Prof. Alessandro Carosio für die Übernahme des Zweitgutachtens und Herrn Prof. Holger Magel für den Vorsitz der Prüfung danken.

Die Initiative für meine Arbeiten im Bereich des kulturellen Erbes entstand früh während meiner Lehrtätigkeit in den interdisziplinär angelegten Projektseminaren zum „Einsatz von GIS in der Kommunal- und Landentwicklung“. Geschichtsbegeisterte Bürger im Achantal, insbesondere Herr Bürgermeister Fritz Irlacher, Frau Christine Zaiser, Herr Hartmut Rihl und Herr Helmut Birner haben die Idee zu einem GIS für kulturelles Erbe von Anfang an engagiert unterstützt. Mein Dank gilt zudem Herrn Dr. Gerhard Ongyerth und Herrn Hans Ruedi Gnägi für ihre vielseitigen und motivierenden fachlichen Anregungen.

Mein Dank gebührt weiter den Diplomandinnen und Diplomanden Tanja Petterlechner, Stephan Plabst, Tobias Hochhäusler und im Besonderen Astrid Fichtinger für ihr außergewöhnliches Engagement und ihre wertvolle Unterstützung bei der Umsetzung von Ideen und Aufbereitung der Projektdaten - sowie allen Studierenden, stellvertretend Rainer Kroiß, Rolf Wojtech, Florian Schödlerle, Martin Soutschek, Thomas Arnold, Julia Müller und Anna Wendleder, die an den unterschiedlichen Projekten und Projektseminaren mitgewirkt und sich dabei für GIS und kulturelles Erbe begeistert haben. Für die freundliche Unterstützung bei der Laserscan-Aufnahme der Streichenkirche in Schleching danke ich dem Lehrstuhl für Geodäsie, insbesondere Herrn Thomas Schäfer und Herrn Thomas Weber für die fachkundige Betreuung der Aufnahme und der Auswertung.

Dem Team des Fachgebiets Geoinformationssysteme möchte ich für das sehr kollegiale Umfeld, die fachlichen Diskussionen, das Korrekturlesen und die Rücksichtnahme bei der Fertigstellung der Arbeit danken. Gisela Michl und Walter Emmerich trugen durch ihre Korrekturvorschläge zur Verständlichkeit der Arbeit bei.

Schließlich möchte ich mich sehr herzlich bei allen bedanken, die auf unterschiedliche Weise zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben - vor allem bei meiner Familie und meinem Mann Michael für die allseitige Unterstützung über die Jahre.

München im April 2005

Karin Elisabeth Hosse

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

In den letzten Jahren hat die Diskussion um den Erhalt und die Nutzung von kulturellem Erbe aufgrund des Potenzials für Tourismus, Planung und Bildung sowie der Bedeutung für die Entwicklung in der Informationsgesellschaft verstärkt politisches und gesellschaftliches Interesse auf sich gezogen.

Die europäischen Kulturinstitutionen stehen rasanten informationstechnologischen (IT-)Entwicklungen gegenüber. Diese Entwicklungen resultieren nicht nur aus der Verfügbarkeit von zunehmend ausgereiften Internet- und Datenbank-Technologien, es erfolgt gegenwärtig auch eine Neubewertung der gesellschaftlichen Rolle von öffentlichen Einrichtungen sowie ein starker Wandel in den Anforderungen der Nutzer neuer Technologien. Diese Trends wirken sich auf das Management von Sammlungen, die wissenschaftliche Forschung über die Erhaltung von Materialien sowie den innovativen, umfassenden und dynamischen Zugang zu multimedial aufbereiteten, kulturellen Beständen durch Wissenschaftler, Fachkräfte und interessierte Bürger aus.

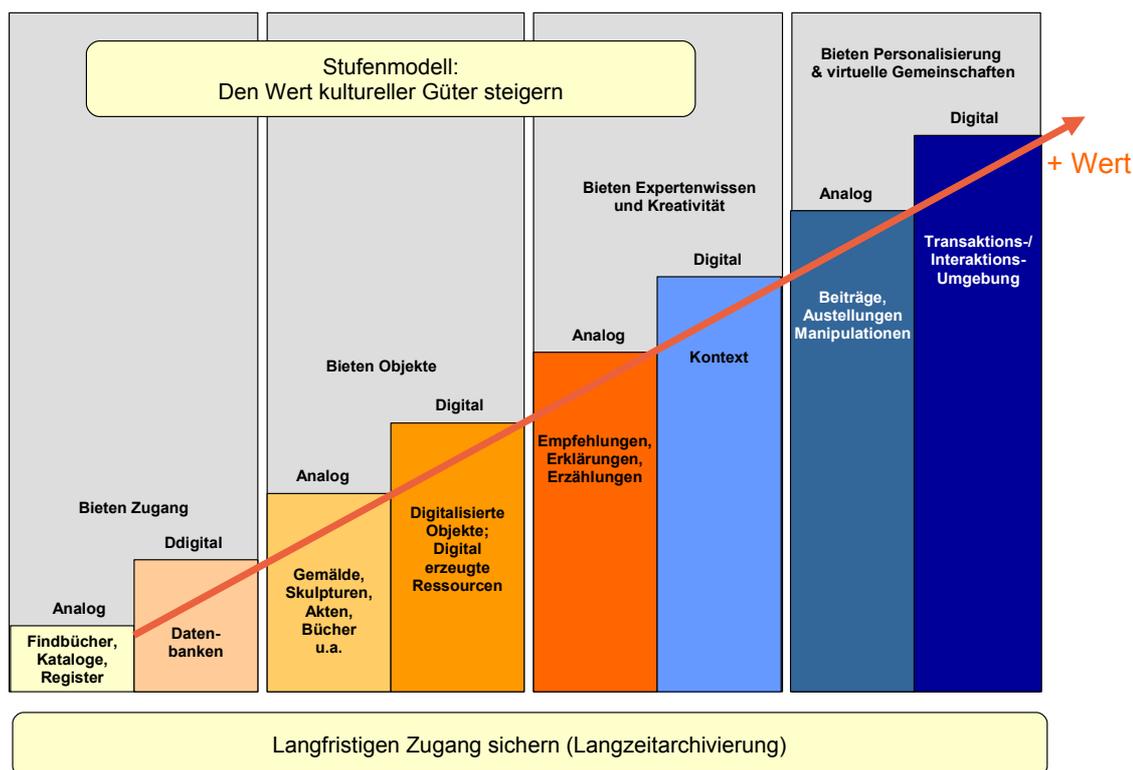


Abb. 1.1: Stufenmodell zur Wertsteigerung und Sicherung des Zugangs zu kulturellem Erbe, Quelle: SALZBURG RESEARCH 2001 in EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.) 2002

IT-Innovationen sind nicht nur ausschlaggebend dafür, welche Strategien Kulturinstitutionen für den Erhalt und die Nutzung ihrer Sammlungen entwickeln, sondern beeinflussen auch die Wirtschaft, die ihre Produkte und Dienstleistungen für oder in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Kultursektoren anbietet. Mit Blick auf diesen Kontext stellt sich die Frage, wie Kulturinstitutionen und sonstige Interessierte am kulturellen Erbe diesen technologisch beeinflussten Veränderungen begegnen sollten, welche (Daten-)Archive, Bibliotheken und Museen zur Verfügung stehen und wie zukünftige IT-Entwicklungen

besser genutzt werden können, um den Wert kultureller Güter zu steigern (s. [EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.) 2002] und Abb. 1.1).

Mit dem Fortschritt der Entwicklung von leistungsfähigen Instrumenten zum Umgang mit raumbezogenen Daten durch den Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) in nunmehr drei Jahrzehnten ist es möglich, komplexe räumliche und zeitliche Zusammenhänge besser zu verarbeiten und für unterschiedliche fachliche Fragestellungen einzusetzen. Seit Anfang der 90er Jahre werden GIS zunehmend auch in Disziplinen außerhalb der Geodäsie und Geografie eingesetzt. Unter anderem beschäftigen sich aktuell die Archäologie, die Geologie und die Denkmalpflege in einzelnen Projekten mit der digitalen Datenverarbeitung von kulturell und historisch interessanten Objekten in GIS. In diesen Bereichen werden überwiegend Desktop-GIS eingesetzt. Desktop-GIS integrieren als Einzelarbeitsplätze i. d. R. die Komponenten der Datenhaltung und der Fachschale und erreichen nicht den Funktionsumfang so genannter High-End-GIS¹. Mit dem Einsatz der Internettechnologie und neueren Entwicklungen der Datenbanktechnologie in Standard-Computeranwendungen und Spezialsystemen können GIS-Funktionen zudem für eine große Anzahl von Nutzern verfügbar gemacht werden.

Zur Bearbeitung von raumbezogenen Problemstellungen stehen in allen gängigen GIS zahlreiche Methoden zur Erfassung, Speicherung, Analyse und Visualisierung zur Verfügung. Der zeitlichen Komponente, die gerade für historische Entwicklungen oder dynamische Prozesse eine große Rolle spielt, wurde sehr viel weniger Bedeutung beigemessen. Sie wird aber neben der nach wie vor sehr wichtigen dritten Dimension in Anwendungen für das kulturelle Erbe zunehmend geschätzt [vgl. PATIAS 2004]. Bisher kann die Dimension Zeit nur über wenige meist unzureichende Funktionen genutzt werden oder muss in den Systemen durch den Anwender selbst über eigene Sachdatenmodelle integriert werden. Obwohl es kaum ein Anwendungsgebiet für Geoinformationssysteme gibt, in dem zeitbezogene Daten zu vernachlässigen wären, fehlen aufgrund der zusätzlichen Komplexität bislang standardisierte temporale Methoden. Ein Schwerpunkt der Entwicklung in GIS liegt daher heute in der Modellierung und Visualisierung kombinierter raum-zeitlicher Vorgänge. Die Anwendungsbereiche, die sich explizit mit temporalen Fragestellungen auseinandersetzen, reichen dabei von stark dynamischen Echtzeitanwendungen wie beispielsweise Tsunami-Frühwarnsysteme bis hin zur Darstellung langsam veränderlicher Zustände über größere Zeiträume.

Die Initiative zur vorliegenden Arbeit bildete die Zusammenarbeit der Technischen Universität München mit Gemeinden des Oberen Aichtals (s. Kap. 2.5) und Staatsbehörden in Lehrveranstaltungen und Projekten zur Erfassung, Dokumentation und Analyse von kulturellem Erbe in GIS. Der eigentliche Wert von kulturellem Erbe, so wurde von den Beteiligten in einem Workshop im Jahr 2001 festgestellt, liegt für die Gemeinden nicht in rein kommerzieller Natur, sondern besteht in der Förderung intellektueller Aktivitäten und der Bewusstmachung, dass kulturelles und historisches Wissen die Wurzel regionaler und lokaler Identität bildet. Zusätzliche oder neue Einnahmequellen entstehen dann in anderen, mit dem Kultursektor verbundenen wirtschaftlichen Sektoren, wie z. B. der regionalen Entwicklung, dem Tourismus oder der Medienindustrie.

Die meisten Ansätze zur Vermittlung des kulturellen Erbes haben derzeit nur „Projektcharakter“ und beschäftigen sich mit der genauen Erfassung und Darstellung des betrachteten Objekts oder Ensembles als zeitlich begrenzten Vorgang in Momentaufnahmen zum Analysezeitpunkt. Die digitalen Informationen zu kulturellem Erbe werden überall gewünscht, gesammelt und im Internet veröffentlicht. Datenbanken laufen zumeist auf Basis von MS-Access oder MS-Excel. GIS-Realisierungen basieren vielfach noch auf Desktop-Lösungen und sind der „Schritt, den alle Landesämter für Denkmalpflege anstreben, von dem aber die meisten weit entfernt sind“ [DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 2005].

¹ High-End-GIS: Bezeichnung für leistungsstarke GIS, die über eine deutlich überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit und Ausstattung sowie Client/Server-Architektur verfügen (s. auch Glossar im Anhang).

Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher, durch die Nutzung objektorientierter Ansätze bzw. eines objektrelationalen Datenbanksystems einen durchgängigen objektbasierten Ansatz zur Erfassung und Verwaltung von temporalen Geoobjekten des kulturellen Erbes aufzuzeigen und dabei die Vorteile gegenüber einer Desktop-Lösung darzustellen. Die Vorgehensweise beinhaltet:

1. Die objektorientierte konzeptionelle Modellierung eines temporalen Datenmodells für kulturelles Erbe unter besonderer Berücksichtigung von temporalen Anforderungen der Anwendung mittels der Bildung von Objekten mit räumlichen, zeitlichen und thematischen Eigenschaften und Methoden.
2. Die objektorientierte Implementierung eines GIS für kulturelles Erbe über die Abbildung des konzeptionellen Modells in ein objektrelationales Datenmodell und der Realisierung von temporalen Methoden zur Durchführung raum-zeitlicher Abfragen.
3. Die exemplarische Umsetzung und Darstellung von Anwendungsszenarien.

Die Untersuchungen sind ein Beitrag zur aktuellen und zukünftigen Einsetzbarkeit von objektorientierten Technologien und objektrelationalen Datenbanksystemen im Anwendungsgebiet für ein temporales GIS für kulturelles Erbe.

1.2 Aufbau der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wird zur Umsetzung des temporalen Aspektes in einem Geoinformationssystem eine umfassende Vorgehensweise gewählt (s. Abb. 1.2).

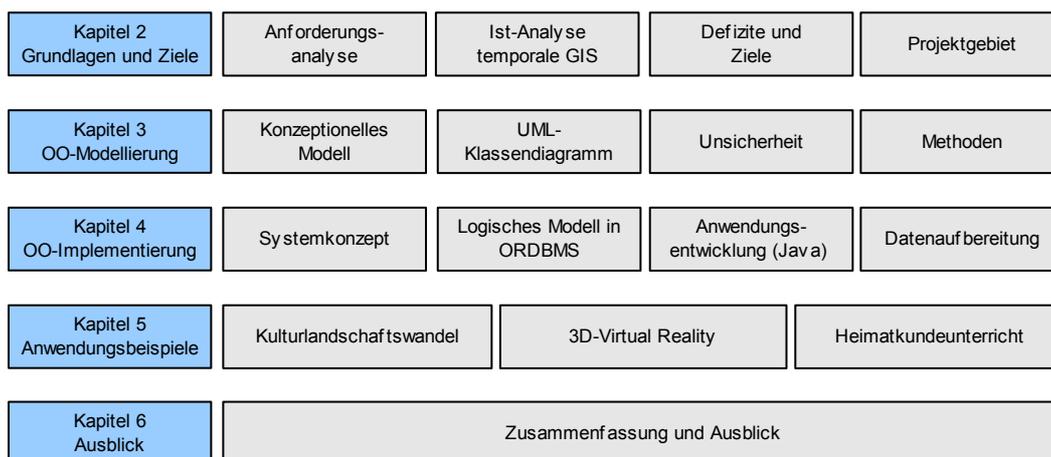


Abb. 1.2: Themenüberblick zur Arbeit

Die Ausgangssituation wird in Kapitel 2 dargestellt. Zunächst erfolgt eine Einführung in die Begriffe *kulturelles Erbe* und *temporale Geoinformationssysteme*. Auf Initiative eines Workshops wurde im Austausch mit dem Landesamt für Denkmalpflege, dem Landratsamt Traunstein, der Direktion für Ländliche Entwicklung München sowie der Gemeinde Schleching eine Anforderungsanalyse für das Untersuchungsgebiet „Oberes Achantal“ erstellt. In einer Ist-Analyse wird der Stand der theoretischen und technischen Konzepte für die Integration der Dimension Zeit in GIS sowie in temporalen Datenbanken analysiert und Realisierungsbeispiele für historische GIS-Anwendungen aufgezeigt. In Kapitel 3 wird das objektorientierte Modellierungskonzept für das temporale Datenmodell zur Beschreibung von kulturellem Erbe vorgestellt sowie auf spezielle Aspekte von historischen Daten eingegangen. Kapitel 4 erläutert das Systemkonzept, die exemplarische Implementierung der Anwendung sowie die Aufbereitung der Datenquellen. Einzelne Anwendungsbeispiele werden in Kapitel 5 aufgezeigt. Abschließend werden in Kapitel 6 die Ergebnisse zusammengefasst, die Nutzenpotenziale von temporalen GIS für kulturelles Erbe bewertet und Hinweise auf weiterführende Forschungsarbeiten gegeben.

Kapitel 2 Grundlagen und Ziele

2.1 Begriffsdefinitionen

Durch die Themenstellung werden zwei Begriffs- und Sichtwelten miteinander verbunden, die für die Verwendung in der Arbeit im Folgenden erläutert werden. Zum einen die Sicht der Informationstechnologie, die mit neuen digitalen Methoden zur vielfältigen Nutzung und Erschließung von Inhalten des so genannten kulturellen Erbes beiträgt. Zum anderen die Sicht der Bürger in den Regionen, die durch die Aufwertung von Natur- und Kulturerbe einen Beitrag zur Attraktivitätssteigerung und Entwicklung ihres Lebensraumes leisten.

2.1.1 Kulturelles Erbe

Um sich dem Begriff „kulturelles Erbe“ oder auch „Kulturerbe“ anzunähern, erscheint es zunächst zweckmäßig, ihn in seine Bestandteile „Kultur“ und „Erbe“ zu zerlegen.

Der Begriff „Kultur“ wird in der Forschungsliteratur sehr vielfältig beschrieben. KROEBER u. KLUCKHOHN zählten 1952 insgesamt 164 verschiedene Definitionen von Kultur. Zudem lassen sich nach INST [1998] zahlreiche Dimensionen des Kulturbegriffs unterscheiden, die meist traditionelle Fächer und Wissenschaftsdisziplinen darstellen, aber auch untereinander stark verwoben sind. Beispielhaft werden angeführt:

- die wissenschaftstheoretische und epistemologische Dimension: wie können wir Kultur und Kulturprozesse begreifen
- die anthropologische Dimension: Kulturanthropologie, Kulturökologie (Kultur als fundamentale Kategorie des Menschseins)
- die soziologische Dimension: Kulturosoziologie (gesellschaftliche Strukturen als Teil von Kultur)
- die politikwissenschaftliche Dimension: vor allem Entwicklungspolitik und Globalisierungstheorien diskutieren den Zusammenhang zwischen Kultur und Entwicklung
- die psychologische Dimension: kulturvergleichende Psychologie, die kognitiven Repräsentationen von Kultur
- die historische Dimension: kulturelles Erbe, Kulturgeschichte
- die medienwissenschaftliche Dimension: Medienkultur im Zeitalter des Fernsehens, von Video und Internet

Eine allgemeine Definition zum Begriff „Kultur“ liefern HANSEN [1995] und SPERBER [1996] als die Gesamtheit der Gewohnheiten, materiellen und geistigen Leistungen und Standardisierungen eines Kollektivs bzw. die Gesamtheit aller öffentlicher und mentaler Repräsentationen, die in einer bestimmten Gemeinschaft von Menschen als Meinungen, Handlungsnormen, kommunikativen Bedeutungen, etc. tradiert und stets aufs Neue interpretiert und somit konstituiert werden.

Eine weitere Definition, die auch von der UNESCO¹ (vgl. Kap. 2.1.1.1) verbreitet wird, beschreibt SAHLINS [1995] mit „culture as the total and distinctive way of life of a people or society“.

Für den Begriff „Kultur“ ist eine etymologische Betrachtung in Hinblick auf den später verwendeten Begriff der „Kulturlandschaft“ ebenfalls aufschlussreich. Er lässt sich zurückführen auf das lateinische

¹ UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Wort „colere“, das u. a. kultivieren und pflegen bedeutet [SCHENK 2002a] bzw. das Resultat „cultus“ (das Bebaute, Bearbeitete).

Der Begriff des „Erbes“ zeichnet sich dadurch aus, dass er – im Unterschied zu Begriffen wie Geschichte und Vergangenheit – mit einer zeitgenössischen Sicht verbunden ist. Während mit der Vergangenheit alles bezeichnet wird, was jemals geschehen ist, und in der Geschichte selektive Aspekte der Vergangenheit betrachtet werden, stellt das Erbe eine Sicht aus der Gegenwart dar, sowohl im Austausch mit dem Vergangenen als auch das Verhältnis zu dem noch nicht Entstandenen in der Zukunft [GRAHAM, ASHWORTH, THUNBRIDGE 2000]. In der vorliegenden Arbeit wird überwiegend die historische Dimension des kulturellen Erbes und der Kulturgeschichte unter Einsatz neuer Medien betrachtet. Der ganzheitlich gewählte Modellansatz von temporalen Geoobjekten beinhaltet an sich jedoch keinerlei zeitliche Beschränkungen in Richtung von Planungen oder Simulationen in der Zukunft.

Kulturelles Erbe kann bei geografischer Sichtweise von einem globalen, nationalen und lokalen bzw. regionalen Standpunkt aus betrachtet werden.

2.1.1.1 Kulturelles Erbe (global)

Historisch betrachtet entstand die Überlegung, kulturelle Artefakte zu einem „nationalen“ Erbe zu erklären (zunächst durch Édouard Pommier im Jahre 1790) als eine Folge der radikalen Veränderungen, die die Französische Revolution ausgelöst hatte [ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 2003]. Bis in die Mitte der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts war überwiegend von „Kunstdenkmälern“ die Rede, deren Pflege vornehmlich Aufgabe der Öffentlichen Hand war.

Der maßgebliche Schritt zum Schutz des kulturellen und natürlichen Erbes auf internationaler Ebene erfolgte durch die Verabschiedung der "Konvention zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt" im Rahmen der 17. Generalkonferenz der UNESCO im November 1972 [vgl. DEUTSCHE UNESCO KOMMISSION e.V. 2005]. Entscheidend für das Zustandekommen dieser Vereinbarung war u. a. die Tatsache, dass unserem schützenswerten Erbe zunehmend Zerstörungen drohen, die nicht nur durch den stetigen Verfall, sondern auch durch die Veränderung der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse begründet sind.

Die UNESCO hatte bereits 1945 in ihre Verfassung den Schutz und die Erhaltung des Kultur- und Naturerbes festgeschrieben [vgl. ICCROM 1983]. Die beträchtlichen Zerstörungen des zweiten Weltkrieges waren Anlass zur Gründung der IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) im Jahre 1948 und des internationalen Zentrums zum Schutz und zur Erhaltung der Kulturgüter, das ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property) im Jahre 1959. Auf die berühmte Charta von Venedig "Internationale Charta über die Konservierung von Denkmälern und Ensembles" im Jahre 1964 [ICOMOS 1964] folgte 1965 die Gründung von ICOMOS (International Council of Monuments and Sites).

Die Konvention zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt [UNESCO 1972] unterscheidet in den Artikeln 1 und 2 nach den Begriffen „cultural heritage“ (Kulturerbe oder kulturelles Erbe) und „natural heritage“ (Naturerbe):

Als „Kulturerbe“ gelten

- **Denkmäler:** Werke der Architektur, Großplastik und Monumentalmalerei, Objekte oder Überreste archäologischer Art, Inschriften, Höhlen und Verbindungen solcher Erscheinungsformen, die aus geschichtlichen, künstlerischen oder wissenschaftlichen Gründen von außergewöhnlichem universellem Wert sind;
- **Ensembles:** Gruppen einzelner oder miteinander verbundener Gebäude, die wegen ihrer Architektur, ihrer Geschlossenheit oder ihrer Stellung in der Landschaft aus geschichtlichen, künstlerischen oder wissenschaftlichen Gründen von außergewöhnlichem universellem Wert sind;

- **Stätten:** Werke von Menschenhand oder gemeinsame Werke von Natur und Mensch sowie Gebiete einschließlich archäologischer Stätten, die aus geschichtlichen, ästhetischen, ethnologischen oder anthropologischen Gründen von außergewöhnlichem universellem Wert sind.

Als „Naturerbe“ gelten

- **Naturgebilde**, die aus physikalischen und biologischen Erscheinungsformen oder -gruppen bestehen, welche aus ästhetischen oder wissenschaftlichen Gründen von außergewöhnlichem universellem Wert sind;
- **geologische und physiografische Erscheinungsformen** und genau abgegrenzte Gebiete, die den Lebensraum für bedrohte Pflanzen- und Tierarten bilden, welche aus wissenschaftlichen Gründen oder ihrer Erhaltung wegen von außergewöhnlichem universellem Wert sind;
- **Naturstätten oder genau abgegrenzte Naturgebiete**, die aus wissenschaftlichen Gründen, wegen ihrer Erhaltung oder aufgrund ihrer natürlichen Schönheit von außergewöhnlichem universellem Wert sind.

Es obliegt den Vertragsstaaten selbst, die in ihrem Hoheitsgebiet befindlichen Objekte und Stätten hiernach zu bestimmen und zu erfassen.

Seit geraumer Zeit werden auch gemischte Ensembles, z. B. bedeutende Denkmallandschaften oder Kulturlandschaften, in die Weltkulturerbeliste aufgenommen, in denen beispielsweise von Menschen Gebautes mit der Natur zusammenfügt wurde.

1985 wurde der Terminus „Kulturerbe“ (in franz. Patrimoine, in engl. cultural heritage) vom Europarat übernommen bzw. verwendet (Kongress von Granada zum Schutz des architektonischen europäischen Erbes) und ist seit damals zu einem weltweiten Schlagwort „nationalen“ kulturpolitischen Handelns geworden.

Dass die Definition und Auslegung von kulturellem Erbe in Theorie und Praxis immer wieder kritische Fragen aufwerfen, zeigt beispielsweise ein Kongress in Österreich [vgl. ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 2003], der sich mit der „kritischen Analyse der nationalen und internationalen Deutungs- und Handlungsmechanismen, die bei der Definition von 'Kulturerbe' (National Cultural Heritage bzw. World Cultural Heritage) wirksam werden“, auseinander gesetzt hat. Den Leitgedanken der Konferenz bildete dabei die Betonung der prinzipiellen Mehrdeutigkeit von „Kulturerbe“, d. h. dass „Erbe“ immer aus einer Vielfalt von Traditionen besteht und nichts Abgeschlossenes darstellt, sondern andauernd dynamisch und im Rahmen von Machtverhältnissen konstruiert wird.

Immaterielles Kulturerbe

Der Begriff „Kulturerbe“ kann auch noch weiter gefasst werden um das so genannte „intangible heritage“. Diesem Bereich widmet die UNESCO seit 2003 verstärkte Aufmerksamkeit. U. a. sollen nun auch „(...) oral traditions and expressions, including language as a vehicle of the intangible cultural heritage; performing arts; social practices, rituals and festive events; knowledge and practices concerning nature and the universe (...)“ dokumentiert und somit unter Schutz gestellt werden [UNESCO (Hrsg.) 2003]. Die UNESCO unterstreicht die Bedeutung dieses immateriellen Erbes als Basis der kulturellen Identität des Individuums und der Gesellschaften wie auch der kulturellen Vielfalt der Menschheit. Die Anzahl der Themen, die untersucht werden könnten, ist dabei unüberschaubar, denn die Kultur des täglichen Lebens spiegelt sich in nahezu allen Lebensbereichen wieder: Der Untersuchende muss sich bei seinen Forschungen über die Dynamik der Kulturweitergabe bewusst sein. Beispielsweise werden Traditionen nicht einfach unverändert übernommen, sondern sind lebendig. Hier sind Fragen zu beantworten, wie solche lebendigen, immateriellen kulturellen Praktiken und Traditionen geschützt werden können, ohne sie „einzufrieren“.

Die UNESCO hat der Idee, dass Kulturerbe sowohl materielle wie auch immaterielle Formen annimmt, in ihrer Definition von *heritage* Rechnung getragen. Nach GRAHAM [2002] werden vor allem in Euro-

pa und Nordamerika vornehmlich die gebaute oder natürliche Umwelt als *heritage* bezeichnet. In Afrika und Asien werden in diesem Zusammenhang dagegen eher unsichtbare Formen traditioneller oder populärer (Volks-) Kultur – Sprache, Musik, Tanz, Rituale, Essen, Folklore – berücksichtigt. Nichtsdestotrotz sind in allen Gesellschaften sowohl sichtbare als auch unsichtbare Formen enthalten, obgleich das Gleichgewicht unterschiedlich aussehen mag.

Wissenschaftliche Debatten um „Kulturerbe“ bewegen sich in einem politischen und ökonomischen Spannungsfeld. Die Diskussionen zeigen nicht zuletzt auch, dass abschließende Definitionen von „Kulturerbe“ und eines normierten Umgangs mit dem „Erbe“ kaum möglich sind und lassen ahnen, dass Konflikte zwischen Erhaltung und Erneuerung auch in Zukunft immer wieder von Neuem auftreten werden.

2.1.1.2 Kulturelles Erbe (national)

In der bundesdeutschen Rechtsmaterie ist das kulturelle Erbe sehr uneinheitlich als Schutzgut verankert. Der auf europäischer Ebene eingeführte Begriff „kulturelles Erbe“ wurde nicht in die nationale Gesetzgebung übernommen. Neben der Berücksichtigung der „historischen Kulturlandschaft“ (vgl. auch Kap. 2.1.2) im Bundesnaturschutzgesetz oder der „gewachsenen Kulturlandschaft“ im Bundesraumordnungsgesetz stellt das „Kulturgut“ in der Umweltverträglichkeitsprüfung einen wichtigen Rechtsbegriff dar. Grundsätzlich besteht eine enge Verbindung dieser Begriffe, jedoch bestehen Unsicherheiten über die behördlichen Zuständigkeiten und auch über eine exakte inhaltliche Abgrenzung der Begriffe [HEINEN, KLEEFELD, KNIEPS 2004]. Zu dieser Unklarheit der Begriffe tragen auch die unübersichtlichen oder fehlenden Datenquellen zum kulturellen Erbe bei. Es fehlen einheitliche Vorgaben für ein Kulturgüterinformationssystem bzw. ein flächendeckendes Kulturlandschaftskataster, wie es beispielsweise in Nordrhein-Westfalen aktuell diskutiert wird. Fallbeispiele belegen, dass durch eine systematische Kulturgütererfassung die verstreut vorliegenden Informationen zusammengefasst werden können und damit Kulturlandschaft erst als wesentliche Ausdrucksform des kulturellen Erbes verknüpfend dargestellt wird.

Rein formal soll durch die Verankerung in verschiedenen Gesetzen die Voraussetzung geschaffen worden sein, dem kulturellem Erbe den ihm zustehenden Platz innerhalb der Praxis einzuräumen. Dass dies bis heute nicht der Fall ist, liegt u. a. daran, dass es keine direkte Behördenzuständigkeit gibt [OTTEN 2004]. Beispielsweise decken neben den eher klassischen Disziplinen der Denkmalpflege (archäologische sowie Bau- und Gartendenkmalpflege) auch die Volks- und Landeskunde, die historische Geografie und der Naturschutz Teilaspekte des kulturellen Erbes ab.

2.1.1.3 Kulturelles Erbe im ländlichen Raum (regional und lokal)

Die ländlichen Siedlungen und die Überlieferungen der in der Landschaft erhalten gebliebenen Spuren der Geschichte menschlichen Handelns sind integrierter Bestandteil des kulturellen Erbes im ländlichen Raum. Bereits in den 80er Jahren wurden tief greifende Umstrukturierungen im ländlichen Raum in die sozialen, wirtschaftlichen und baulichen Gegebenheiten der ländlichen Siedlungen initiiert. Die Gemeinden und ihre Bewohner sind seither einem enormen Veränderungsprozess und Erneuerungsdruck ausgesetzt [DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 1988]. Gleichzeitig fanden nach MAGEL [1988] ein Wertewandel und eine (gesellschafts-)politische Zuwendung zum ländlichen Raum statt, die insbesondere die Heimat- und Regionalismusbestrebungen verstärkten. Heute erfährt die kommunale und regionale Ebene im Zuge des sich verändernden Staatsverständnisses und der neubelebten Subsidiaritätsdiskussion stetig eine zentrale Aufwertung. Hinzu kommt als Folge der orientierungslos machenden Globalisierung das zunehmende Bedürfnis der Menschen nach konkreter Verortung und Verwurzelung [MAGEL 2004]. Bürger sind in der aufkommenden "Bürgergesellschaft" und der notwendigen "neuen Bürger- und Sozialkultur" eher bereit, sich veränderten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedingungen anzupassen und an der Erneuerung ihres Lebensraumes aktiv mitzuwirken, wenn sie dabei die eigene Identität nicht aufgeben müssen und nicht einseitig ökonomische und funktionale Ziele verfolgt werden [GLÜCK, MAGEL (Hrsg.) 2000]. Die Erhaltung der Baudenkmäler

und historischen Ortslagen, der Schutz des heimatlichen Lebensraumes und der Kulturlandschaft tragen dabei zum Bewusstsein gemeinsamer Werte bei. Das kulturelle Erbe ist nicht der Besitz einer Generation, sondern es ist Auftrag zu Schutz und Pflege, um es zukünftigen Generationen übergeben zu können [DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 1988].

In der Kommunal- und Landentwicklung wirken viele fachübergreifende Themen zusammen, die nicht nur Planer und Gemeindeverantwortliche betreffen. Ein geordnetes Miteinander von Wohnbereichen, Gewerbezonem, Grünflächen, öffentlichen Plätzen, Verkehrswegen und Freizeitinfrastrukturen stellt einen wichtigen Faktor der Lebensqualität jedes Einzelnen dar. Gerade im Bereich der Siedlungsentwicklung stehen die Gemeinden bei der Erstellung kommunaler Bauleitpläne einerseits vor der Herausforderung, ausreichend Bauland zur Verfügung zu stellen; andererseits soll gleichzeitig eine harmonische Entwicklung der Ortschaften gewährleistet, historische Bausubstanz und regional typische Ortstrukturen erhalten sowie eine verträgliche Funktionseinheit von Wohnen, Arbeiten und Freizeit geschaffen werden. Eng verbunden sind damit sicherlich auch Fragen zur Erhaltung des kulturellen Erbes.

Das in Wert setzen der bestehenden Ortstrukturen, der Bausubstanz und des Kulturerbes sowie deren Dokumentation und nachhaltige Sicherung in Informationssystemen stellt einen wichtigen Faktor bei der Suche nach Einzigartigkeit und Unverwechselbarkeit des eigenen Umfelds dar. Beispielsweise beruhen im Bereich Tourismus die Attraktivität sowie Alleinstellungsmerkmale einer Region bzw. eines Ortes auch auf deren Geschichte und auf einem harmonischen Landschaftsbild. Die Berührungspunkte zur Wirtschaft sind ebenfalls vielfältig. Jede Entwicklung baulicher Art hat Auswirkungen auf die Siedlungen, auf das Landschaftsbild und den Ressourcenschutz. Eine nachhaltige Regionalentwicklung unterstützt dabei wirtschaftliche Aktivitäten, die für künftige Generationen ein lebenswertes Umfeld schaffen und soll zur Minimierung des Energie-, Ressourcen- und Flächeneinsatzes beitragen.

Die Direktionen für Ländliche Entwicklung unterstützen die Gemeinden in Bayern unter anderem im Rahmen von Dorferneuerungsverfahren auf der Basis vorausgehender Ortsanalysen, die den Ort mit seinen geschichtlichen Überlieferungen nach Bedarf in einem denkmalpflegerischen Erhebungsbogen dokumentieren oder auch die Zeugnisse der historischen Kulturlandschaft (s. Kap. 2.1.2) für das Einbinden in die planerische Praxis aufbereiten. Dabei sollten nicht nur fachintern Denkmalbedeutung und Ziele der Dorferneuerungsmaßnahmen diskutiert werden, sondern wie im Projektgebiet der vorliegenden Untersuchung (s. Kap. 2.2 und 2.5) praktiziert, gemeinsam mit der Dorfbevölkerung für den eigenen Ort erarbeitet werden.

2.1.2 Erbe der Kulturlandschaft

Kultur- und Naturerbe finden sich auch als Spuren und Elemente in der erhalten gebliebenen historischen Kulturlandschaft wieder und weisen damit einen stark geografischen und zeitlichen Bezug auf.

Der Schutz von erhaltenswerten Landschaftselementen wird vereinzelt in Gesetzesgrundlagen aufgegriffen. Beispielsweise bieten die eher an baulichen Objekten orientierten Denkmalschutzgesetze der Bundesländer Möglichkeiten zur flächenhaften Unterschutzstellung von Landschaftselementen, dies aber nicht immer einheitlich [vgl. ONGYERTH 1996]. Der Begriff „Kulturlandschaft“ wird in den Denkmalschutzgesetzen der Bundesländer mit wenigen Ausnahmen nicht aufgeführt. Durch das Bundesnaturschutzgesetz ist jedoch grundsätzlich formuliert, dass sich ein Schutzauftrag für historische Kulturlandschaften und -landschaftsteile auch aus ihrer besonderen Bedeutung für die Eigenart oder Schönheit geschützter oder schützenswerter Kultur-, Bau- und Bodendenkmäler ergeben kann [§ 2 Abs. 1 Nr. 14 des BNatSchG].

Kulturlandschaft

Eine grundlegende Definition des Begriffes "Landschaft" gestaltet sich als schwierig, denn „auch innerhalb der geographischen Fachnomenklatur lassen sich zu kaum einem Terminus derart vielfältige und ebenso unterschiedliche Definitionen und Verwendungsbereiche finden“ [JOB 1999]. Für SCHENK

[2000] sind „Landschaft“ und „Kulturlandschaft“ Begriffe „nahezu beliebigen Sinnbesetzes“. In Hinblick auf die Etymologie lässt sich feststellen, dass "Landschaft" im Mittelhochdeutschen gleichbedeutend war mit "Territorium" oder dem lateinischen "regio" und einen Landesteil oder eine Gegend von einer bestimmten festgelegten Ausdehnung oder auch die Bewohner einer Gegend beschrieb. „Landschaft“ ist nach SCHENK [2002a] ein Begriff mit einer Vielzahl von Konnotationen, der sich damit einer allgemein gültigen Definition entzieht und aufgrund seines ganzheitlichen Charakters nicht operationalisierbar ist.

In einer Definition von BURGGRAAFF [2000] ist Kulturlandschaft im geografischen Sinne „der von Menschen nach ihren existentiellen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ästhetischen Bedürfnissen eingerichtete und angepasste einstige Naturraum, der im Laufe der Zeit mit einer zunehmenden Dynamik entstanden ist und ständig verändert bzw. umgestaltet wurde und noch wird.“ Die in der Diskussion häufig verwendete Trennung zwischen Naturlandschaft und Kulturlandschaft spielt für die Eingrenzung des Begriffs „Kulturlandschaft“ hier nur eine untergeordnete Rolle, da weitgehend Konsens darüber besteht, dass Naturlandschaft im strengen Sinn, d. h. unberührt von menschlichen Eingriffen, in Mitteleuropa kaum noch existiert. Naturlandschaft und Kulturlandschaft können daher als Bestandteile eines Kontinuums gesehen werden, die nicht scharf gegeneinander abgrenzbar sind [JOB 1999].

Historische Kulturlandschaft

Die heutige Landschaft ist eine von Menschen geprägte Kulturlandschaft mit historischer Dimension. Es lassen sich darin landschaftsprägende Spuren menschlicher Tätigkeiten aus allen Epochen der Geschichte finden [GUNZELMANN 2001]. Dem Begriff „historische Kulturlandschaft“ [vgl. PLÖGER 2003; JOB 1999; WÖBSE 1999; JÄGER 1987] ist eine zeitliche Abgrenzungsproblematik inhärent, ab wann eine Kulturlandschaft als historisch einzustufen ist.

Nach PLÖGER [2003] ist „eine historische Kulturlandschaft (...) ein Ausschnitt aus der heutigen Kulturlandschaft, der in besonderem Maße durch historische kulturgeographische Objekte und Strukturen geprägt ist. Historische kulturgeographische Objekte sind persistente Kulturlandschaftselemente und persistente Kulturlandschaftsbestandteile einschließlich solche, die als funktionslos gewordene Relikte einzuordnen sind“.

Für die Verwendung in GIS ist die Operationalisierung bei BURGGRAAFF [1996] von zentraler Bedeutung, nach der Kulturlandschaft „heute einen funktionalen und prozessorientierten Systemzusammenhang dar[stellt], dessen optisch wahrnehmbarer strukturierter Niederschlag aus Punktelementen, verbindenden Linienelementen und zusammenfassenden sowie zusammengehörigen Flächenelementen besteht“. Diese Unterscheidung in Punkt-, Linien- und Flächenelemente wird bei einer Vielzahl von Autoren thematisiert, so beispielsweise bei PLÖGER [2003], der ein „Kulturlandschaftselement“ als „das in historisch-geographischer Sicht als kleinste Einheit unterscheidbare und sinnlich wahrnehmbare Einzelobjekt einer Kulturlandschaft [beschreibt]. Es kann aufgrund seiner Wirksamkeit im Raum physiognomisch-formal als Punkt-, Linien- oder Flächenelement beschrieben werden.“

Kulturlandschafts(-wandel)forschung

Kulturlandschaftsforschung und -pflege war lange ein zentrales Aufgabenfeld der Geografie [DIX 2000; MERKLI 1993] und wird heute auch wieder verstärkt interdisziplinär (Landschaftspflege, Umwelt- und Naturschutz, Denkmalpflege, Archäologie, Geoökologie etc.) diskutiert [vgl. SOYEZ 2003].

Traditionell betreibt die „historische Geografie“ Kulturlandschaftsforschung mit historischem Bezug. Nach WAGNER [1938] hat „die historische Geographie (...) die Aufgabe, die geographischen Verhältnisse vergangener, geschichtlicher und auch vorgeschichtlicher Epochen darzustellen, sozusagen geographische Querschnitte durch die zeitliche Folge der Erscheinungen zu legen. Sie dient damit in hervorragendem Maße auch der notwendigen genetischen Behandlung aller geographischen Fragen im Längsschnitt“. In dieser Definition sind die klassischen Methoden der Kulturlandschaftsforschung mit historischem Bezug angesprochen [vgl. auch BENDER, BÖHMER, JENS 2002; LANGE 2002a; PLÖGER 2003], nämlich Querschnitte, die synchronisch den Zustand der Landschaft zu einem bestimmten Zeit-

punkt in der Vergangenheit (Zeitschnitt) zeigen und Längsschnitte, die diachronisch durch Vergleich einzelner Zeitschnitte eine Entwicklung aufzeigen. Hierbei wird zwischen den folgenden Vorgehensweisen unterschieden:

- Progressiv: ausgehend vom ältesten Zeitschnitt geht die Untersuchung in Richtung der jüngeren Zeitschnitte vor.
- Retrogressiv: ausgehend vom jüngsten Zeitschnitt geht die Untersuchung in Richtung der älteren Zeitschnitte vor und kommt so zu einer Erklärung vergangener Zustände.
- Retrospektiv: zunächst erfolgt eine retrogressive Betrachtung, mit der die Entwicklung analysiert wird, die zu einer genetischen Erklärung von jüngeren Zuständen herangezogen wird.

In der historisch-geografischen Forschung werden zahlreiche Instrumente und Arbeitsweisen eingesetzt [PLÖGER 2003; vgl. auch DIX 2000]. Unter anderem sind dies:

- Archivforschung: Auswertung schriftlicher, kartografischer und bildlicher Zeugnisse
- Feldforschung: Erfassung von wahrnehmbaren naturräumlichen Gegebenheiten und Relikten im Feld
- Inventarisierung von Kulturlandschaftselementen [vgl. WAGNER 1999; WEISER 1996; GUNZELMANN 1987]
- Kulturlandschaftswandelkartierung, entwickelt von BURGGRAAFF [1992]
- Landschaftswandelkarten nach Entwicklungstypen, erzeugt durch sukzessive Verschneidung aller Zeitschnittkarten [BENDER, BÖHMER, JENS 2002]
- Erarbeitung raum-zeitlicher Modelle zur Erklärung des Kulturlandschaftswandels
- Prognose und Simulation durch Analyse von Einflussfaktoren in Modellen [vgl. BENDER, JENS 2003; JOB 1999]

In der Kulturlandschaftswandelforschung geht es nach SCHENK [2002a] „um die Beschreibung und Erklärung sowie Interpretation des Werdegangs einer abgegrenzten Raumeinheit (Landschaft) vornehmlich unter dem Wirken des Menschen“. Einen für das Anwendungsbeispiel in Kap. 5.1 interessanten theoretischen und methodischen Ansatz der Kulturlandschaftswandelforschung beschreibt GÜNTHER [1985] in seiner Untersuchung zur Nutzungsgeschichte einer Landschaft im Rahmen eines UNESCO Man and Biosphere (MAB)-Programms in der Schweiz. Hier wird ein systemtheoretischer Ansatz mit prozessualer und nutzungsgeschichtlicher Betrachtungsweise verknüpft, wobei der Wandel der traditionellen Kulturlandschaft und die sozioökonomischen Veränderungen anhand der Landnutzung aufgezeigt und mittels ausgewählter Nutzungsarten empirisch belegt werden. Es wird in einer raum-zeitlichen Betrachtungsweise der Nutzungswandel anhand einer kartografischen Zeitreihe dargestellt, wodurch ursächlich raumwirksame Prozesse abgeleitet, Hinweise auf historisch bedeutsame Nutzungsformen und Landschaftselemente gegeben, Trends in der Landnutzung erkannt und zukünftige Nutzungsmöglichkeiten abgeschätzt werden sollen. Damit soll auch ein Beitrag zur Problemlösung in der Planung geleistet werden.

Die Arbeitsschritte einer angewandten historisch-geografischen Untersuchung beschreiben PLÖGER [2003] und WEISER [1996] als „historisch geografische Kulturlandschaftsuntersuchung“ [vgl. auch SCHENK 2002a] wie folgt:

1. Inventarisierung bzw. Bestandsaufnahme: flächendeckende Erfassung und Beschreibung des Inhalts bzw. der Ausstattung der gegenwärtigen Kulturlandschaft.
2. Erforschen der Kulturlandschaftsgeschichte: historisch-genetische Erklärung kulturlandschaftlicher Strukturen und Elemente.
3. Bewertung von gewachsenen bzw. historischen Kulturlandschaften: den Stellenwert vor allem persistenter Strukturen und Elemente – ihre kulturhistorische Bedeutung – in der heutigen Landschaft nachvollziehbar erfassen sowie prägende, aus der Vergangenheit in die Gegenwart reichende Prozesse ermitteln und die Gefährdung für die historisch gewachsene Substanz einschätzen.

4. Leitbilder für eine Kulturlandschaftspflege entwickeln: Eine zentrale Zielsetzung ist dabei die Beachtung historischer Originalität und regionaler Spezifik, also die Erhaltung der Identität einer Landschaft und die Erhaltung der regionalen Differenzierung unterschiedlicher Kulturlandschaften.

Als Grundlage für die Kulturlandschaftspflege wird die Einrichtung von möglichst flächendeckenden GIS-basierten Kulturlandschaftskatastern gefordert [BURGGRAAFF, KLEEFELD 2002; SCHENK 2002], um eine gemeinsamen Wissensbasis für interdisziplinäre Zusammenarbeit zu erhalten [VETTER 2001].

2.1.3 Digitales kulturelles Erbe

Gegenüber der Definition des Begriffs "kulturelles Erbe" im Hinblick einer identitätssichernden Rolle auf Basis lokal oder national erinnerter Traditionen oder als wichtiges Zeugnis der menschlichen Geschichte im Rahmen der 1972 entstandenen Konvention für "Kultur- und Naturerbe der Menschheit" dominiert in der vorliegenden Arbeit die Verwendung aus Sicht der (Geo-)Informationstechnologie.

Der Fokus dieser Betrachtung liegt vornehmlich auf der digitalen Datenverarbeitung von Informationen über historische Kulturobjekte in Siedlung und Landschaft. Dabei geht es um Fragestellungen, wie digitale Technologien (Aufzeichnungs-, Datenhaltungs-, Auswerte- und Übertragungstechnologien) für kulturelle Erinnerung eingesetzt werden können, und wie Informationen mit einem umfangreichen geografischen und zeitlichen Bezug in einem GIS gespeichert, aufbereitet oder gegebenenfalls rekonstruiert werden müssen, um die Inhalte dem Nutzer in gewünschter Form zu vermitteln. Allen Formen der Analyse und Visualisierung von Veränderungen der Kulturobjekte kommt dabei eine große Bedeutung zu.

Häufig wird in Projekten zur Dokumentation kulturellen Erbes in der Praxis davon ausgegangen, dass das betrachtete Objekt oder Ensemble im Mittelpunkt steht und somit zeitlich, gesellschaftlich und geografisch aus seinem ursprünglichen Kontext herausgenommen wird. Die digitale Erfassung von Kulturstätten erfolgt dann beispielsweise durch 3D-Objektaufnahmen in lokalen Bezugssystemen mittels verschiedener Verfahren aus Photogrammetrie und Laserscanning und deren Darstellung und Aufbereitung in CAD oder Multimediateien. In anderen Fällen wird die Digitalisierung und Langzeitarchivierung von Archivmaterial oftmals noch gänzlich ohne Georeferenzierung in Katalogen, Listen und Multimediateien vorgenommen.

Viele Fragestellungen zur Digitalisierung und Vermittlung von kulturellem Erbe sind vor allem für eine Fachöffentlichkeit relevant (historische Archive, Bibliotheken, Bildarchive, Museen und Forscher). Innovative Vermittlungskonzepte verbinden jedoch Inhalte, Erlebnis- und Erfahrungsräume sowie Lernangebote in einer medialen Gesamtinszenierung, in der verschiedene Vermittlungsebenen und Medien ineinander greifen [vgl. ZSCHOCKE, BLOME, FLEISCHMANN 2004] und mit der ein breiteres Publikum angesprochen werden kann.

Durch diese Zusammenführung und damit auch Konservierung von Informationen über kulturelles Erbe mit neuen digitalen und multimedialen Hilfsmitteln wird in manchen Fällen auch ein Übergang der digitalen Aufzeichnungen selbst in den Status „Kulturerbe“ erfolgen können. Dies ist vor allem in jenen Fällen denkbar, in denen die Originalaufzeichnungen nicht mehr erhalten werden konnten oder beispielsweise erst durch die digitale Zusammenfügung vieler einzelner Bruchstücke eine realitätsnahe Nachbildung des Kulturerbe-Objektes rekonstruiert werden kann.

Kritiker der Offenlegung von Ortsangaben der Kulturerbe-Objekte fordern für die Veröffentlichung des kulturellen Erbes in digitaler Form die Einhaltung von Regeln, die auch für gedruckte Veröffentlichungen gelten. Beispielsweise werden Bodendenkmäler, die vor Raubgrabungen zu schützen sind oder wertvolle Ausstattungen von Kirchen und anderen Gebäuden zum Schutz vor Diebstahl und Vandalismus nicht oder nur mit nicht identifizierbarer Ortsangabe beschrieben. Nach dem DEUTSCHEN NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ [2005] gilt im Copyright das Urheberrecht, auf das

wenn möglich hingewiesen werden soll. Üblich ist eine Formulierung wie: „Die Inhalte auf dieser und den übrigen Seiten sowie die Gestaltung der Seiten unterliegen dem Urheberrecht der XY-Gesellschaft. Die Verbreitung ist nur mit schriftlicher Genehmigung XY zulässig. Dies gilt auch für die Aufnahme in elektronische Datenbanken (...)“

Digitale Medien nehmen eine immer wichtigere Rolle bei der Dokumentation, Speicherung und Vermittlung des kulturellen Erbes ein. Durch die immensen Speicherkapazitäten und die meist verlustlose Reproduzierbarkeit digitaler Daten stellen digitale Technologien auf den ersten Blick das optimale Medium zur Sicherung historischer Daten und Bestände dar [ZSCHOCKE, BLOME, FLEISCHMANN 2004]. Dabei muss jedoch auch beachtet werden, dass durch Einhalten gewisser Standards und der sauberen Konzeption der Projekte der Fortbestand auch über die schnelllebigen Verfallszyklen der IT-Technologie hinaus gewährleistet wird.

Die Information über Kulturerbe weist in hohem Maße einen Bezug zur geografischen Lage auf und wird daher meist zusätzlich zu beschreibenden Texten und Bildern auch auf Basis von Karten dokumentiert. Daher bietet es sich an, Kulturerbe-Objekte in diesem Sinne als Geoobjekte zu definieren, und die etablierte Technologie der Geoinformationssysteme zu ihrer Erfassung, Dokumentation und Analyse einzusetzen.

2.1.4 Temporales Geoinformationssystem (TGIS)

Allgemein formuliert dienen Geoinformationssysteme (GIS) der „Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung aller Daten, die einen Teil der Erdoberfläche und die darauf befindlichen (...) Gegebenheiten beschreiben“ [BARTELME 1989]. Nach SCHILCHER [2004] bestehen GIS aus Hard- und Software-Komponenten, die je nach Anwendung unterschiedlich sind. Zu den wichtigsten Teilkomponenten zählen das Datenmodell, Methoden zur Analyse und Visualisierung, die Datenbank mit Schnittstellen für den Datenaustausch sowie die Geodaten als kostenintensivste und langlebigste Komponente.

In einem GIS können nur Informationen analysiert und abgefragt werden, die durch das Datenmodell vorgesehen sind. Daher kommt dem Modellierungsprozess (s. Kap. 3.1), in dem ein bestimmter Ausschnitt der realen Welt unter Einsatz bestimmter Techniken in einen Rechner abgebildet wird, beim Aufbau einer umfangreichen und komplexen temporalen GIS-Anwendung für kulturelles Erbe eine zentrale Bedeutung zu.

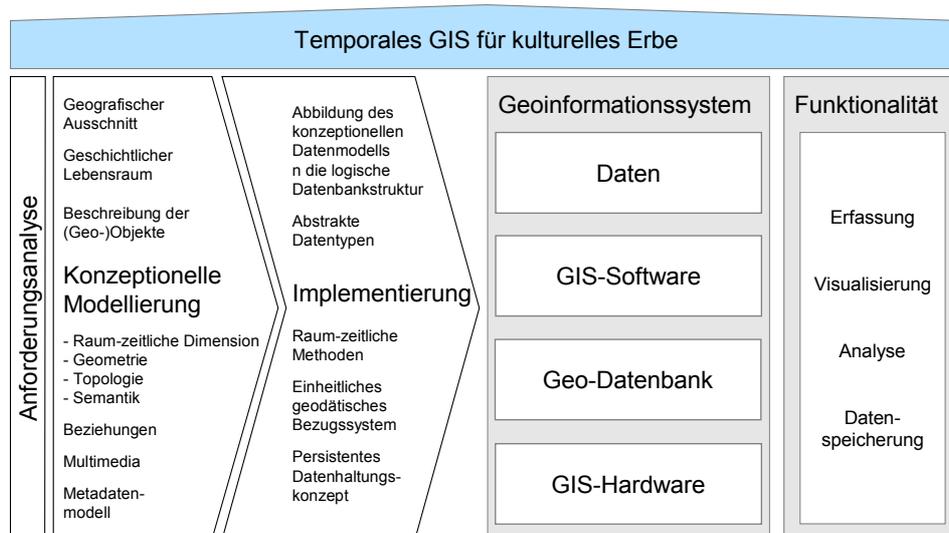


Abb. 2.1: Entwicklung einer GIS-Anwendung für kulturelles Erbes

Die Modellierung des Datenmodells bestimmt somit wesentlich die Leistungsfähigkeit eines Geoinformationssystems und bildet ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Auswahl eines Herstellersystems. Es gibt heute keine universell einsetzbaren Datenmodelle, die allen Anwendungen gerecht

werden und optimale Lösungen garantieren. In der Praxis dominieren projektspezifische, anwendungs- und herstellerabhängige Datenmodelle [SCHILCHER 2004]. Der Abstraktionsgrad des Modells wird durch die Wahl der Anwendung und im Idealfall in einer vorausgehenden Anforderungsanalyse festgelegt. Die Anforderung an ein GIS für kulturelles Erbe werden in Kapitel 2.2 dargestellt.

Bei der Implementierung des Geodatenmodells in einem Datenbank-Managementsystem (DBMS) kann grundsätzlich zwischen einer dualen (oder getrennten) Datenhaltung und einer integrierten Datenhaltung unterschieden werden (s. Abb. 2.2).

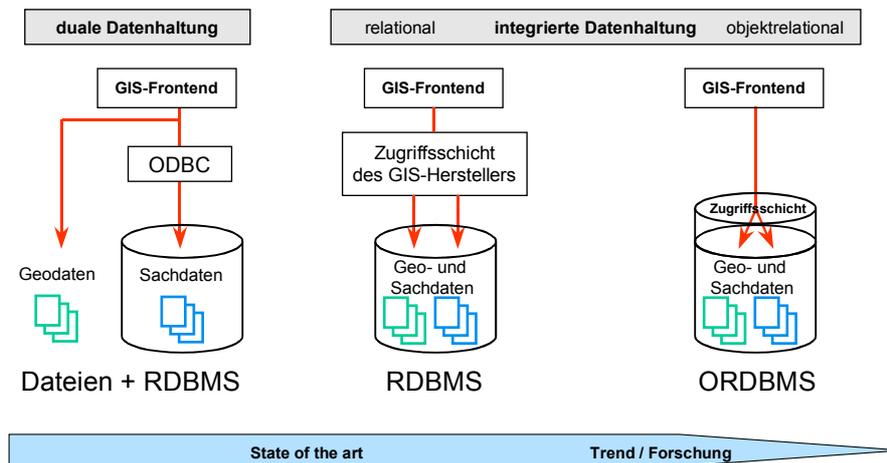


Abb. 2.2: Ansätze der Datenhaltung für GIS
Quelle: verändert nach SCHILCHER 2004

Bei der dualen Datenhaltung erfolgt die Speicherung der nichträumlichen Sachdaten in einem relationalen Datenbank-Managementsystem (RDBMS), die Geometriedaten werden davon getrennt in Dateien abgelegt. Die Verknüpfung erfolgt über Identifikatoren. Dieser einfache Ansatz ist überwiegend noch bei Desktop-GIS anzutreffen und kann durch die physikalische Trennung der Geometrie- und Sachdaten, insbesondere bei einer vom Benutzer durchgeführten Aktualisierung an einem der beiden Datenbestände, zu Konsistenzproblemen führen.

Eine integrierte Datenhaltung liegt vor, wenn sämtliche Geometrie-, Sach- und Metadaten in einem DBMS gespeichert werden, und die Konsistenzsicherung beispielsweise durch Fremdschlüsselbeziehungen möglich ist. Als State-of-the-art werden hier seit vielen Jahren RDBMS verwendet. Für die anwendungsspezifische Verwaltung und den Zugriff auf die integrierten GIS-Datenstrukturen ist eine spezielle Zugriffsschicht des GIS-Herstellersystems erforderlich. Der Trend geht in Richtung objektrelationaler (OR-)DBMS, die eigene räumliche Datentypen anbieten bzw. benutzerspezifische Datentypen erlauben. ORDBMS versprechen durch ihre hohe Flexibilität eine bessere Verwaltung und den erleichterten Zugriff auf komplexe Datenstrukturen, wie sie in einem GIS in großen Mengen zu verarbeiten sind. Der Einsatz von ORDBMS für GIS-Anwendungen in unterschiedlichen Bereichen ist daher aktueller Forschungsgegenstand (s. Kap. 2.4 und Kap. 4).

Konventionelle Geoinformationssysteme sind in der Regel als „statische“ GIS entstanden und berücksichtigen die Dynamik von Geobjekten nicht ausreichend in ihren Datenmodellen und ihrer Funktionalität. Meist erfolgt eine Trennung der Daten des zu modellierenden Ausschnitts aus der realen Welt in eine zwei- oder dreidimensionale Betrachtung des Raumes sowie in eine Betrachtung der fachlichen Attributmerkmale. Viel zu lange unterlag die GIS-Technologie einem traditionellen statischen Paradigma, welches Geobjekte analog ihrer kartografischen Repräsentation konzeptualisierte [vgl. PEUQUET 2002]. Die zeitliche Komponente wird dabei überwiegend als konstant betrachtet oder gar nicht im Modellierungsprozess berücksichtigt. Anwendungen, in denen Objekte, Phänomene und Prozesse mit einer Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft abgebildet werden, überfordern die meisten 2D- oder 3D-Systeme.

Für Anwendungen, bei denen der Berücksichtigung der Zeit die gleiche Bedeutung zukommt wie der Bearbeitung der räumlichen und thematischen Eigenschaften, werden daher temporale Geoinformationssysteme entwickelt.

Ein **temporales Geoinformationssystem (TGIS)** (oft auch als 4D-GIS bezeichnet, vgl. ausführliche Darstellung in Kapitel 2.3) unterstützt folglich die Verwaltung und Analyse zeitlicher Veränderungen von Geoobjekten und weist Funktionen zur Datenerfassung, -analyse, -visualisierung und -verwaltung nicht nur räumlicher sondern ebenso zeitlicher Daten auf.

An die Funktionalität eines temporalen GIS werden spezielle Anforderungen gestellt, die im Folgenden nach einer Einteilung von BARTHELME [1989], BILL [1999] und LANGE [2002] kurz erläutert werden [vgl. BILL (Hrsg.) 1997].

Erfassung

Ähnlich wie bei der Erfassung von räumlichen und thematischen Eigenschaften, muss die Zeit, bevor sie in einem GIS verwaltet und für Analysen verwendet werden kann, klassifiziert und gemessen bzw. bei historischen Zeitangaben rückwirkend anhand verfügbarer Quellen und Verfahren bestimmt werden. Obwohl temporale GIS sich noch eher am Beginn des Einsatzes in der Praxis befinden, gibt es eine Reihe von Methoden, welche die Erfassung von dynamischen Veränderungen erlauben. Diese finden beispielsweise Anwendung in Navigationssystemen mit unterschiedlicher Sensorik (GPS, INS, Radar oder Echolote zur Positionsbestimmung und Trajektorienableitung) und in Echtzeit-Monitoringsystemen. Für die Untersuchung der Veränderungsgeschichte von in der Landschaft sichtbaren Gegebenheiten, z. B. in der Kulturlandschaftswandelforschung, bieten sich auch Daten an, die durch Befliegung oder Fernerkundung (im Tages-, Wochen- bis Monatszyklus) gewonnen werden sowie Daten, die anhand von historischen oder alten Karten digitalisiert werden können. Je nach gewähltem Verfahren und Datenformaten werden dabei eine große Menge an Speicherressourcen benötigt.

Analyse

Die explizite Berücksichtigung der Zeit erfordert in GIS zusätzliche Datenanalysefunktionen. Diese reichen von einfachen Zeitoperationen wie selektive Abfragen beispielsweise über den Zustand eines Objektes zu einem bestimmten Zeitpunkt über komplexere Auswertungen von Zeitsequenzen bis in den Bereich Extrapolation bei Simulationen. Beispielsweise müssen zeitliche Ordnungen wie relative Zeitzuordnungen in der Archäologie („einzuordnen vor oder nach einer bestimmten Epoche“) oder unscharf formulierte Zeitbereiche („entstanden Anfang des 19. Jahrhunderts“) bewältigt werden. Interpolationsverfahren entlang der Zeitachse reichen von der Mittelwert- oder Extremwertbildung bis zur Zeitreihenanalyse mittels stochastischer Berechnungen vor allem bei Prozessen, die sich als Funktion der Zeit darstellen lassen. Weiter sind Funktionen zur raum-zeitlichen Verschneidung zur Analyse von Veränderungen von Geoobjekten über die Zeit nötig, die wiederum neue Anforderungen an die Erweiterung der räumlichen Abfragesprachen um temporale Aspekte mit sich bringen.

Visualisierung

Grundsätzlich bieten alle GIS die Visualisierung von Geodaten anhand einer statischen (zweidimensionalen) Kartendarstellung an, die durch bestimmte Attribute (thematische Eigenschaften, Höhe, Zeit) gesteuert werden kann oder beispielsweise thematische Symbole mit temporaler Bedeutung beinhaltet. Die Visualisierung der dritten Dimension (Höhe) erfolgt beispielsweise durch zusätzliche perspektivische Darstellungen, die vierte Dimension (Zeit) häufig durch Zeitserien und Animationen. Die Visualisierung von raum-zeitlichen Prozessen stellt hohe Anforderungen an temporale GIS. Häufig sind zur Erstellung rechenintensiver, dreidimensionaler Visualisierungen über die Zeit Programmiererweiterungen, so genannte Extensions, oder zusätzliche Spezialprogramme erforderlich.

Verwaltung

In ein temporales Datenmodell müssen zusätzlich komplexe temporale Informationen und Funktionen integriert werden können, beispielsweise für die Verwaltung von ungenauen Informationen, deren Auftreten an eine Verteilungsfunktion gekoppelt ist oder die periodisch ablaufen. Andere Anwendungen erfordern die Rekonstruktion von früheren Objektzuständen oder Aussagen über die Veränderung von Objekten über einen bestimmten Zeitraum. An das Datenmodell stellen sich daher Anforderungen, vielschichtige zeitliche Informationen zu Objekten abzulegen und diese um effiziente Zugriffs-, Such- und Indexstrukturen zu erweitern.

2.2 Anforderungsanalyse für ein GIS zu Erfassung, Dokumentation und Informationsmanagement von kulturellem Erbe

Eine Anforderungsanalyse und Ist-Erhebung trägt zu den Vorgaben für die spätere Auswahl und den Aufbau von GIS-Anwendersystemen bei. Hier werden durch die Wahl der Anwendungsfälle für das GIS zur Erfassung, Dokumentation und Informationsmanagement von kulturellem Erbe die notwendigen Maßgaben und Einschränkungen getroffen, die zur Abstraktion des gewünschten Ausschnittes der realen Welt im späteren Modellierungsprozess für ein GIS notwendig sind. Die Ermittlung von Anforderungen für ein GIS kann grundsätzlich funktions- und datenorientiert erfolgen.

Im Jahr 2001 versammelten sich verschiedene Vertreter von Gemeinden, Denkmalpflege, Ländlicher Entwicklung, Tourismus und Bildung im Achantal (vgl. Kap. 2.5) zu einem Workshop, um die Anforderungen bzw. mögliche erweiterte Nutzerszenarien an ein GIS für das kulturelle Erbe zu diskutieren. Die Beteiligten erklärten, dass der eigentliche Wert von kulturellem Erbe für die Gemeinden nicht in rein kommerzieller Natur liegt, sondern auch in der Bewusstmachung, dass kulturelles und historisches Wissen die Wurzel regionaler und lokaler Identität bildet. Es wurde festgestellt, dass die Besonderheit des ländlichen Raumes u. a. geprägt ist durch die in der Kulturlandschaft, in Siedlungen und anderweitig erhalten gebliebenen historischen Spuren des kulturellen Erbes.

Aktueller Anlass für die Überlegungen zum Einsatz eines GIS für kulturelles Erbe im Achantal war, dass im Vorfeld von Verfahren zur ländlichen Entwicklung in bayerischen Dörfern nach Bedarf umfangreiche Bestandsaufnahmen zur historischen Dorfstruktur gemacht werden. Diese beinhalten Erhebungen zu Naturraum und Lage, Siedlungsgeschichte, Entwicklung der Dorfstruktur, das historische Ortsbild prägende Bauten und Denkmäler sowie der historischen Kulturlandschaft. Sie dienen als wertvolle Planungsgrundlage für das Dorferneuerungsverfahren, sind aber ebenso von großem Wert für Gemeinden und deren Bürger und sollten daher einem möglichst großen Kreis verfügbar gemacht werden.

Da diese Informationen in Karten, Texten und Bildern bisher in analoger Form erfasst und kartiert werden, stellt sich die Frage, ob diese Informationen in einem GIS verwaltet werden sollten, in dem die Archivierung sowie Analyse und Visualisierung der historischen Daten hinsichtlich ihrer raum-zeitlichen Zusammenhänge erfolgen könnte.

2.2.1 Aufgaben eines GIS für kulturelles Erbe

International gesehen ist der Gedanke zur Erfassung und Dokumentation von kulturellem Erbe, vor allem für Weltkulturerbestätten, nicht neu. Die zur Verfügung stehenden Mittel und Methoden haben sich im Laufe der Zeit jedoch stetig erweitert und die moderne (Geo-)Informationstechnologie bietet zunehmend Möglichkeiten für eine verbesserte Aufbereitung von sowie erleichterten Zugang zu digital erfasstem Kulturerbe. Die Aufgaben im Anwendungsbereich von kulturellem Erbe hat PATIAS, Präsident von

CIPA Heritage Dokumentation¹, anlässlich des 35-jährigen Bestehens des Komitees wie folgt zusammengefasst [PATIAS 2004]:

- **Erfassung** einer großen Menge an 4-dimensionalen Informationen aus verschiedenen Quellen, mit unterschiedlichen Formaten und Inhalten in der gewünschten Genauigkeit und Detailtreue,
- **Inventarisierung** soweit verfügbar mit historischer Datierung und historischen Aufnahmen,
- **Management** von 4-dimensionalen Informationen in einer sicheren Art und Weise, aber dennoch verfügbar für andere Nutzer,
- **Visualisierung** und **Präsentation** von Informationen in einer benutzerfreundlichen Weise,
- so dass verschiedene Nutzergruppen sich die Daten durch **Verbreitung** über das Internet und durch geeignete Visualisierungstechniken tatsächlich **verfügbar** machen können.

Um diese Ziele zu erreichen, sollte stets eine angemessene Nutzung und Verbesserung der neuesten, verfügbaren (Geo-)Informationstechnologie erfolgen.

Diese allgemein formulierten Aufgaben lassen sich entsprechend auch auf ein GIS für kulturelles Erbe im ländlich geprägten Projektgebiet Achantal übertragen. Die Aufgaben werden im Detail in Bezug auf die Vorgaben durch die vorgestellten Inhalte und Objektbereiche der Kulturerbe-Objekte, die verfügbaren Datenquellen und die speziellen Szenarien und Fragestellungen im Testgebiet in den folgenden Kapiteln der Anforderungsanalyse näher spezifiziert.

2.2.2 Inhalte und Objektbereiche

Kulturelles Erbe umfasst eine große Bandbreite an Objekten mit unterschiedlichen Eigenschaften, unterschiedlicher Größe, Gestalt und Komplexität und macht eine Systematisierung für die gewünschte Anwendung erforderlich. Ein GIS für das kulturelle Erbe sollte grundsätzlich offen sein für alle Inhalte und Objektbereiche, die sich auf anthropogene historische Aktivitäten beziehen, die sich in der Landschaft und in den Siedlungen in Form von Elementen, Strukturen und Prozessen niedergeschlagen haben bzw. die Landschaft und Siedlungsstruktur umgestaltet und beeinflusst haben. Grundlagen hierzu können zu dem Naturraum, der Kulturlandschaftsgeschichte, der historischen Ort- und Flurstruktur, der historischen Flächennutzung und dem historischen Verkehrsnetz erfasst werden. Eine allgemeine Einteilung der Objekte nach verschiedenen Funktionsbereichen erscheint dabei sinnvoll [vgl. GUNZELMANN 2001]:

- Siedlung
- Landwirtschaft
- Gewerbe
- Verkehr
- Freizeit
- Religion/Staat/Militär

Hinzu kommt der Aspekt der assoziativen Kulturlandschaft, also immaterielle Bezüge (Sichtbezüge, Raumbildungen, immaterielle historische Stätten), die beispielsweise in die Landschaft hinein interpretiert werden können.

Kulturerbe-Objekte werden je nach Haupteinsatzzweck in verschiedenen Datenkatalogen, Listen und sonstigen Sammlungen von Verwaltungen, Institutionen und interessierten Einzelpersonen erfasst. Ein Kulturerbe-Objekt kann dabei in unterschiedlichen Objektartenkatalogen vorkommen, z. B. in der Denkmalliste des Landesamt für Denkmalpflege, in der bebilderten Denkmalliste eines Landkreises oder als

¹ CIPA Heritage Documentation: Das „International Committee for Architectural Photogrammetry“ wurde in Zusammenarbeit mit ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) als eines der internationalen Komitees von ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) 1968 gegründet und verfolgt das Ziel der Verbesserung aller Methoden zur Vermessung, Dokumentation und für das Informationsmanagement von kulturellem Erbe (vgl. <http://cipa.icomos.org>)

„Element der historischen Kulturlandschaft“ aus der Bestandsaufnahme in einem Verfahren zur Dorferneuerung (s. Anhang A).

Die Gesamtzusammenschau der erfassten Daten sollte Vernetzungen untereinander und Wirkungszusammenhänge zwischen den naturräumlichen Faktoren und den historischen Einflusskräften erkennen lassen. Eine Zuordnung von Informationen über kulturelles Erbe sollte daher stets auch nach allgemein gebräuchlichen Katalogen und Themenbereichen erfolgen, wie beispielsweise

- Denkmäler
- Archäologische Fundstellen
- Sehenswürdigkeiten
- Architektur
- Geschichte
- Kunstgeschichte
- Museen und Sammlungen

Diese können als übergeordnete Einstiegsthemen oder weitere Suchkriterien dienen.

2.2.3 Datenerfassung und Digitalisierung

Die Dateninhalte sollten für die Untersuchung nicht nur aus lokal gesammelten Informationen der Gemeindearchive und von geschichtsbegeisterten Bürgern gewonnen werden, sondern der Datenbestand sollte vor allem flexibel und einfach um Inhalte aus unterschiedlichen Archiven ergänzt werden können. Die Zusammenführung dieser unterschiedlichen Datenbestände in einem GIS für kulturelles Erbe erfordert die Verwaltungsmöglichkeit verschiedener Objektartenkataloge und damit die Speicherung bzw. Erweiterung von beliebig aufgebauten Datenobjekten.

Ein wesentlicher Vorteil eines GIS liegt in der kombinierten Nutzung von Geometrie- und Sachdaten. Sowohl die Geometrie- als auch die Sachdaten über das kulturelle Erbe eines Gebietes müssen aus verschiedenen Quellen bei Behörden, Institutionen und Privatpersonen zusammengetragen werden. Diese Daten liegen daher in verschiedenen Formaten und mit unterschiedlicher Qualität vor und können erst durch Konvertierung bzw. Anpassung in ein GIS integriert werden.

Datentypen und Datenquellen

In einer Bestandserhebung im *Achental* [PETERLECHNER 2000] wurden die vorliegenden Datenbestände ermittelt, die teilweise bereits digital vorhanden waren und als Ausgangsbasis für die Integration in ein GIS für kulturelles Erbe dienen können (s. Tab. 2.1).

Die **Geometriedaten** setzen sich vor allem aus Karten zusammen, die teilweise digital vorliegen, vor allem aber bei historischem Datenmaterial häufig nur in analoger Form vorhanden sind. Aktuellere Kartenwerke sind zum Teil vektorisiert vorhanden, ältere Karten nur als Rasterdatensätze.

Als **Sachdaten** sind verschiedene historische Texte aus Privatarchiven und frühe amtliche Datensammlungen verfügbar, wie z. B. das Grundsteuerkataster.

Zusätzlich zu den Textdaten bieten sich auch **Multimediatechniken** zur Aufnahme in ein Geoinformationssystem für kulturelles Erbe an, wie z. B. historische oder aktuelle Fotografien, Videomaterial bestimmter Objekte, oder auch 3D-Objekte in einer Virtual-Reality Umgebung.

Datentyp	Datenart	Datenquelle	Maßstab	Format
Geometrie	Alte und historische Karten	Urkataster (1810-1815)	1:5.000	Rasterkarten
		Renovationsmessung (1850)	1:5.000	Rasterkarten
		Flurkarte (1941)	1:5.000	Rasterkarten
		Carte de la Bavière (aufgenommen bis 1806)	1:100.000	Rasterkarten
		Bairische Landtafeln v. Apian (1568)	1:144.000	Rasterkarten
	Themenkarten	Aus dem Denkmalpflegerischen Erhebungsbogen	Auf Basis 1:5.000	Rasterkarten
	Aktuelle Kartenwerke	Digitale Flurkarte (DFK)	1:1.000	Vektordaten
		Togografische Karten	1:25.000	Rasterkarten
		Orthophoto schwarz/weiß	1:5.000	Rasterbilder
	Digitales Geländemodell	Grid, Auflösung 25 bzw. 50 m		Grid
Digitalisierungen	Historische Kulturlandschaft	Auf Basis der Flurkarte 1:5.000	Vektordaten	
	Denkmalgeschützte Gebäude und Ensembles	Auf Basis der DFK	Vektordaten	
Sachdaten	Texte aus Lexikon	Digitales Lexikon von Birner (s. Kap. 4.6.3)		Word-Datei
	Tabellen- und Katalogwerke	Denkmalliste		Excelltabelle
		Inventarkatalog der Elemente der historischen Kulturlandschaft		Excelltabelle
	Texte aus dem Denkmalpflegerischen Erhebungsbogen	Texte zu Naturraum- und Lage, zur historischen Dorfstruktur, zu ortsbildprägenden Bauten		Word-Datei
Multimedia-daten	Bilder	Bebilderte Denkmalliste		Rasterbilder
		Aus digitalem Lexikon von Birner (s. Kap. 4.6.3)		Rasterbilder
	Filme und Virtual Reality	3D-Modell der Streichenkirche		VRML aus Laserscannerdaten

Tab. 2.1: Ermittelte, verfügbare Daten aus der Bestandsaufnahme für ein GIS für kulturelles Erbe im Oberen Achenal (Auszug, s. auch Anhang A)

Bei der Übernahme in ein Geoinformationssystem sind diese Daten, die ein Kulturerbeobjekt mit einem unterschiedlich hohen Grad der Näherung, der Vereinfachung oder des Weglassens beschreiben, mit **Metadaten** zu versehen. Metadaten enthalten zu den eigentlichen Datensätzen zusätzliche Informationen, wie Quellenangaben, Referenzsysteme oder Qualitätsangaben, und sind für historische Datenbestände wichtig, um die Verifizierbarkeit und Authentizität der Daten sicher zu stellen. Sicher bewahrheitet sich aber gerade bei kulturhistorischen Daten die Aussage von BARTHELME [2000], dass „es (...) eigentlich keine perfekten, vollständigen und richtigen Daten [gibt]“. Zudem sind Fälle denkbar, in denen die Grenzen zwischen Daten und Metadaten verschwimmen. Das tritt beispielsweise dann ein, wenn Meta-informationen zur Beschreibung von Daten über Kulturerbeobjekte selbst zu einer Datenquelle für Kulturhistorie geworden sind. Man denke an historische Sammlungen und Kataloge, die Hinweise auf noch ältere Fundstellen und Datenquellen liefern aber selbst wiederum als Kulturerbeobjekt in ein Informationssystem eingebunden sind.

Probleme bei der Erhebung historischer Daten

Eine Erfassung und Auswertung historischer Daten stellt sich als sehr schwierig dar, da historische Datenbestände oftmals heterogen und komplex sind. Historische Datenquellen sind überwiegend nicht in einer computerlesbaren Form vorhanden und liegen beispielsweise als analoge Kataloge, lose Blätter und Karteikarten (u. U. nicht für Texterkennungssoftware geeignet) oder als elektronische Listen und

Tabellen vor. Katalogisierungssysteme und Formate sind historisch gewachsen und damit sehr unterschiedlich bzw. meist nicht nach Normvorgaben erfasst. Eine Grundinventarisierung sollte daher durch eindeutige Identifikation von Objekten und nach einheitlichen Vorgaben und Vokabularien erfolgen [PAN 2004].

Sollen historische Kartenwerke in GIS eingesetzt werden, so sieht man sich mit massiven Qualitätsproblemen konfrontiert, angefangen bei der Verfügbarkeit bis zur Genauigkeit (s. Kap. 2.3.5). Nicht für jeden Zeitabschnitt ist Kartenmaterial vorhanden. Alte Karten können darüber hinaus in einem schlechten Erhaltungszustand oder nicht öffentlich zugänglich sein. Oftmals dürfen sie nur in den Archiven eingesehen und nicht ausgeliehen werden. In den Archiven stehen häufig auch keine Geräte zur Verfügung, um großformatige Kopien der Karten anfertigen zu können bzw. diese großformatig einzuscannen. Historische Karten basieren in der Regel auf einem anderen Bezugssystem als heutige Karten und müssen daher an ein aktuelles Koordinatensystem angepasst werden [vgl. BUND 1998; JÄSCHKE, MÜLLER 1999]. Die Aufnahmeverfahren, geometrischen Genauigkeiten, inhaltlichen Auflösungen und Klassifikationen der historischen Karten unterscheiden sich ebenfalls von denen heutiger Kartenwerke.

Zum Einsatz historischer Karten für Analysen in GIS (beispielsweise in der Kulturlandschaftsforschung) müssen daher einige Voraussetzungen erfüllt sein [vgl. WITSCHAS 2002; BUND 1998]:

- Die Karten müssen verfügbar und zugänglich sein.
- Sie sollten über eine hinreichende geometrische Genauigkeit verfügen.
- Sie müssen in einem geeigneten Maßstab vorliegen.
- Sie müssen über eine ausreichende inhaltliche Auflösung verfügen und eine klare Identifikation und Abgrenzung erlauben.
- Informationen über Aufnahmezeitpunkt und –verfahren, geodätische Bezugssysteme und Zeichenvorschriften müssen für die Karten vorliegen.

Hier erweist sich der Einsatz von amtlichen Geobasisdaten wie beispielsweise Katasterkarten oder topografischen Karten als vorteilhaft, da für diese Aufnahmeverfahren, geodätische Bezugssysteme und Zeichenvorschriften standardisiert und dokumentiert sind.

Bei historischen Kartenwerken stellt sich auch das Problem der Entzerrbarkeit der Karten. Vor allem sehr alte Karten sind dabei teilweise als Kunstwerke gestaltet, die nach einer Transformation in ein heutiges geografisches Bezugssystem auch ihren besonderen Charakter verlieren würden. Ein Beispiel dafür ist die symbolische Karte „Aquila Tyrolensis“ von Matthias Burgklehner aus dem Jahre 1609, auf der Tirol in der Form eines Adlers dargestellt wird.

Insgesamt können bei der Erhebung historischer Daten Probleme auftreten, die bedingt sind durch den teilweise schlechten Zustand des Archivmaterials (Karten, Texte, Bilder etc.), durch die Unsicherheiten in der Festlegung des Raumbezugs und der zeitlichen Einordnung und den daraus resultierenden aufwändigen Digitalisierungen (z. B. zur Objektgewinnung). Von unscharfen Daten wird zudem gesprochen, wenn diese Gegebenheiten beschreiben, die auch in der realen Welt nicht genau festgelegt bzw. bestimmbar sind. Im Bereich des kulturellen Erbes trifft dies beispielsweise auf die schwierige Eingrenzung des immateriellen Erbes (Sprachen, Traditionen etc.) zu, das generell einem steten Wandel unterworfen ist, dessen Grenzen oft über gewisse Bandbreiten verfügen oder dessen räumliche und zeitliche Veränderungen nahezu stufenlos ineinander übergehen können.

2.2.4 Systemfunktionalität

An die Funktionalität eines temporalen GIS für das kulturelle Erbe werden basierend auf den Aufgaben aus Kapitel 2.2.1 generell folgende Anforderungen gestellt:

Erfassung

Für die Erfassung einer großen Menge an 4-dimensionalen Informationen aus verschiedenen Quellen, mit unterschiedlichen Formaten und Inhalten in der gewünschten Genauigkeit und Detailtreue müssen gängige Schnittstellen zu den Erfassungssystemen (aus Photogrammetrie, Laserscanning, Tachymetrie und anderen Messsystemen) vorhanden sein.

Inventarisierung

Für eine nachhaltige Bestandsaufnahme und –dokumentation der Kulturerbe-Objekte sind geeignete Werkzeuge zur Datenmodellierung und Datenhaltung erforderlich, welche die Geodaten mit ihren thematischen, räumlichen, zeitlichen und topologischen Eigenschaften in strukturierter Form und, soweit verfügbar, mit historischer Datierung und historischen Aufnahmen speichern können.

Management und raum-zeitliche Analyse von Objekten

Eine umfangreiche Funktionalität zum Management und zur Analyse durch kombinierte raum-zeitliche und thematischen Selektionen von Kulturerbe-Objekten ist gefordert. Da nahezu alle Bereiche des kulturellen Erbes eine räumliche und auch zeitliche Komponente beinhalten, lassen sich eine Reihe von Fragestellungen formulieren, die in einem GIS gelöst werden können.

Hier einige Beispiele:

Raum-zeitliche Abfragetypen [vgl. LITSCHKO 1999]:	Beispielabfragen über kulturelles Erbe
Einfache temporale Abfrage eines Zeitpunktes, z. B. ein Objektzustand	- Wer war Eigentümer einer Kirche am 15. Mai 1854?
Temporale Abfrage über einen Zeitraum, z. B. die Veränderung eines Objektes während eines Zeitraums	- Wie haben sich die Lage (-geometrie) oder die Besitzverhältnisse einer Kirche im 19. Jahrhundert verändert?
Einfache raum-zeitliche Abfrage, die einen Ausschnitt des 2D/3D-Raumes zu einem Zeitpunkt betrifft	- Gab es das Denkmal bereits im 16. Jahrhundert an diesem Ort? - Wo verlief der Schmugglerweg in der Mitte des 19. Jahrhunderts? - In welchem Zustand befand sich die Kirche im Jahr 1756? - Welche Flurstücksverhältnisse liegen zum „Zeitpunkt“ der Renovationsmessung im Jahr 1851 in der Gemarkung Schleching vor? - Wieviele Denkmäler gibt es in der Gemeinde Schleching?
Abfrage einer Raum-Zeitspanne, also die Entwicklung eines Ausschnittes des 2D/3D-Raumes über einen Zeitraum.	- Wie haben sich die Flächen der Kulturlandschaft bzgl. der Lage und der Höhe sowie der Nutzungsarten in den letzten beiden Jahrhunderten verändert?

Tab. 2.2: Beispiele für raum-zeitliche Abfragen im GIS für kulturelles Erbe

Visualisierung von raum-zeitlichen Prozessen

Im GIS für kulturelles Erbe sollen gängige Visualisierungsmöglichkeiten zum Einsatz kommen, um verschiedenen Nutzergruppen die Daten entsprechend zu veranschaulichen und Auswertungen zu ermöglichen. Dies reicht von statischen zweidimensionalen Kartendarstellungen und zeitlichen Kartenserien bis hin zu Virtual-Reality-Techniken für 3D-Visualisierungen (s. Kap. 2.3.7 u. Kap. 5.2).

Interoperabilität und Web-basierte Informations- und Dokumentationssysteme

In vielen Behörden und Kulturinstitutionen, die mit Fragen der räumlichen Planung, der Landschaftsentwicklung und dem kulturellen Erbe befasst sind, werden mittlerweile GIS eingesetzt und vielseitige aktuelle und historische Datenbestände vorgehalten. Häufig wird dabei noch auf einer integrierten Datenerhaltung aufgesetzt, bei der alle eigenen sowie die übernommenen Fremddaten in der eigenen Datenbank vorgehalten werden und dadurch erneut in Wert gesetzt werden können [OTT, SWIACZNY 2000]. Nach SCHILCHER, RÜCKERT, DONAUBAUER [2002] werden „Daten (...) oftmals pro Institution anwendungsabhängig für den Eigenbedarf erfasst und dann in unterschiedlichen Modellen, Formaten und Systemen gespeichert, die den Bedürfnissen der jeweiligen Institution am besten angepasst sind. Auf Grund der aus dieser Ausgangssituation resultierenden heterogenen Datenwelten (...) ergeben sich für den Anwender Schwierigkeiten, die unterschiedlichen Daten zusammenzuführen und kombiniert zu nutzen“. Interoperabilität, d. h. standardisierter und einfacher Datenzugriff zwischen verschiedenen Herstellersystemen sowie web-basierte Funktionalität sind aktuelle Anforderungen, die an alle GIS-Lösungen gestellt werden, die einen vereinfachten Zugriff auf verteilte Datenquellen durch eine breite Nutzergruppe zum Ziel haben. „Geodaten können durch interoperablen Zugriff viel schneller und mit Hilfe von Geodiensten einfacher, flexibler und gezielter ausgewählt und genutzt werden. Diese Perspektive erschließt den Datenanbietern neue Märkte“ [SCHILCHER, RÜCKERT, DONAUBAUER 2002].

2.2.5 Nutzen von GIS für kulturelles Erbe

Das (kulturelle) Erbe ist nach GRAHAM [2002] ein Wissen, das sowohl kulturelles als auch ökonomisches Kapital konstituiert und zu einer Bandbreite von Zwecken eingesetzt werden kann, die durch die gegenwärtigen Gesellschaften bestimmt werden. Kulturerbe kann als Ressource vielseitig verwendet werden und als ökonomische Ressource im Tourismus sowie dem ländlichen oder städtischen Aufschwung dienen. Daneben gibt es auch Bestrebungen, das Bewusstsein der Bevölkerung bezüglich der vorhandenen Kulturdenkmäler zu stärken. Hierfür ist es erforderlich, die vorhandenen Denkmäler bzw. Sehenswürdigkeiten mit historischem Bezug als Zeugnisse der Vergangenheit in Wert zu setzen und entsprechend zu sichern. Durch die Mobilisierung dieser regionalen Entwicklungspotenziale ist zu erwarten, dass die Menschen in den Regionen in die Lage versetzt werden, ihr Naturerbe und ihr kulturelles Erbe im Sinne neuer regionaler Wertschöpfung und zur Ausprägung einer vielfältigen Regionalkultur in umweltverträglicher Form zu erschließen.

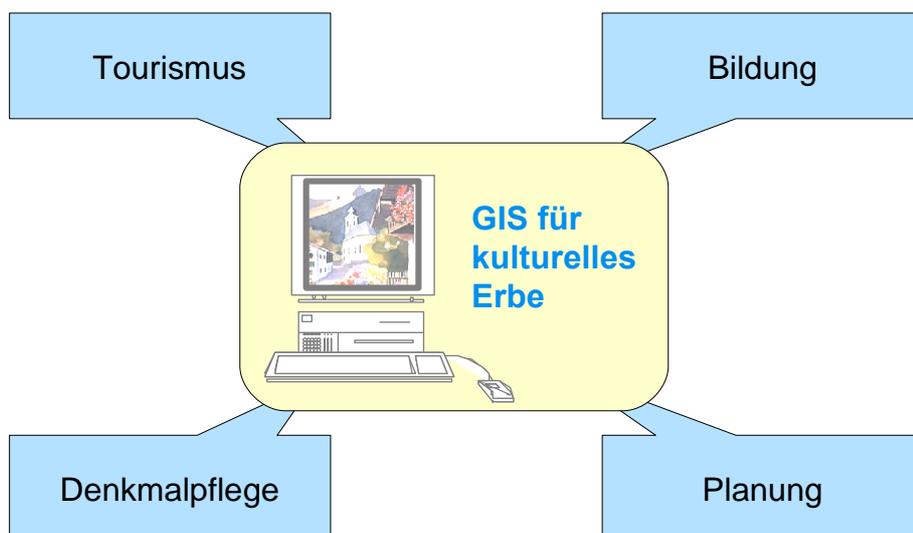


Abb. 2.3: Neue Nutzergruppen für GIS für kulturelles Erbe

Im Achtal sollte die Entwicklung eines GIS für das kulturelle Erbe insbesondere der Wirtschafts- als auch der Tourismusförderung dienen. Darüber hinaus sollten weitere Nutzungsmöglichkeiten im Denk-

malschutz, in verschiedenen Planungsverfahren und in der Heimat- und Bildungsarbeit berücksichtigt werden (vgl. Abb. 2.3).

2.2.5.1 In der Denkmalpflege

Historische Daten über Denkmäler sind teilweise in sehr wertvollen Dokumenten enthalten, welche nicht beschädigt werden sollen. Diese sollten einem größeren Publikum zugänglich gemacht werden, um so das Interesse und das Verständnis für Denkmäler zu fördern. Gleichzeitig ist eine langfristige Konservierung dieser Dokumente nötig. Die digitale Dokumentation von kulturellem Erbe erlaubt bei gleichzeitiger Schonung der Originale den Zugriff und die Information von Experten und anderen interessierten Personen, die keine direkte Möglichkeit zur Betrachtung haben, weil beispielsweise der Zugang verwehrt ist oder auch der persönliche Besuch zu umständlich oder teuer ist.

Die Erfassung von registrierten Denkmälern in einem GIS für das kulturelle Erbe erlaubt durch die Kartierung auf Basis digitalisierter, älterer Kartenwerke die automatisierte Analyse von Entwicklungen einer Region oder eines Siedlungsgebiets und vereinfacht die Fehlersuche im Datenbestand der bestehenden Denkmalliste.

2.2.5.2 In der Planung

In der ländlichen Regionalentwicklung wird viel Zeit und Energie von den Gemeinden, Bürgern und Vertretern der Wirtschaft aufgewendet, um Grundlagendaten zu ermitteln und zu bewerten, Ideen zu formulieren und eine Akzeptanz dieser Ideen in der breiten Öffentlichkeit zu fördern. Eine wichtige Aufgabe der Ländlichen Entwicklung ist in der Erhaltung und Weitergabe des kulturellen Erbes zu sehen. Zunehmend werden Zeugnisse der Vergangenheit, die in der Kulturlandschaft und in den Siedlungen erhalten geblieben sind, in die Dokumentation und Analyse von Planungsvorgängen einbezogen, um zu identitätssichernden aber zugleich zukunftsgerichteten Lösungen zu kommen. Die Erfassung und Analyse von historischen Informationen über Orts- und Flurnamen, Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung (siehe Anwendungsbeispiel in Kapitel 5.1), Kulturlandschafts- und Baudenkmäler etc. in einem GIS kann damit einen nicht unbedeutenden Fachbeitrag zu Planungsverfahren, wie beispielsweise Landschaftsplanungen, Objektplanungen oder Regionalentwicklungen liefern.

2.2.5.3 Im Tourismus

Auch im Bereich Tourismus charakterisieren die in Siedlung und Landschaft erhalten gebliebenen historischen Sehenswürdigkeiten oftmals die Besonderheit der Region. Hier könnten die Auskunfts- und Visualisierungsmöglichkeiten eines kulturhistorischen GIS für die Werbung der Region eingesetzt werden. Beispiele sind historische Baudenkmäler, Kirchen (siehe Anwendungsbeispiel in Kapitel 5.2) und Klöster, Burgen und Schlösser, Museen, aber auch Kulturlandschaften wie Naturschutzgebiete, Natur- und Kulturdenkmäler oder Naherholungsgebiete.

2.2.5.4 In der Bildung und Heimatkunde

Ein GIS für das kulturelle Erbe könnte zur Vermittlung von historischen Werten aus der Denkmal- und Heimatpflege an Bürger und Schulen beitragen (siehe Anwendungsbeispiel in Kapitel 5.3). Es gehen immer mehr Traditionen verloren und das Wissen über die eigene Heimat ist meist nur noch auf einen kleinen Personenkreis beschränkt, wie den Heimatpfleger oder interessierte Privatpersonen. Dieses Wissen sollte einerseits archiviert werden, um es der Nachwelt zu erhalten, andererseits einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

2.2.6 Ergebnis

Das Anwendungsgebiet des kulturellen Erbes wird im GIS-Bereich nicht als Motor für technologische Innovation gesehen. Es bestehen jedoch komplexe technologische Fragestellungen, die bis heute nicht ausreichend gelöst sind, wie beispielsweise Probleme der Wissensrepräsentation mit komplexen An-

forderungen an den Umgang mit unsicheren und lückenhaften Informationen, mit raum-zeitlichem Verhalten von Objekten sowie mit unterschiedlichen disziplinären Interpretationsansätzen. Der Sektor kulturelles Erbe kann daher, entgegen der verbreiteten Vorstellung, sicherlich ein hervorragendes Anwendungsgebiet für die Entwicklung neuer Technologien darstellen und in der Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen als Innovationsgeber vor allem im Bereich der 3D-Erfassungstechniken sowie der Verarbeitung und Präsentation von umfangreichen, oft nur schwierig zu interpretierenden multi-dimensionalen Informationen fungieren. Folgende Herausforderungen lassen sich u. a. an die Technologien für das kulturelle Erbe von morgen nach einem Bericht der Europäischen Kommission im Jahre 2002 [EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.) 2002] stellen:

- **Ermöglichung eines umfassenden Zugangs** zum kulturellen Erbe, durch die Verfügbarmachung von vernetzten Informationen aus digitalen bzw. digitalisierten Ressourcen.
- **Massendigitalisierung von Objekten**, die die Integration von Metadaten parallel zur Digitalisierung, die interne Übertragung und Speicherung von enormen Datenvolumina und die Prozessautomatisierung zur Vermeidung der immensen Erfassungskosten berücksichtigen sollen.
- **Langzeitarchivierung digitaler Kulturgüter**, wobei aufgrund der immer kürzeren technologischen Innovationszyklen (von 2 bis 5 Jahren) die derzeitigen Methodologien für die langfristige Erhaltung, wie z. B. Aufbewahrung kompletter Hard- und Softwaresysteme, Migration und Emulation als ungenügend eingeschätzt werden, um digitale Objekte über lange Zeiträume zu erhalten. Hierauf ist besonders bei der Wahl der Programme darauf zu achten.
- **Entwicklung neuer Technologien für den Kulturerbe-Sektor**
Um breitere Nutzergruppen zu erreichen, sollen Archive, Bibliotheken, Museen und andere Institutionen kulturellen Erbes durch ihr (Online-)Angebot einen inhaltlichen Bezug zum Lebenszusammenhang ihrer potentiellen Benutzer herstellen. Es wird die Entwicklung von wissensintensiven, multimedialen Angeboten gefordert, die Kontexte, Erklärungen und Interpretationen zur Verfügung stellen. Um diese wissensintensiven, interaktiven und multimedialen Dienste anbieten zu können, benötigen die Institutionen kulturellen Erbes Systeme und Werkzeuge, die die Erstellung dieser Dienste unterstützen. Die Systeme und Werkzeuge sollten den Nutzern kooperative Räume zur Verfügung stellen, die beides sind: interaktiv, mit einem hohen Grad an Selbststeuerung, sowie intelligent, d. h. „lernfähig“. Zudem besteht das Erfordernis, dass diese technischen Lösungen verstärkt auf die Bedürfnisse von nicht technisch versierten Anwendern abgestimmt sind.

Ein **temporales GIS für kulturelles Erbe** soll sich daher auszeichnen durch eine umfangreiche Funktionalität zur raum-zeitlichen Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung von komplexen, aktuellen und historischen Geodaten des kulturellen Erbes, welche in unterschiedlichen raum-zeitlichen Dimensionen, vielfältiger Semantik und in verschiedenen Vektor-, Raster- und Multimediaformaten vorliegen können. Durch die interoperable Nutzung und Präsentation im Internet, soll das GIS für kulturelles Erbe zu einer hohen Verfügbarkeit des Wissens beitragen und einen leichten Zugang zu einem großen Nutzerkreis ermöglichen

Für die Implementierung eines GIS gibt es unterschiedliche Lösungsansätze, die je nach verfügbaren Mitteln in Bezug auf Kosten-, Zeit-, und Personalaufwand sowie Hardwarevoraussetzungen vom Einsatz unangepasster aber verfügbarer Lösungen bis zur Eigenentwicklung neuer GIS-Ansätze geht. Die speziellen Anforderungen eines temporalen GIS für kulturelles Erbe machen einen Lösungsansatz notwendig, der die Einsatzmöglichkeiten moderner Software- und Datenbanktechnologie in diesem Anwendungsfeld untersucht und auf neu auftretende Fragestellungen und Datenquellen flexibel reagieren kann.

2.3 Ist-Analyse zur Integration der Dimension Zeit in GIS

Historischen Aufgabenstellungen ist naturgemäß eine zeitliche Komponente inhärent. Im Folgenden soll nun diskutiert werden, wie diese in einem GIS abgebildet werden kann. Obwohl GIS seit über 30 Jahren

genutzt werden, wird der Integration von Zeit in GIS erst in den letzten Jahren verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet [PEUQUET 1999]. In den heutigen GIS-Anwendungen spielt meist der Raum immer noch eine größere Rolle als die Zeit, die oftmals als Konstante angesehen wird. Vielfach werden statische Datenbestände verwaltet und veränderte Zustände dann oft durch das Überschreiben der bestehenden Daten registriert [BILL 1999a, LITSCHKO 1999, PEUQUET 1999]. Da die Welt jedoch ständigen Veränderungen unterliegt, können nur durch die Berücksichtigung der zeitlichen Dimension Prozesse analysiert werden.

2.3.1 Taxonomie temporaler GIS

Die Zeit ist eine fundamentale Dimension für das Verstehen und den Modellierungsprozess von Phänomenen der realen Welt. Ein temporales GIS (TGIS) sollte daher beispielsweise für das Monitoring und die Analyse der sich verändernden Zustände von Geoobjekten sowie für die Interpretation von Beziehungen zwischen Objekten ausreichend Funktionen bereitstellen. Dies erfordert eine formale Modellierung von raum-zeitlichen Vorgängen, mit ihren geometrischen, temporalen und topologischen Eigenschaften.

SCHILCHER [2004] und LOTHER [2003] führen in ihrem Entwurf einer Taxonomie von Geoinformationssystemen als vier grundlegende Klassifizierungsmerkmale für GIS die Fachanwendung, die Lebensdauer der Geodaten, die räumliche Ausdehnung und die Systemarchitektur sowie den Architekturtyp der EDV-Komponenten ein (s. Abb. 2.4).

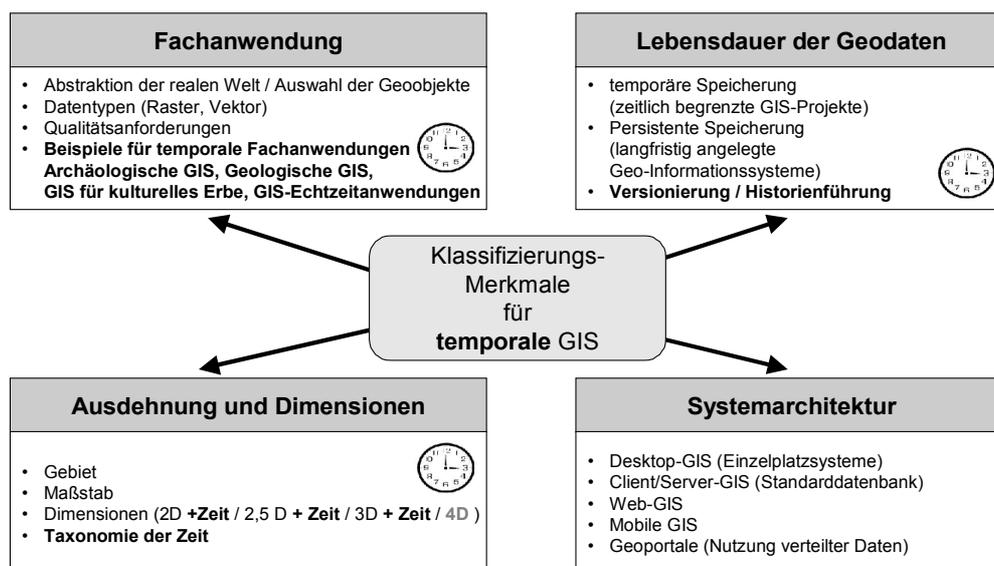


Abb. 2.4: Taxonomie temporaler GIS,
Quelle ergänzt nach SCHILCHER 2004 und LOTHER 2003

Zunächst ist die Einteilung nach dem Anwendungsgebiet wichtig. Sie gibt die Fachthemen, die Geoobjekte, deren Merkmale und die zugehörigen Qualitätsaspekte vor. Zeitliche Aspekte können sowohl in Basis-Geoinformationssystemen (z. B. Liegenschaftskataster) als auch in Fach-Geoinformationssystemen (z. B. Anwendungen mit historischem Bezug) eine wichtige Rolle einnehmen. Eine Beschreibung der Anwendungsgebiete und deren besonderen Anforderungen an temporale GIS erfolgt in Kapitel 2.3.8.

Bei der Lebensdauer von Geodaten kann grundsätzlich zwischen einer langfristigen Bestandsdokumentation mit persistenter Datenhaltung und der Durchführung von einzelnen, unabhängigen und abgeschlossenen Projekten unterschieden werden. Während im Bereich temporaler GIS-Anwendungen in der Archäologie und dem kulturellen Erbe vorwiegend noch in Projekten gearbeitet wird und darin die Durchgängigkeit der erzeugten Datenstrukturen von sekundärer Bedeutung ist, steht beispielsweise in Katasteranwendungen mit Historisierung seit langem die Aktualisierung und Persistenz sowie die Qualität der Datenbank im Vordergrund.

Eine weitere allgemeine Einteilung von GIS kann nach den eingesetzten EDV-Komponenten bzw. der Systemarchitektur getroffen werden. Je nach Umfang und Aufgaben des Systems können z. B. Einzelplatz- oder unternehmensweite Client/Server-Lösungen, mobile GIS oder die Web-Technologie beispielsweise für die Nutzung verteilter Geodaten zum Einsatz kommen.

Das entscheidende Klassifizierungsmerkmal stellen in temporalen GIS die gewählten Dimensionen sowie die Auflösung bzw. der Abstraktionsgrad der Daten dar. Diese Vorgaben wirken sich wesentlich auf die Erfassung-, Speicherung-, Analyse- und Visualisierungskomponenten aus. Analog zur Betrachtung der geometrischen Auflösung wird nun verstärkte Aufmerksamkeit auf Datendichte und metrische Genauigkeit der zeitbezogenen Daten (s. Kap. 2.3.2.1) gerichtet. Die Zeit wird also in temporalen GIS in besonderer Weise bereits im Modellierungsprozess berücksichtigt (s. Kap. 2.3.3ff).

Zum besseren Verständnis der geowissenschaftlichen Eigenschaften der Zeit sollen im Folgenden zunächst die Taxonomie der Zeit erläutert und anschließend weitere Kriterien zur Klassifizierung von temporalen GIS dargestellt werden.

2.3.2 Taxonomie der Zeit

2.3.2.1 Temporale Struktur

Die temporale Struktur bildet mit Ihren Bestandteilen das Grundgerüst eines temporalen Modells. Dieses kann durch folgende Begriffe näher charakterisiert werden [vgl. SNODGRASS, AHN 1985; BARTELME 2000; ZIPF, KRÜGER 2001].

Temporale Primitive

Der zeitliche Aspekt der Geoinformation baut nach der Norm ISO 19108 [ISO/TC211 (Hrsg.) 2000] auf zwei Zeitprimitiven auf:

- Zeitpunkt (engl. instant) t
- Zeitspanne (engl. period) bestimmt durch Anfangszeitpunkt t_1 und Endzeitpunkt t_2

Wenn eine Zeitspanne nicht durch einen Anfangs- und Endpunkt bestimmt werden kann, sondern nur die Länge angegeben werden kann, spricht man auch von einer

- Zeitdauer (engl. interval, z. B. 20 Tage, 150 Jahre)
[vgl. SOO, SNODGRASS 1995 u. KALB, SCHNEIDER, SPECHT 2003].

Temporale Domänen und Auflösung

Temporale Domänen können ordinal (beispielsweise im Falle archäologischer, nicht absolut datierbarer Ereignisse) oder metrisch skaliert sein. Bei metrisch skalierten Zeitachsen sind die Abstände zwischen einzelnen Werten berechenbar und werden entweder kontinuierlich oder diskret realisiert. Das kleinste Intervall eines diskreten Zeitmodells bestimmt dessen Granularität und wird als Chronon bezeichnet [JENSEN, CLIFFORD, GADIA u. a. 1992]. Bei kontinuierlichen Größen sprechen BELLER, GIBLIN, LE u. a. [1991], nicht länger von einem räumlichen Objekt, sondern definieren den Begriff des Ereignisses, welches ein Objekt mit einer sowohl räumlichen als auch zeitlichen Ausdehnung (z. B. ein bewegtes Fahrzeug) umschreibt.

In GIS muss die Zeit, die a priori als kontinuierlich und unendlich zu sehen ist, analog zur räumlichen Dimension modelliert werden, um sie in der Praxis verwalten zu können. Ihre Komplexität muss zu diskreten und endlichen Daten [OTT, SWIACZNY 2001] reduziert werden, die in verschiedenen Formen abgebildet werden können: als Zeitpunkt, Zeitspanne oder im Sinne von Versionen (historischen Abfolgen) [BILL 1999a]. Beispielsweise wird in der historisch-geografischen Kulturlandschaftsforschung oft der Zustand zu verschiedenen Zeitpunkten betrachtet, deren Einheit meist eine ganzzahlige Jahreszahl ist [PLÖGER 2003].

Für die meisten Anwendungen im GIS-Bereich reicht die Betrachtung der Zeit nach der Newtonschen Mechanik auf Basis einer vierdimensionalen Raumzeit (x, y, z, t) aus. Anwendungen in der Satellitengeodäsie erfordern die Berücksichtigung relativistischer Effekte. Berechnungen hierzu werden im Minkowski-Raum durchgeführt ([GIELSDORF 2004], [SCHRÖDER 1981]).

Analog zur räumlichen Auflösung (u. a. Maßstab) ergibt sich eine temporale Auflösung, die definiert, wie oft ein Objekt innerhalb eines Zeitraumes erneut erfasst wird. Die temporale Auflösung sollte umso höher sein, je schneller sich der Untersuchungsgegenstand verändert [vgl. BILL 1999a], wird aber in der Praxis oft durch die Datenlage vorgegeben. Auch das Konzept der räumlichen Topologie kann um die temporale Dimension erweitert werden, so dass ein Objekt auch „weiß“, zu welcher Zeit es aus welchen Bestandteilen (Punkten, Linien) besteht und somit eine redundanzfreie Speicherung auch über die Zeitschnitte hinweg möglich ist [LITSCHKO 1999].

Temporale Determiniertheit

Sind die temporalen Primitive determiniert, liegt bezüglich des Zeitpunktes oder Dauer eines Phänomens gesichertes Wissen vor (Beispiel: bekanntes Geburtsdatum einer Person). Wenn dieses Wissen fehlt oder nur teilweise vorhanden ist, spricht man von nicht determinierten Primitiven [DYRESON, SNODGRASS 1993]. In der Umwelt kommen beide Fälle vor und müssen daher auch in einem entsprechenden temporalen Datenmodell unterstützt werden (s. Kap. 2.3.5 und Kap. 3.4.5).

2.3.2.2 Temporale Ordnung

Die temporale Ordnung beschreibt die Möglichkeiten zeitlicher Ordnungen über temporale Strukturen. Sie lässt sich wie folgt klassifizieren:

Lineare Ordnung

Die Zeit verläuft linear, d. h. die Primitive dürfen sich in ihren zeitlichen Grenzen nicht überlappen. Für zwei Zeitpunkte t_1 und t_2 auf der Zeitachse gilt, dass entweder t_1 vor t_2 kommt oder umgekehrt, sofern sie nicht identisch sind. Diese wird auch als strenge Ordnung bezeichnet [BARTELME 2000]

Die topologischen Beziehungen zwischen einem Zeitpunkt t und einer Spanne s lassen sich wie folgt angeben:

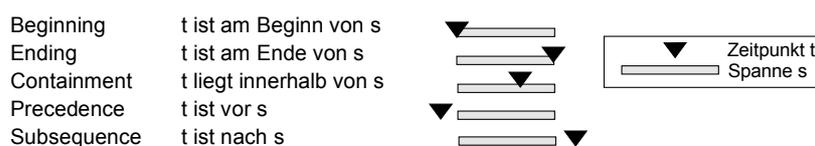


Abb. 2.5: Topologische Beziehungen zwischen Zeitpunkt und Zeitspanne, Quelle nach BARTELME 2000

Die topologischen Beziehungen zwischen zwei Zeitspannen s_1 und s_2 ergeben sich wie folgt:

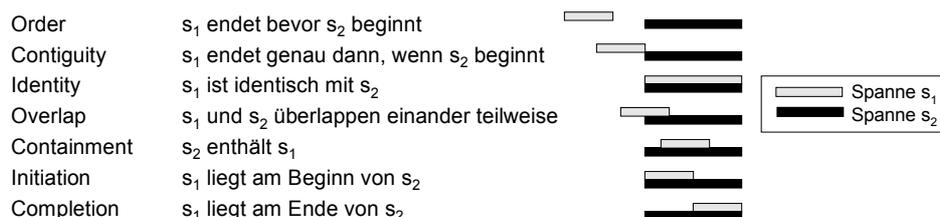


Abb. 2.6: Topologische Beziehungen zwischen zwei Zeitspannen, Quelle: nach ALLEN 1983 u. BARTELME 2000

In den folgenden Fällen, die von dieser strengen Ordnung abweichen, wird auch von partiellen Ordnungen gesprochen [ZIPF, KRÜGER 2001].

Sublineare Ordnung

Die Zeit verläuft linear, aber die Primitive können sich überlappen, z. B. bei nicht determinierten Zeitangaben, in denen nicht genau bekannt ist, zu welchem Zeitpunkt ein Zustand endet und in einen anderen Zustand übergeht.

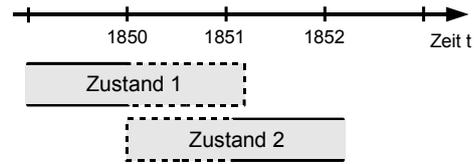


Abb. 2.7: Beispiel für eine sublineare Ordnung

Verzweigende Ordnung (branching)

Die Zeit wird bis zu einem bestimmten Punkt als linear betrachtet und kann sich dann in einer Baumstruktur verzweigen. Auch wenn die Nutzer sich häufig noch auf die Bereitstellung von Methoden zur Fortschreibung ihrer Daten konzentrieren, besteht beispielsweise ein großer Bedarf, die Analyse von auf virtuellen Zeitachsen ablaufenden Simulationsexperimenten zu ermöglichen

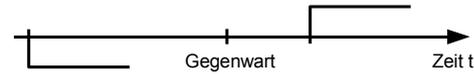


Abb. 2.8: Beispiel für eine verzweigende Ordnung

Zyklisch, quasizyklische Ordnung

Die Zeit stellt sich zyklisch dar (z. B. im Tages- oder Jahresrhythmus), d. h. eine bestimmte Thematik wiederholt sich ab einem gewissen Zeitpunkt.

2.3.2.3 Temporale Historie

Die temporale Historie beschreibt die Semantik, also den durch die temporalen Daten herstellbaren Zusammenhang.

Für jedes Geoobjekt in einem GIS können grundsätzlich vier Zeitangaben unterschieden werden, die in einer temporalen oder temporal erweiterten GIS-Datenbasis vorgehalten werden können [BILL 1999a; HUBER 2002]. Je nach Anwendung besteht die Notwendigkeit keine, eine oder mehrere der unten aufgeführten Zeittypen zu erfassen und nutzbar zu machen.

Gültigkeitszeit (valid time, world time, event time)

Alle Objekte entstehen (birth time) und existieren bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (death time). Die valid time beschreibt die Gültigkeitszeit eines betrachteten Ereignisses der realen Welt, also Zeitpunkt bzw. Zeitspanne, an denen das Ereignis tatsächlich stattfand oder Gültigkeit hat. Die valid time ist die für GIS gängigste temporale Betrachtungsweise von Ereignissen. Die Zeit, zu der sich ein Objekt in der realen Welt in irgendeiner Form verändert oder ein Ereignis stattfindet, wird oft auch als world time oder event time bezeichnet.

Aufzeichnungszeit (transaction time, database time)

Die so genannte transaction time gibt den Zeitpunkt an, an dem das betrachtete Ereignis der realen Welt in die Datenbasis übernommen wurde (auch: database time), also den Zeitpunkt des Eintrags. Die transaction time wird üblicherweise vom System automatisch generiert.

Erhebungszeit (measure time)

In immer häufigeren Fällen werden auch Zeitangaben wie die Erhebungszeit (measure time) in den zugehörigen Metadaten gespeichert. Die measure time fällt mit der valid time zusammen, wenn zum Zeitpunkt der Änderung in der Örtlichkeit zeitgleich die Messung erfolgt. Dies gilt beispielsweise für Echtzeitanwendungen oder Dauerbeobachtungen. Werden durch Messungen keine unmittelbaren Änderungen sondern andauernde Zustände erfasst, so weicht die measure time mitunter erheblich von der event time ab.

Fortführungszeit (update time)

Die update time gibt den Zeitpunkt an, an dem ein Objekt sich verändert und fortgeführt wird. Je nach Realisierung des jeweiligen Zeitmodells werden die anderen Zeitangaben zu dem betreffenden Objekt dann ebenfalls fortgeführt.

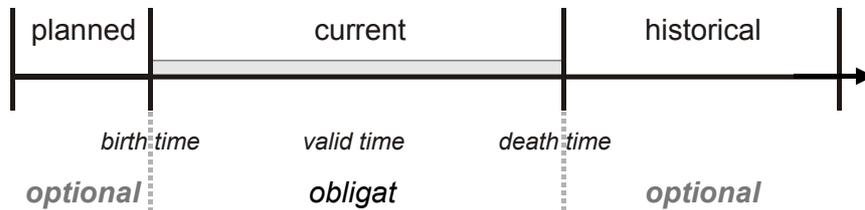


Abb. 2.9: Gliederung der Zeitlinie eines Ereignisses zur Integration in ein GIS,
Quelle: nach HUBER 2002

Neben der Betrachtung von konkreten Zeitpunkten ist auch die Miteinbeziehung von Zeiträumen (*Perioden*) sinnvoll. Es lassen sich folgende Zeiträume angeben:

Planungsperiode (planned period)

Die Planungsperiode ist der Zeitraum zwischen dem Planungsbeginn eines GIS-Ereignisses und damit seinem Eintrag in die GIS-Datenbasis als „geplant“ bis hin zu dem Zeitpunkt, an dem das Ereignis beginnt, also seinem Eintrag als „gültig“.

Aktuelle Periode (current period)

Die aktuelle Periode eines Ereignisses ist der Zeitraum vom Gültigkeitsbeginn eines Ereignisses (= „gültig“) bis hin zu dem Zeitpunkt, an dem das Ereignis seine Gültigkeit verliert und damit i. d. R. von einem anderen Ereignis abgelöst wird, also seinem Eintrag als „historisch“.

Historische Periode (historical period)

Die historische Periode eines Ereignisses ist der in die Zukunft offene Zeitraum nach Ablauf der Gültigkeit dieses Ereignisses. Die zugehörigen Datensätze sind dann als „ungültig“, „veraltet“ oder „historisch“ zu klassifizieren und werden bei Bedarf aus der Datenbasis gelöscht.

Der Planungszustand und der historische Zustand eines Ereignisses muss nicht unbedingt eintreten (optional). Dagegen findet die aktuelle Periode eines Ereignisses auf jeden Fall (obligat) statt. Findet ein Ereignis genau an einem definierten Zeitpunkt ohne weiteres Andauern statt, so fällt die birth time und die death time zusammen und die current period wird zu einem Zeitpunkt.

2.3.2.4 Temporale Repräsentation

Die temporale Repräsentation beschreibt die Vorgehensweise zur physischen (Chrononzahl einer Basisuhr) und logischen Darstellung (Kalender und Uhrzeit). Wird der Zeitwert mittels eines Kalenders beschrieben, handelt es sich um eine logische Repräsentation. In der Regel verwenden GIS den Gregorianischen Kalender und UTC gemäß der NORM ISO 8601 [vgl. ZIPF, KRÜGER 2001].

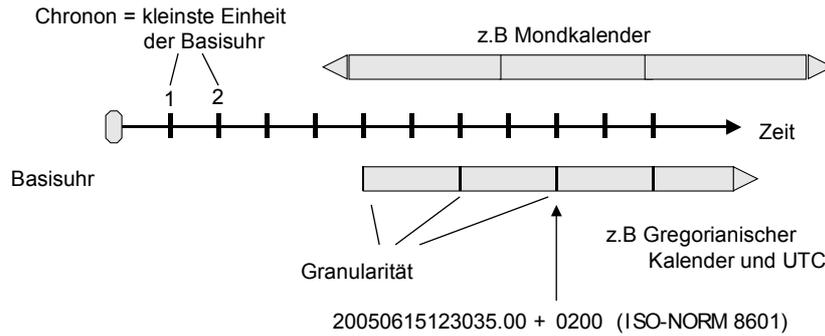


Abb. 2.10: Beispiel für den Zusammenhang von Kalendern und der Basisuhr

Beispielsweise würde der Wert 20050615123035.00 + 0200 für den 15. Juni 2005 zur Uhrzeit 12 Uhr 30 Minuten und 35.00 Sekunden stehen, wobei sich die lokale Sommerzeit durch Hinzuzählen von zwei Stunden zu UTC ergibt. Werden die Werte unabhängig von einem Kalender als Chrononzahl einer Basisuhr gespeichert, müssen Funktionen zur Überführung der Werte in nutzbare Granularitäten bereitstehen.

2.3.3 Raum-zeitliche Dimensionen in GIS

Ein Geobjekt wird als Komposition aus Raumbezug, Sachinformation und Zeitbezug aufgefasst, wobei letzterer häufig unabhängig von den Raumdimensionen verwendet wird. In der GIS-Forschung wird diesem Aspekt durch das Bild des geografischen Datenquaders Rechnung getragen, der die Dimensionen Raum, Merkmale und Zeit umfasst. Jede dieser Dimensionen kann noch weiter untergliedert werden, beispielsweise der Raum in zwei- oder dreidimensionale Betrachtungsweisen.

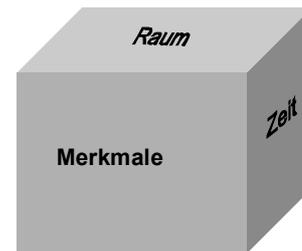


Abb. 2.11: Der geografische Datenquader
Quelle: nach BILL (Hrsg.) 1997

Erweitert man die räumlichen Dimensionen in GIS um die Zeit, so können sich in einem dann entstehenden temporalen Geoinformationssystem folgende Konstellationen ergeben:

2D + Zeit	$(x, y, g(x, y))$	Zu den zweidimensionalen Geometriedaten wird die Zeit in Attributform gespeichert
	(x, y, t)	Zu den zweidimensionalen Geometriedaten existiert die Zeit als eigene Dimension
2,5D ¹ + Zeit	$(x, y, f(x, y), g(x, y))$	Zu den ursprünglich zweidimensionalen Geometriedaten werden sowohl die Höhe als auch die Zeit in Attributform gespeichert
	$(x, y, f(x, y), t)$	Zu den ursprünglich zweidimensionalen Geometriedaten wird die Höhe in Attributform gespeichert; die Zeit existiert als eigene Dimension
3D + Zeit	$(x, y, z, g(x, y, z))$	Zu den dreidimensionalen Geometriedaten wird die Zeit als Attribut gespeichert
4D	(x, y, z, t)	Vollständig vierdimensionales GIS, „echtes“ TGIS, in der die Zeit gemeinsam mit den dreidimensionalen Raumkoordinaten gespeichert wird

Tab. 2.3: Zeit als weitere Dimension in GIS

¹ Die Bezeichnung 2,5D-GIS sorgt nach SCHILCHER u. ROSCHLAUB [1999] „außerhalb geodätischer Anwendungen, beispielsweise in der Architektur, bei Computeranimation und Virtual Reality für Verwirrung“. Es werden in der Literatur auch GIS mit Höhenmodellen aus digitalen Geländemodellen, Höhenlinien etc. in Kombination mit einer hiervon unabhängigen zweidimensionalen Basisgeometrie als 2,5D-GIS bezeichnet bzw. auch als 2D+1D-GIS.

Wird die Raumdimension um die Zeit zu einer vierdimensionalen „Welt“ ergänzt, beschreibt jeder Punkt $P(x_p, y_p, z_p, t_p)$ im Raumzeitkontinuum ein potentielles Ereignis. In einem Vektor-GIS können durch die entsprechende Topologiebildung daraus „echte“ 4D-Objekte (Polytope) entstehen. Diese Polytope kann man sich vorstellen als 3D-Objekte, die sich entlang einer Zeitachse bewegen und dabei laufend ihre Form ändern.

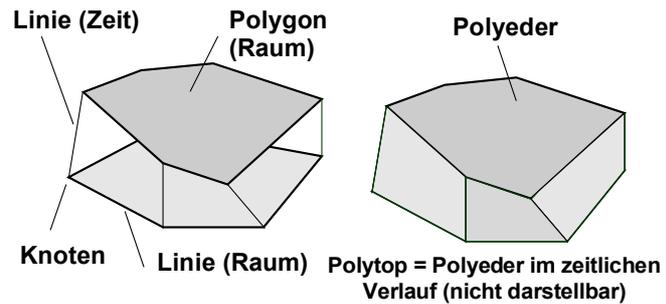


Abb. 2.12: 4D GIS Feature Typen, Quelle: SCHEUGENPFLUG 1999

GIS-Anwendungen für historisch-geografische Aufgabenstellungen fallen meist unter den Typus „2D + Zeit“ [BILL 1999a] so auch die in Kapitel 2.3.8.3 erwähnten Untersuchungen von MEINEL u. NEUMANN [2003], NEUDECKER [2002], PLÖGER [2003], PRIVAT [1996] und WITSCHAS [2002]. Gelegentlich findet sich auch der Typ 2,5D +Zeit [vgl. BUND 1998].

2.3.4 Temporale GIS-Modelle

Grundsätzlich lassen sich nach PEUQUET [2002] bei der statischen Modellierung räumlich und zeitlich varianter Informationen zwei Konzepte unterscheiden: Im Falle des *kontinuierlichen* oder *feldbasierten* Ansatzes werden in einem diskretisierten Raumzeitkontinuum die resultierenden Geoobjekte interpretiert und mit zusätzlichen Attributen versehen. Sind dagegen nicht Raum und Zeit Ausgangspunkt der Modellierung, so wird von einem *diskreten* oder *entitätenbasierten* Ansatz gesprochen. Beide Modellierungsansätze können ineinander überführt werden.

Das einfachste Modell des feldbasierten Ansatzes sind Rasterlayer mit der Dimension 2D+Zeit. Die wichtigsten Vertreter des feldbasierten Ansatzes sind das Snapshot- und das Space-Time-Composite-Modell (vgl. Übersicht der vorgestellten TGIS-Modelle in Tab. 2.6).

Snapshot-Modell

Das Snapshot-Modell speichert die Zeit als Information zu einem geografischen Layer als Attribut durch einen Zeitstempel (time stamp), der dem Layer oder den Objekten des Layers als Attribut zugewiesen wird [OTT, SWIACZNY 2001] oder explizit im Layernamen. Es stellt die einfachste Form eines TGIS dar. Sobald sich ein Feature im Layer ändert, entsteht zur Fortführung eine vollständig neue Version des Layers, wobei jede Version völlig unabhängig von anderen Versionen ist und ein Abbild der geografischen Situation zur entsprechenden Zeit darstellt [PEUQUET 1999].

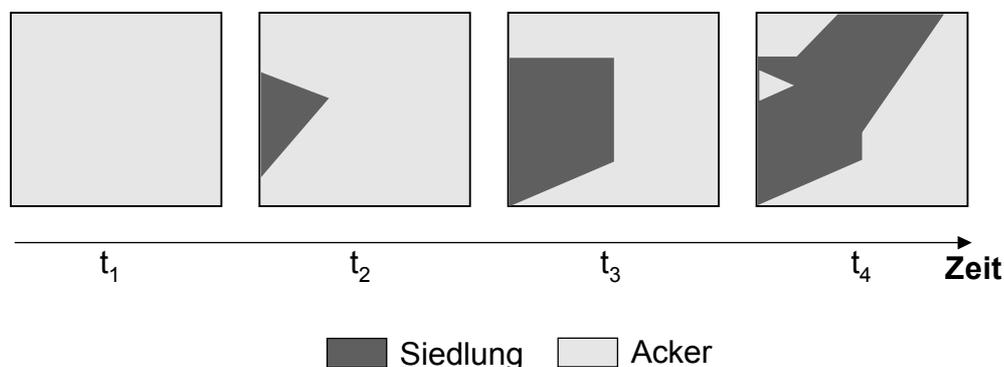


Abb. 2.13: Snapshot-Modell, Quelle: FICHTINGER 2004

Dieses Modell kann in einer vektor- oder rasterorientierten GIS-Datenstruktur implementiert werden. Grundsätzlich eignet sich das Snapshot-Modell sehr gut, um vollständige, historische Datensätze auf einfache Weise zu speichern und zu allen vorhandenen Zeitpunkten beliebig zu präsentieren. Dies führt durch die redundante Datenhaltung zu einem großen Speicherplatzbedarf und bietet nur eingeschränkte Möglichkeiten zu umfassenden temporalen Analysen, da keine temporalen Beziehungen zwischen den Layern bestehen und Veränderungen nur durch die Anwendung geometrischer Operationen (z. B. Verschneidung der einzelnen Layer) festgestellt werden. Das Snapshot-Modell kann für Vektor- und Raster-GIS verwendet werden, wobei bei Raster-GIS Veränderungen wesentlich leichter ermittelt werden können [OTT, SWIACZNY 2001]. Im Snapshot-Modell ist die Betrachtungsweise statisch, die Veränderungen zwischen zwei Zeitschnitten sind nur implizit in Snapshots gespeichert [PEUQUET 1999]. Streng genommen findet hier auch keine spezielle Modellierung der zeitlichen Dimension statt, sondern es werden die im Layer-GIS sonst üblichen thematischen Layer einfach durch einen „Time Stamp“ umdefiniert in temporale Layer [vgl. PEUQUET 1999]. Dennoch ist das Snapshot-Modell weit verbreitet, wenn beispielsweise historische Karten zu Zeitreihenkarten verarbeitet werden [SCHEUGENPFLUG 1999].

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Leicht innerhalb Standard-GIS-Software implementierbar - Schneller Zugriff auf Daten eines Zeitschnittes - Auch in Raster-GIS verwendbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Speicherbedarf durch redundante Datenhaltung - Fehlende Beziehung zwischen Layern macht temporale Analysen schwierig - Änderungen der Topologie nicht erfasst - Es kann nur ein Zeitwert pro Layer zugewiesen werden - Veränderungen einzelner Objekte über die Zeitschnitte können nur schwer analysiert werden

Tab. 2.4: Vor- und Nachteile des Snapshot-Modells, Quelle: nach SCHEUGENPFLUG 1999; PEUQUET 1999

Update-Modell

Im Update-Modell, dem „Base State with Amendments“, gibt es einen vollständigen Layer eines Zeitschnittes (Grundkarte), dem immer nur dort neue Daten hinzugefügt werden („Update“), wo sich tatsächlich Objekte verändert haben. Diese Updates werden in Form einer Liste von Löschungen, Hinzufügungen und Veränderungen von Objekten gespeichert. So kann ein Zustand zu einem gewählten Zeitpunkt durch Addition der entsprechenden Updates zur Grundkarte erzeugt werden [SCHEUGENPFLUG 1999].

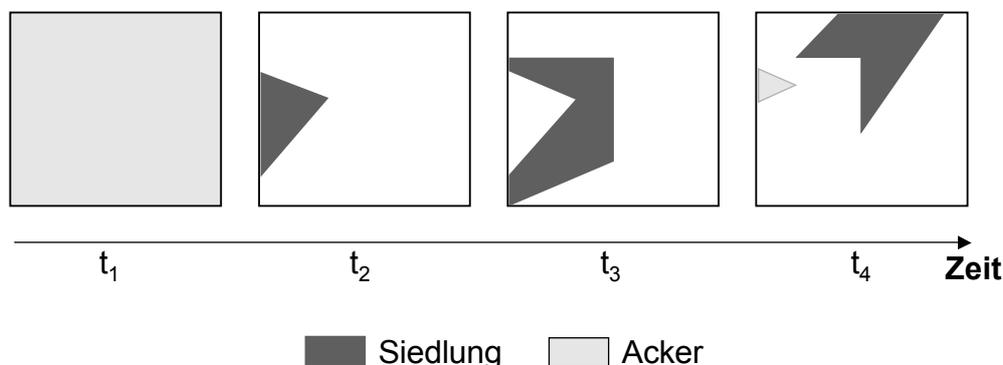


Abb. 2.14: Vektor-Update-Modell, Quelle nach FICHTINGER 2004

Space-Time-Composite-Modell

Das Space-Time-Composite-Modell (s. Abb. 2.15) ist eine Variation des Update-Modells, bei dem in einem vektorbasierten Ausgangslayer zum Zeitpunkt t_1 jeweils die neuen Änderungen zwischen dem Ausgangslayer t_1 und dem Vergleichslayer t_2 mit abgelegt werden. Jedes neu erzeugte Feature/Objekt

erhält seine eigene Historie, wobei auch mehrere Features/Objekte mit einem gemeinsamen Identifikationsschlüssel verbunden sein können. Die Updates werden dazu sukzessive verschritten, wobei immer kleinere Geometrien entstehen. Dabei wird die räumliche Topologie dadurch aufrechterhalten, dass jede dieser Geometrien „weiß“ zu welchem Objekt es zu welchem Zeitpunkt gehört, da diese Information mit der jeweiligen Geometrie gespeichert wird [OTT, SWIACZNY 2001]. Die explizite Modellierung bewegter Objekte ist nicht möglich und die Fragmentierung nimmt mit der Zahl der betrachteten Zeitschritte zu.

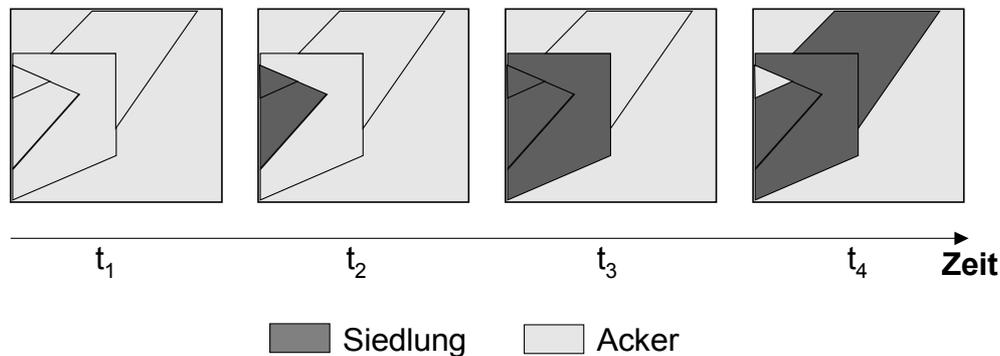


Abb. 2.15: Space-Time-Composite-Modell, Quelle nach FICHTINGER 2004, LANGRAN 1992

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Geringerer Speicherbedarf als bei Snapshot-Modell - Wiederherstellung einer Version einfacher als bei Update-Modell - Verknüpfungen zwischen einzelnen Versionen erleichtern temporale Analysen - Topologie wird über die Zeitschnitte aufrecht erhalten 	<ul style="list-style-type: none"> - Entstehen von immer kleineren Geometrien; kann zu Unübersichtlichkeit führen - Problem, wenn Veränderungen in Geometrie und Topologie zu anderen Zeitpunkten auftauchen, als Veränderungen in Attributen - Nicht möglich bei Raster-GIS, da dieses keine verschiedenen Zellen-Versionen in einem Layer erlaubt

Tab. 2.5: Vor- und Nachteile des Space-Time-Composite-Modells, Quelle: FICHTINGER nach SCHEUGENPFLUG 1999 und OTT, SWIACZNY 2001

Beim *diskreten* bzw. *entitätenbasierten* Ansatz werden im Gegensatz zur feldbasierten Sicht distinkte Entitäten mit deren räumlichen und zeitlichen Eigenschaften explizit beschrieben. Häufig wird die Entwicklung einer Entität anhand ihrer Trajektorie durch Raum und Zeit dargestellt. Ein solcher Pfad kann als Verknüpfung einer Folge raum-zeitlicher Positionen aufgefasst werden [vgl. WACHWICZ 1999].

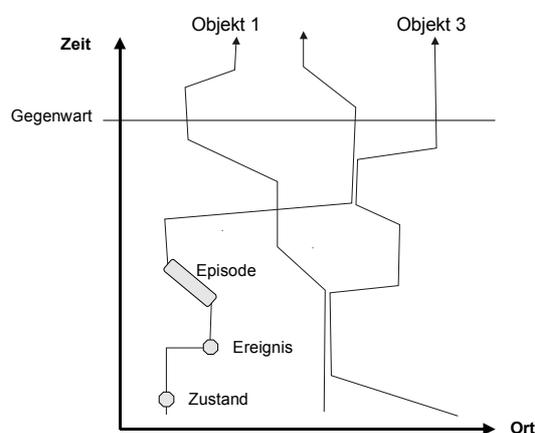


Abb. 2.16: Raum-Zeit-Pfad von drei Entitäten, Quelle: WACHOWICZ 1999

Raum-zeitliche Pfade als eine Verschmelzung von raum-zeitlichen Dimensionen werden nach LANGRAN [1992] und WACHOWICZ [1999] durch folgende Beschreibung charakterisiert:

- Zustände, die eine Entität an einem bestimmten Punkt ihrer Trajektorie beschreiben;
- Ereignisse, die den Zeitpunkt von Veränderungen repräsentieren oder Teil eines Prozesses sind;
- Episoden, die die Dauer eines Zustandes, einer Zustandsänderung oder eines Ereignisses beschreiben;
- Nachweise für die Existenz von Entitäten und Zuständen sowie das Eintreten von Ereignissen (z. B. Karten, Messdaten, Satellitenbilder).

4D-Modell

Das 4D-Modell für ein temporales GIS ist ein Modellansatz, der die volle raum-zeitliche Topologie von Entitäten unterstützen soll (vgl. Kap. 2.3.3). Häufig erfolgt die Modellierung des Raumes, der Sachinformation und der Zeit noch getrennt. Die räumliche Topologie wird durch die Primitive Knoten, Kanten und Maschen beschrieben, die Sachdatenmodelle sind ebenfalls komplex und durch bidirektionale Beziehungen mit (Teilen von) 3D-Geoobjekten verbunden.

Snapshot-Modell (Vektor/Raster)	auch Time Cube Modell, speichert die Zeit als Information zu einem geografischen Layer.
Update-Modell (Vektor/Raster)	Für jedes Feature/Objekt wird ein eigener Zeitwert verwaltet. Basierend auf einem Ausgangszustand erfolgt die Fortschreibung der Änderungen in separaten Layern/Datenbanken (z. B. geeignet für das Versionsmanagement in Katasteranwendungen).
Space-Time-Composite (Vektor)	Ähnlich dem Update-Modell, jedoch werden alle Versionen mit Änderungen im selben Layer/Datenbank gespeichert.
4D-Modell	Jedes Feature/Objekt besitzt metrische und topologische Informationen zur Zeit- und Raumkomponente. Durch Topologiebildung zwischen Punkten $P(x_i, y_i, z_i, t_i)$ entstehen „echte“ 4D-Objekte (Polytope).
Kombinationen der vier Modelle	Da alle Modelle unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen, existieren in der Praxis häufig Kombinationen aus den genannten Modellen.

Tab. 2.6: Grundlegende Modelle für temporale GIS (TGIS),
Quelle: vgl. SCHEUGENPFLUG 1999 und OTT, SWIACZNY 2001

2.3.5 Qualität und Unsicherheit von temporalen Geodaten

Nach der Norm ISO 8402 wird Qualität definiert als „totality of characteristics of a product that bear on its ability to satisfy stated and implied needs“, also als Gesamtheit von Merkmalen eines Produktes, die bezüglich seiner Eignung festgelegte und implizierte Anforderungen erfüllen. Qualität wird als „fitness for use“ [BARTELME 2000] gesehen, und „bedeutet dabei nicht, die genaueste und perfekte Lösung zu erzielen, sondern die geforderten Merkmale (...) so genau wie nötig zu erfüllen“ [LOTHER 2003].

Qualität in Bezug auf Geodaten wird grundsätzlich einem ganzen Datensatz zugeordnet, kann aber nach Bedarf auch zur Beschreibung einzelner geometrischen, thematischer und topologischer Eigenschaften von Objekten verwendet werden. Angaben zur jeweiligen Qualität, beispielsweise durch Standardabweichungen, mittlere Punktlagefehler, Intervalle, Wahrscheinlichkeiten oder Prozentzahlen werden häufig Abstufungen aufweisen [BARTELME 2000]. Produkte, die mit einem GIS erstellt werden, können als „Reports“ betrachtet werden, die in einem GIS als Ergebnis einer Auswertung in Form von Karten, Tabellen und Texten hergestellt werden [LOTHER 2003]. Die Qualität eines GIS-Reports ist abhängig von der Qualität und Vergleichbarkeit der Geodaten, von Auswertelgorithmen und Präsentationsmethoden. Die Qualitätssicherung und deren Dokumentation verursacht einen zusätzlichen Aufwand bei Datengewinnung und -verarbeitung in einem GIS [CASPARY 1993]. Sie ist aber ein wichtiger Bestandteil der GIS-Implementierung und sollte nicht vernachlässigt werden.

Nach CASPARY [1993] „können (Geo-) Daten nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn ihre für die Anwendung wesentlichen Eigenschaften bekannt sind“. Diese Eigenschaften müssen über objektive Qualitätsmerkmale beschrieben und in einem Qualitätsmodell [vgl. CASPARY 1993; LOTHER 2003]

zusammengefasst werden. Ein solches Qualitätsmodell muss nach CASPARY [1993] zwei Anforderungen erfüllen: die vollständige Auskunft über die Qualitätsmerkmale in Form von Metadaten geben, und die Möglichkeit bieten, bei der Datenverarbeitung und -analyse die Qualitätsmerkmale der Ergebnisse in Form einer Fehlerfortpflanzung zu beurteilen.

Im Bereich der Qualität in GIS führten Standardisierungsbemühungen zur Norm ISO 19113 „Quality Principles“ des ISO TC (Technical Committee) 211 Geographic Information/Geomatics [ISO/TC 211 2000; vgl. BARTELME 2000]. Das zugrunde liegende Qualitätsmodell wird nachfolgend kurz vorgestellt. Bei den Qualitätsmerkmalen unterscheidet dieses Modell quantitative (data quality elements / data quality subelements) und nicht-quantitative (data quality overview element) (s. Tab. 2.7).

	Merkmal	Erklärung
Qualitativ	Zweck (purpose)	Warum und für welchen Zweck ein Datensatz mit ursprünglicher Intention angelegt wurde
	Verwendung (usage)	Tatsächliche Verwendung des Datensatzes
	Herkunft (lineage)	<ul style="list-style-type: none"> - „source information“: wann und von wem Daten erfasst wurden und welche Modelle zugrunde lagen - „process step or history information“: Lebenszyklus der Daten, wie sie verarbeitet, transformiert, fortgeführt etc. wurden
Quantitativ	Vollständigkeit (completeness)	der Objekte, Attribute und Relationen eines Datensatzes <ul style="list-style-type: none"> - „omission“: zu wenige - „commission“: zu viele
	Konsistenz (logical consistency)	Grad der Konformität mit logischen Regeln <ul style="list-style-type: none"> - des konzeptionellen Modells: „conceptual consistency“ - des Wertebereiches für Variablen: „domain consistency“ - der physischen Struktur: „format consistency“ - der topologischen Bedingungen: „topological consistency“
	Positionsgenauigkeit (positional accuracy)	Maß für die Nähe zu wahren oder als wahr akzeptierten <ul style="list-style-type: none"> - Koordinatenwerten: „absolute or external accuracy“ - relativen Positionen: „relative or internal accuracy“ - Rasterdaten-Positionsangaben: „gridded data position accuracy“
	Zeitgenauigkeit (temporal accuracy)	Genauigkeit der temporalen Attribute und Beziehungen bzgl. <ul style="list-style-type: none"> - Richtigkeit der Zeitangabe: „accuracy of a time measurement“ - Richtigkeit der Abfolge von Ereignissen oder Versionen: „temporal consistency“ - zeitliche Gültigkeit der Daten: „temporal validity“
	Thematische Genauigkeit (thematic accuracy)	<ul style="list-style-type: none"> - quantitative Genauigkeit von Attributen: „quantitative attribute accuracy“ - qualitative Richtigkeit von Attributen: „non-quantitative attribute correctness“ - Klassifikationsgüte von Objekten, Attributen und Beziehungen: „classification correctness“

Tab. 2.7: Qualitätsmerkmale nach ISO 19113
 Quelle: nach FICHTINGER 2004, BARTELME 2000 und ISO/TC 211 2000

CASPARY [1993] sieht in seinem Qualitätsmodell für das Qualitätsmerkmal „Vollständigkeit“ zusätzlich zu den oben genannten noch die Angabe der räumlichen Auflösung und der kleinsten erfassten Einheit, sowie für das Qualitätsmerkmal „Herkunft der Daten“ die Angabe von Erfassungsmethoden, Transformationen, Homogenisierung und Interpolationsverfahren vor. BARTELME [2000] hebt zudem die Zuverlässigkeit (reliability) und die Zugänglichkeit (accessibility) hervor, die insbesondere auch bei historischen Daten eine nicht unbedeutende Rolle spielen (vgl. Kap. 2.2.3 u. s. Kap. 5.1.3). LOTHER [2003] unterscheidet in seinem Qualitätsmodell zwischen „pragmatischen“ und „deskriptiven“ Qualitätsmerkmalen, wobei erstere meist schnell ermittelbare „allgemeine, anwendungsorientierte Hinweise über einen Datenbestand“ geben und in der Regel Ausschlusskriterien für seine Verwendung beinhalten. Zu diesen gehören Herkunft und Aktualität [vgl. CASPARY 1993] sowie eine Beschreibung der Daten (Datentyp, Bezugssystem, Erfassungsmaßstab, Auflösung, erforderliche Verarbeitungsmethoden, Datenvolumina, nötige Schnittstellen und Transferformate). Die deskriptiven Qualitätsmerkmale müssen durch geeignete Tests (mit Hilfe von Indikatoren, Kenngrößen und Geltungsbereiche) bestimmt werden und umfassen die metrische Genauigkeit (absolute und relative Lagegenauigkeit von Punkten, Formgenauigkeit

von Linien, Flächengenauigkeit), semantische Richtigkeit und logische Konsistenz [vgl. CASPARY 1993]. Nach LOTHER [2003] müssen für eine Qualitätssicherung die pragmatischen Merkmale eines Datenbestandes unbedingt beschrieben werden. Bei den deskriptiven Merkmalen sollten Minimalanforderungen erfüllt werden etwa durch die Angabe von mit vertretbarem Aufwand ermittelbaren Qualitätsmerkmalen wie z. B. Lagestati von Punkten, Pufferbreiten für Linien oder Aussagen über Stichprobenvergleiche mit unabhängigen Kontrollgrößen. Bei der Analyse einer Zeitreihe sollten die Qualitätsmerkmale, v. a. auch die Art der Datenerfassung und der Objektinterpretation für jeden einzelnen Zeitschnitt nachvollziehbar sein [LOTHER 2003].

In einem temporalen GIS gelten alle Qualitätsanforderungen an die Geoobjekte in vorgestellter Weise. Bei objektorientierter Sichtweise auf den temporalen Bestandteil eines Geoobjektes sollten bezüglich der Zeitangaben nicht nur die Aspekte Genauigkeit und Richtigkeit, sondern alle quantitativen Qualitätsmerkmale, wie Vollständigkeit und Konsistenz gleichermaßen berücksichtigt werden.

In der Praxis eines temporalen GIS für kulturelles Erbe können u. U. nicht alle in ISO 19113 geforderten Qualitätsmerkmale überprüft werden, da v. a. für die eingesetzten historischen Karten, Texte und Bilder nicht alle Eigenschaften bekannt oder ermittelbar sind. Sowohl die rückwärtige Betrachtung als auch die Unsicherheit bzw. Unschärfe der thematischen, geometrischen wie dynamischen Daten stellt an ein temporales GIS für kulturelles Erbe besondere Anforderungen, die v. a. in der Definition der Granularität der Zeitmessungen sowie der Ungenauigkeit bei relativen und unkonkreten Angaben besonders zu behandeln sind [s. EGENHOFER, GOLLEDGE (Hrsg.) 1994]. In konventionellen GIS fehlen abstrakte Zeitbegriffe und Methoden, die die Angaben und die Auswertung der Zuverlässigkeit von temporalen Aussagen ermöglichen [IMFELD 2000]. Wachsendes Interesse besteht an der Behandlung von „Unsicherheit“ und „Unschärfe“ in GIS [vgl. CALUWE, TRÉ, BORDOGNA (Hrsg.) 2004].

2.3.6 Datenbankmodelle in temporalen GIS

2.3.6.1 Temporale Datenbanken

Die Datenbank-Managementsysteme (DBMS) haben sich (unabhängig von temporalen Eigenschaften) bezüglich der zugrundeliegenden Modelle vom hierarchischen zum Netzwerkmodell und weiter zum relationalen Datenbank-Modell entwickelt. Das am weitesten verbreitete und akzeptierte Modell ist immer noch das relationale Modell. Daneben haben fast alle kommerziellen Anbieter von relationalen Datenbanksystemen ihre Produkte um Konzepte der „Objektorientierung“ erweitert und bieten nun ihre DBMS als objektrelationale Datenbanken an (vgl. die zeitliche Entwicklung in Abb. 2.18) [KEMPER, EICKLER 2004].

Der größte Bereich der Entwicklung temporaler Datenbanken bezieht sich auf die Erweiterung relationaler Datenmodelle. Temporale DBMS verwalten den Datenbestand als Folge zeitlich aufeinander folgender Zustände einschließlich der Zeitpunkte der Änderungen (Historisierung). Im Normalfall wird in einer Datenbank der aktuelle Zustand der in ihr enthaltenen Objekte gespeichert. D. h. nach einer Veränderung der Attribute eines Objektes kann der Ursprungszustand nicht wiederhergestellt werden. Zwar bieten moderne DBMS die Möglichkeit eines Undo bzw. Rollback, mit dem zwischen zwei unterschiedlich alten Sichten gewechselt werden kann, doch können nicht mehrere Sichten zeitgleich angezeigt werden. Um unterschiedliche temporale Versionen der Datenobjekte voneinander abgrenzen zu können, werden temporale Attribute benötigt, die die einzelnen Versionen beschreiben.

Verwaltet ein Datenbankmodell sowohl Transaktionszeit als auch Gültigkeitszeit, handelt es sich um ein bitemporales Datenbankmodell. Das Bitemporal Conceptual Data Model (BCDM) wurde 1993 vom TSQL2 Language Design Committee entworfen und basiert auf einem diskreten Zeitmodell mit dem Chronon als kleinster Zeiteinheit [SNODGRASS (Hrsg.) 1995]. Unterstützt eine Datenbank nur die Transaktionszeit spricht man von Rollback-Datenbanken, wenn es nur die Möglichkeit gibt, die Objekte mit einer Gültigkeitszeit zu versehen, von historischen Datenbanken.

	Keine Unterstützung transaction time	Unterstützung transaction time
Keine Unterstützung valid time	Statische Datenbank	Rollback Datenbank
Unterstützung valid time	Historische Datenbank	Bitemporale Datenbank

Abb. 2.17: Valid und transaction time in temporalen Datenbanken, Quelle: nach WORBOYS 1994

2.3.6.2 Versionierung

Generell sollen hier zwei Möglichkeiten unterschieden werden, um in einer Datenbank die Änderung von Objekten zu erfassen [vgl. LANGRAN 1992; FREUND 2005].

- Versionierung der Objekte (Relationen)

Diese Versionierungsmethode basiert auf dem Grundgedanken, dass bei jeder Änderung eines Objektes (einer Relation) das gesamte Objekt mit einem Untergangsdatum belegt wird und eine neue Version mit allen (veränderten und nicht veränderten) Eigenschaften generiert wird. Das Entstehungsdatum der neuen Version ist mit dem Untergangsdatum der Vorgängerversion identisch. Geht das Objekt endgültig unter, dann wird die letzte Version mit einem Untergangsdatum belegt und keine weitere Version mehr angelegt.

Die Vorteile sind u. a., dass die Zeitinformationen an zentraler Stelle verwaltet werden. Außerdem sind die Anforderungen hinsichtlich Datentypen wesentlich geringer. Die damit verbundene Redundanz wird in Kauf genommen und stellt keine Probleme hinsichtlich Datenkonsistenz dar. Zudem ist die daraus folgende Erhöhung der Datenmenge unter dem Gesichtspunkt der aktuellen Speichermedien heute nicht mehr kritisch.

- Versionierung der Attribute

Die Stack-Methode [FREUND 2005] resultiert aus der Überlegung, dass zugunsten eines geringeren Datenaufkommens und der Kapselung eines Objektes die veränderten Eigenschaften (Attribute) eines Objektes innerhalb einer Objektinstanz fortgeführt werden. Das bedeutet, dass für jedes Attribut ein Stapel (Stack) von Werten mit ihrem jeweiligen Gültigkeitszeitraum geführt wird.

Dadurch sind abgestufte Varianten der Historienführung möglich (Auswahl auf Objekt- und Attributebene). Die Attribute können in einer objektrelationale bzw. objektorientierte Datenbank hierfür um komplexe Datentypen erweitert werden. Die Abfragefunktionalitäten (über Multi-Joins bzw. Abfragen auf Kollektionen) werden dann komplexer, da das komplette Objekt (Attribute und Relationen) durchsucht werden muss, um seinen Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt zu ermitteln.

Wichtig für eine Versionierung ist der Objektidentifikator, der als Repräsentant eines Objektes eine zentrale Rolle spielt. Er ist das Kriterium zur Benennung und zur Unterscheidung von Objekten. Der Objektidentifikator muss datenbestandweit (weltweit) eindeutig sein, gilt während der gesamten Lebensdauer eines Objektes und darf bei einer Versionierung auch darüber hinaus nicht mehr verwendet werden.

2.3.6.3 Temporale Datentypen

Zur Speicherung von zeitlichen Objekteigenschaften in Datenbanken stehen nach ANSI-SQL2¹ drei Datentypen zur Verfügung:

- **TIMESTAMP** (ermöglicht eine zeitliche Auflösung für Bruchteile von Sekunden)
- **DATETIME** (Datum und die Zeit)
- **INTERVAL** (z. B. 10 Tage, 180 Minuten)

Bei der logischen Modellierung ist darauf zu achten, dass sich nicht alle Datenbankanbieter an ANSI-SQL-Vorgaben halten. Beim Einsatz des DBMS Oracle entspricht beispielsweise der Datentyp DATE dem Typ DATETIME.

- Abstrakte (benutzerdefinierte) temporale Datentypen

In einem objektrelationalen Datenbanksystem können eigene abstrakte Datentypen generiert werden, die beispielsweise die Zuverlässigkeit von Angaben zu Zeit und Zeitspannen in einem GIS erfassen. Neben der Möglichkeit, komplexe Strukturen in Form von Objekten abzubilden, liegt in der Formulierung von Methoden auf diesen Objekten eine weitere wesentliche Stärke des objektrelationalen Modells. Durch Methoden können spezifische Operationen für einzelne Objekttypen definiert werden (vgl. Kap. 3.4.4). Die SQL3² Spezifikation berücksichtigt bereits objektrelationale Konstrukte wie „user-defined data types“, „type constructors“, „collection types“, „user-defined functions“ und „procedures“, Unterstützung für „large objects“ und „triggers“.

2.3.6.4 Temporale Operationen und Abfragen

Temporale Abfragesprachen

Temporale Datenbanksysteme und Anfragesprachen bieten die Möglichkeit, Informationen über Zeit in beliebiger Form zu speichern und zu verarbeiten. Üblicherweise geschieht dies mit Hilfe spezieller Datentypen, die es ermöglichen, z. B. Datums- oder Zeitangaben zu speichern. Eine temporale Erweiterung einer konventionellen (nicht-temporalen) Datenbanksprache verlangt jedoch mehr, nämlich eine in der Sprache eingebaute Unterstützung zur Auswertung zeitabhängiger Informationen. Eine temporale Abfragesprache soll es dem Benutzer mit Interesse an zeitveränderlichen Daten ermöglichen, sich nicht mit der expliziten Auswertung einzelner temporaler Attributwerte beschäftigen zu müssen.

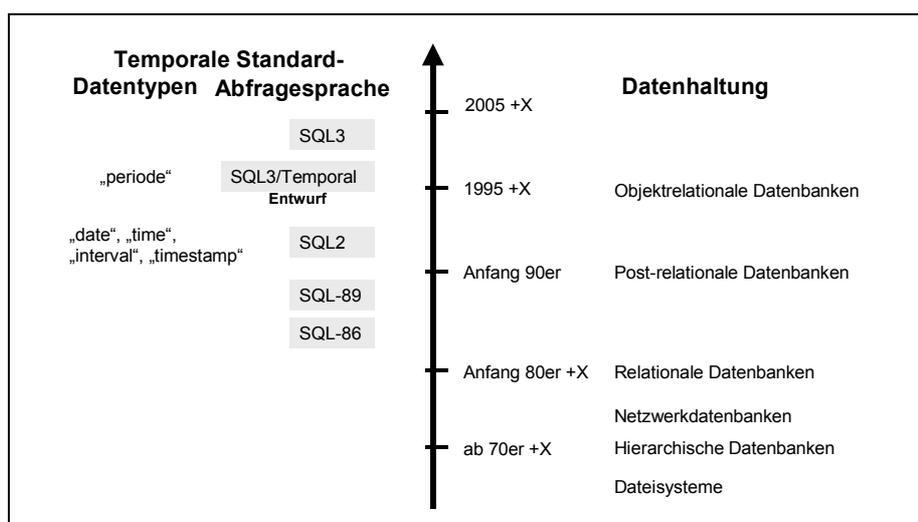


Abb. 2.18: Zeitliche Entwicklung von Datenbank-Modellen mit temporalen Erweiterungen

¹ ANSI-SQL2 = ANSI-Structured Query Language-2; 1992 von der ANSI-Kommission (America National Standards Institute) verabschiedete Datenbank-Anfragesprache (stark erweitert gegenüber der SQL-Norm von 1986)

² SQL3 = Structured Query Language 3; 1999 verabschiedeter ISO-Standard

Nach SNODGRASS [1998] gibt es viele unterschiedliche Sprachen und Vorschläge, die teilweise durch die ISO und weitere Organisationen standardisiert wurden:

- SQL-86 und SQL-89 beinhalten noch keine Zeittypen.
- SQL-92 stellt die Datentypen DATETIME and INTERVAL zur Verfügung.

1994 wurden vom TSQL2 Komitee Sprachspezifikationen vorgestellt, die in einem VLDB (Very Large Data Bases) International Workshop on Temporal Databases in Zürich 1995 diskutiert und überprüft wurden.

Die ANSI und ISO SQL3 Komitees wurden 1994 einbezogen.

- Ein neuer Teil für SQL3, bezeichnet als SQL/ Temporal wurde vorgeschlagen und formal angenommen durch ISO SQL3 in Ottawa, Canada im Juli 1995 als Part 7 des SQL3 draft standard. Der erste Entwurf definiert den Datentyp PERIOD, welcher nun in Part 7 enthalten ist.
- Es wurde zusätzliche temporale Unterstützung gefordert. Daraus resultierten zwei Änderungsvorschläge zur Unterstützung von valid time und transaction time. Das ANSI SQL3 Komitee (ANSI X3H2) befürwortete die Einbringung in das ISO SQL3 Komitee (ISO/IEC JTC 1/SC 21/WG 3 DBL).

In 2003 wurden nur die Teile 1, 2, 4, and 5 von SQL3 als Standard verabschiedet.

Temporale Operationen für Geodaten

Nach PEUQUET [1999] können zwei Grundtypen von raum-zeitlichen Abfragen unterschieden werden, einerseits über den Zustand zu einem Zeitpunkt (statische Betrachtungsweise) und andererseits über Veränderung in einer Zeitspanne (dynamische Betrachtungsweise). Diese Veränderungen können einmalig, zufällig oder zyklisch stattfinden, kontinuierlich ablaufen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, sie können plötzlich auftreten oder sich gradual entwickeln. Grundsätzlich lassen sich in einem GIS zwei Arten von Veränderungen über die Zeit beschreiben: Veränderungen in Geometrie und Topologie der Objekte, beispielsweise Verschiebung, Vergrößerung, Verkleinerung, Formänderung, Teilung oder Zusammenlegung von Polygonen, sowie Veränderungen in den Attributen der Objekte. Raum-zeitliche Abfragen zielen beispielsweise auf Daten, die vor oder nach einem Zeitpunkt t bzw. zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 gültig sind [BILL 1999a]. Wenn Objekte mit einem „Anfang“- und „Ende“-Zeitattribut versehen sind, können Zeitspannen mit einer Reihe von raum-zeitlichen Operatoren abgefragt werden [vgl. OTT, SWIACZNY 2001].

Durch Methoden der Prozessanalyse können zeitliche Veränderungen und kausale Beziehungen zwischen Ereignissen und Objekten bestimmt werden [LITSCHKO 1999]. Raum-zeitliche Modellbildung und dynamische Verkettung von Operatoren dienen als Grundlage für Simulationen und Prognosen [OTT, SWIACZNY 2001]. Ferner sollten in einem TGIS Interpolation und Extrapolation längs der Zeitachse, sowie zeitliche Transformationen für Aggregation längs der Zeitachse [vgl. PEUQUET 1999] möglich sein.

Temporale Abfragen basieren grundsätzlich auf den gleichen Prinzipien wie räumliche Abfragen. Bei SOO u. SNODGRASS [1995] werden die Operatoren nach ihrem Zweck und den jeweiligen Argument- und Ergebnistypen wie folgt untergliedert:

- **Build-in-Funktionen** ermöglichen sowohl die Typumwandlung zwischen temporalen Datentypen als auch Verknüpfungs- oder Vergleichsoperationen. Build-In-Funktionen sind jeweils nur für bestimmte temporale Typen definiert. Sie liefern stets einen der vorgestellten temporalen Typen als Ergebnis. Eine mögliche Menge von Build-In-Funktionen ist in Tab. 2.8 dargestellt.

Funktion	Erklärung
BEGIN (Zeitspanne) ⇒ Zeitpunkt	ergibt einen Zeitpunkt, der den Beginn einer Zeitspanne beschreibt
END (Zeitspanne) ⇒ Zeitpunkt	ergibt einen Zeitpunkt, der das Ende einer Zeitspanne beschreibt
FIRST (Zeitpunkt, Zeitpunkt) ⇒ Zeitpunkt	ergibt einen Zeitpunkt, der früher liegt als der andere
LAST (Zeitpunkt, Zeitpunkt) ⇒ Zeitpunkt	ergibt einen Zeitpunkt, der später liegt als der andere
PERIOD (Zeitpunkt, Zeitpunkt) ⇒ Zeitspanne	ergibt eine Zeitspanne, die durch die beiden Zeitpunkte begrenzt wird
INTERSECT (Zeitspanne, Zeitspanne) ⇒ Zeitspanne	ergibt eine Zeitspanne für die Zeit, in der sich die beiden Zeitspannen überlappen
ABSOLUT (Zeitdauer) ⇒ Zeitdauer	ergibt eine positive Zeitdauer

Tab. 2.8: Build-In-Funktionen temporaler Datentypen in TSQL2, Quelle: SOO, SNODGRASS 1995

- **Arithmetische Operatoren** bieten eine Adaption der Grundrechenarten. Dazu werden die bekannten Operatoren +, -, * und / überladen und in ihrer Semantik den verwendeten Datentypen angepasst.

1. Operand	Operatoren	2. Operand	Ergebnis
Zeitdauer	+, -	Zeitdauer	Zeitdauer
	/	Zeitdauer	numerisch
	*, /	numerisch	Zeitdauer
	+	Zeitpunkt	Zeitpunkt
	+	Zeitspanne	Zeitspanne
Zeitpunkt	+, -	Zeitdauer	Zeitpunkt
	-	Zeitpunkt	Zeitdauer
Zeitspanne	+, -	Zeitdauer	Zeitspanne
numerisch	*	Zeitdauer	Zeitdauer

Tab. 2.9: Arithmetische Operatoren temporaler Datentypen in TSQL2, Quelle: SOO, SNODGRASS 1995

- **Vergleichsoperatoren** liefern einen booleschen Wert. Sie dienen zur Überprüfung der Selektionsbedingungen und kommen häufig zum Einsatz.

Vergleich	Operator	Bedingung
Vor	[a,b] BEFORE [c,d]	$b < c$
Danach	[a,b] AFTER [c,d]	$a > d$
Während	[a,b] DURING [c,d]	$(a \geq c)$ und $(b \leq d)$
Gleich	[a,b] EQUIVALENT [c,d]	$(a = c)$ und $(b = d)$
Nahe bei	[a,b] ADJACENT [c,d]	$(c - b = 1) / (a - d = 1)$
Überlappend	[a,b] OVERLAP [c,d]	$(a \leq d)$ und $(c \leq b)$
Folgend	[a,b] FOLLWOS [c,d]	$(a - d = 1)$
Vorausgehend	[a,b] PRECEDES [c,d]	$(c - b = 1)$
Beginnend	[a,b] STARTS [c,d]	$a = c$
Endend	[a,b] FINISHES [c,d]	$b = d$

Tab. 2.10: Vergleichsoperatoren für Zeitspannen (s. CLARAMUNT, THÉRIAULT 1995 nach NAVATHE, AHMED 1988 und ALLEN, HAYES 1989)

Neben den zeitstempelbasierten Operatoren, die zwei Zeitspannen vergleichen, lässt sich auch die Gruppe der topologischen Operatoren nennen, die beispielsweise eine Veränderung eines Objektes in ein anderes aufzeigen oder Objekte generieren bzw. beseitigen.

- **Aggregatfunktionen:** Die SQL-typischen Aggregatfunktionen COUNT, SUM, AVG, MAX und MIN können auch auf temporale Datentypen angewendet werden.

Weitere Parallelen räumlicher Analysefunktionen zu temporalen Auswertungen lassen sich beispielsweise auch bei der Pufferbildung, der Berechnung von temporalen Isolinien oder bei Routingfunktionen finden.

Temporale Anfragen mit Operationen von OGC Web Services

Für die Repräsentation der Zeit in Karten- und Sachdatenabfragen an einen Web Map Service (WMS) nach dem Standard des Open Geospatial Consortiums (OGC) kommen nach DONAUBAUER [2004] grundsätzlich folgende Methoden in Betracht:

- Temporale Parametrisierung über die Auswahl von Layern, wobei ein Layer je einem diskreten Zeitpunkt bzw. einer Zeitspanne zugeordnet wird:

Sowohl die thematische als auch die temporale Selektion erfolgt über die Layerauswahl. Diese Methode ist geeignet, falls das dem WMS zugrunde liegende Datenmodell als Snapshot-Modell realisiert wurde. Serverseitig müssen hierbei Layer definiert werden, die ein Abbild der geografischen Situation zu einem bestimmten Zeitpunkt repräsentieren. Der Nutzer wird über den Namen der Layer informiert, um welchen Zeitpunkt es sich handelt und kann bei der Karten- oder Sachdatenabfrage einen bestimmten Layer, also einen bestimmten vom Server festgelegten Zeitpunkt auswählen. Die Layerauswahl ist eine Standardfunktionalität jedes WMS Client, d. h. es werden keine besonderen Ansprüche an den WMS Client gestellt. Die Karten- und Sachdatenabfragen können nur bezogen auf bestimmte, vom Server vorgegebene Zeitpunkte ausgeführt werden. Je nach zeitlicher Auflösung können sehr viele Layer entstehen.

- Temporale Parametrisierung über den optionalen WMS Parameter TIME:

Parameter TIME beim OGC GetMap Request:

`http://...?REQUEST=GetMap&LAYERSname1&... &TIME=2004-01-25...`

Die thematische Selektion erfolgt über die Auswahl eines Layers. Die temporale Selektion erfolgt über den Parameter TIME. Diese Methode ist besonders im Zusammenhang mit der Ablage der Vektor- und Rasterdaten als Geobjekte nach dem Update-Modell geeignet, da Modell und Methode raum-zeitliche Anfragen zu jedem beliebigen Zeitpunkt unterstützen. Im Gegensatz zur ersten Möglichkeit ist keine zeitliche Auflösung vorgegeben, d. h. sowohl Karten- als auch Sachdatenauskünfte sind für jeden beliebigen Zeitpunkt möglich.

Nachteil der Methode: WMS Clients, die den optionalen WMS-Parameter TIME nicht unterstützen, können nicht für zeitliche Analysen verwendet werden. Der Server sollte bei Nichtangabe des Parameters serverseitig immer das gerade aktuelle Datum für die Karten- und Sachdatenabfragen verwenden. Ein derartiger Client erhält somit immer Kartenbilder oder Sachdatenauszüge, die nach den aktuellsten Informationen in der Datenbank erstellt werden, ist aber nicht fähig, historische Informationen abzufragen.

2.3.7 Visualisierung von raum-zeitlichen Prozessen

Die Visualisierung von raum-zeitlichen Prozessen stellt hohe Anforderungen an temporale GIS. Häufig sind zur Erstellung rechenintensiver, dreidimensionaler Visualisierungen zusätzliche Spezialprogramme oder Erweiterungen gekoppelt. Grundsätzlich bieten alle GIS die Visualisierung von Geodaten anhand einer statischen (zweidimensionalen) Kartendarstellung an, die durch bestimmte Attribute (thematische Eigenschaften, Höhe, Zeit) gesteuert werden kann oder ergänzt durch temporale Symbole und Diagramme eine temporale Bedeutung ermöglicht. Die Visualisierung der dritten Dimension (Höhe) erfolgt beispielsweise durch zusätzliche perspektivische Darstellungen, die vierte Dimension (Zeit) häufig auch durch Zeitserien und Animationen. Raum-zeitliche Prozesse können nach PÁPAY [1997] in einem TGIS auf verschiedene Weise visualisiert werden (s. Tab. 2.11).

Typ	Darstellung
Temporale Kartenserie	Multi-temporale Überlagerung von mehreren Zeitschnitten in verschiedenen Karten (Snapshot)
Temporale Karte	Mehrere Zeitschnitte in einer Karte (Space-Time-Composite)
Slideshow	Nach Art einer Dia-Präsentation
Temporale Animation	Bewegte Bilder generiert aus Bildsequenzen

Tab. 2.11: Visualisierung raum-zeitlicher Prozesse,
Quelle: nach PÁPAY 1997 und OTT, SWIACZNY 2001

2.3.8 Anwendungsbereiche für temporale GIS

Verschiedene Anwendergruppen stellen hinsichtlich der Behandlung der Zeit unterschiedliche Anforderungen an ein GIS. Dies betrifft beispielsweise die Modellierung temporaler Prozesse sowie deren Visualisierung und Auswertung, die permanente Fortführung der Datenbestände, die häufig mit der Dokumentation der historischen Entwicklung einhergeht, sowie die Darstellung von sehr schnell veränderlichen, dynamischen Phänomenen.

Je nach Anwendungsgebiet (vgl. Abb. 2.19) bestehen nach BILL [1999] sehr unterschiedliche zeitliche Anforderungen entlang der Zeitskala. In der Geologie umfasst die Zeitskala einen Bereich von mehreren Millionen Jahren, in der Archäologie und bei der Dokumentation von kulturellem Erbe einige tausend Jahre. Diese Anwendergruppen beschäftigen sich vornehmlich mit langsam veränderlichen Zuständen und Ereignissen über größere Zeiträume. Um die Bearbeitung mittelfristig veränderlicher Ereignisse über Jahre, Monate und Tage geht es beispielsweise in den Bereichen Forst- und Landwirtschaft, Katasterwesen und in der Raum- und Stadtplanung.

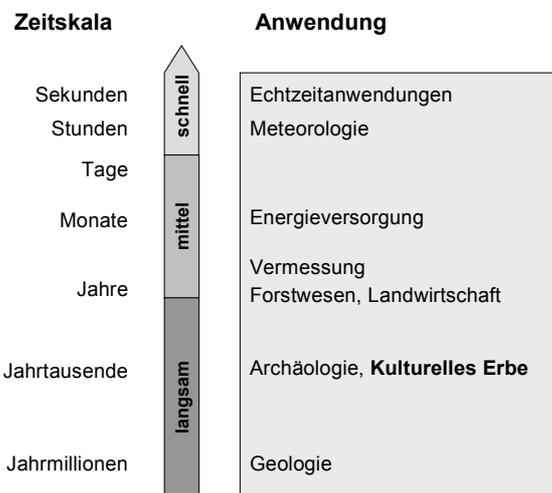


Abb. 2.19: Zeitliche Anforderungen verschiedener GIS-Anwendungen, Quelle: nach Bill 1999

Die Abbildung und Auswertung komplexer, dynamischer Prozesse, die einem noch schnelleren Wandel im Tageszyklus bis hin zur Reaktion in Echtzeit unterworfen sind, stellen sehr hohe Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Systeme. Als Beispiele dienen die Atmosphärenforschung in der Meteorologie / Klimatologie oder das Studium des Meeresverhaltens in der Ozeanografie, Navigationssysteme mit unterschiedlicher Sensorik (GPS, INS, Radar oder Echolote zur Positionsbestimmung und Trajektorienableitung), Echtzeit-Überwachungssysteme für Hochwasser oder auch die Auswertung von Bewegungsvorgängen in Sportveranstaltungen.

Im Folgenden werden einige Anwendungsbeispiele mit Fragestellungen zur Historie und zum Kulturerbe in Siedlung und Landschaft mit Bezug zur vorliegenden Arbeit erläutert.

2.3.8.1 Online-Kataloge für historische Karten

Die Umstellung von analogen auf digitale Daten ist in Museen und Archiven in vollem Gange. Dies betrifft auch alte und historische Karten, die in Bibliothekskatalogen, wie andere Materialien auch, nach formalen und inhaltlichen Kriterien digital erschlossen werden. Die Bayerische Landesbibliothek Online, ein Informationsportal bayerischer Bibliotheken, bietet beispielsweise neben anderen Ressourcen eine umfangreiche Sammlung digitalisierter historischer Karten Bayerns (als Rasterbilder) an. Die Originalkarten werden hierfür mit einem Großformat-Scanner aufgenommen, die Rasterbilder georeferenziert, der Karteninhalt durch ein Clip-Polygon erfasst und in einem Geoinformationssystem gespeichert. In Verbindung mit einer Datenbank aller bayerischen Orte können die Karten raumbezogen gesucht werden [SCHRÖDER 2005]. Die zeitlichen Informationen sind über Metadaten erfasst.

Durch die freie Verfügbarkeit des Angebots und die Bedienbarkeit ohne spezielle Software mit einem Internet-Browser, wird ein hoher Verbreitungsgrad erzielt. Der höhere Aufwand ist durch die deutlich verbesserten Such- und Präsentationsmöglichkeiten gerechtfertigt, gleichzeitig werden die wertvollen Originale geschont. Die Originale stellen ihrerseits nicht nur historische Informationen über beispielsweise kulturelles Erbe dar, sondern sind durch ihre meist wertvolle künstlerische Ausgestaltung und Einmaligkeit häufig selbst als „Kulturgut“ zu betrachten, welches durch die Digitalisierung in einer weiteren Form

für die Nachwelt zugänglich gemacht wird. Möglich ist daher eine Entwicklung, die über die breite Nutzung von digitalem kulturellem Erbe zukünftig manche Grenzen zwischen originalen Kulturgütern und deren digitalen Aufbereitung in Informationssystemen und Medien in unterschiedlicher Art unwichtiger erscheinen lassen. Die digitalen Daten und Systeme können dann beispielsweise bei Verlust des Originals selbst zu einem weiteren „Kulturgut“ werden.

2.3.8.2 Kultur(güter)-informationssysteme

Zunehmend ist das kulturelle Erbe in den Blickpunkt der Öffentlichkeit gerückt und hat zu zahlreichen Initiativen zur einheitlichen Erfassung und Katalogisierung der beweglichen und unbeweglichen Kulturgüter geführt. Durch Digitalisierungsprojekte, die Erstellung von Kulturgüterdatenbanken sowie die Präsentation im Internet wird ein direkter Zugang zum Kulturerbe geschaffen. Flächendeckende Datenangebote, wie beispielsweise das „Tiroler Kunstkataster und Historische Wege“¹, ermöglichen den Zugriff auf die Kulturgüter-Datenbank über eine thematische oder Kartendienst-basierte räumliche Auswahl. Eine eingeschränkte Zeitauswahl ist in diesem Beispiel durch Eingabe der Epochen oder ausgewählter Jahrhunderte möglich.

Mit dem Kulturgüterkataster der Stadt Wien² soll die Möglichkeit gegeben sein, neben aktuellen Informationen über wesentliche Identitätsmerkmale der Stadt (zu Schutzzonen nach der Bauordnung in Wien und Informationen zu einzelnen Gebäuden) auch Themen zur Stadtarchäologie und Historie abzurufen, womit schrittweise eine Zusammenschau und damit ein schärferes Bild der historischen Stadtentwicklung sowie deren Spuren entsteht. Mit Hilfe von GIS erfolgt dabei die geografische Zuordnung der Datenbankwerte, die Abgrenzung der Untersuchungsgebiete nach ausgewählten Kriterien und die Erstellung von Schutzzonenbasisplänen.

2.3.8.3 GIS in der Kulturlandschaftsforschung

Als grundlegendstes Argument für den Einsatz von GIS in der Kulturlandschaftsforschung ist der Raumbezug der verwendeten Daten zu sehen, für die ein GIS mit seiner Fähigkeit zur raumbezogenen Datenverarbeitung als Instrument eingesetzt werden kann [PLÖGER 2003]. GIS können grafische Daten und Sachinformationen verarbeiten, die auch durch die klassischen Arbeitsweisen der Kulturlandschaftsforschung, wie Kartenauswertung und Feldforschung auf der einen, sowie Archivforschung und Quellauswertung auf der anderen Seite gewonnen werden. Die gespeicherten Daten können kombiniert und überlagert werden sowie über einen schnellen und einfachen Zugriff bereitgestellt werden. Durch Abfragen nach räumlichen und attributiven Kriterien wird die Suche nach Daten erleichtert [PRIVAT 1996]. Es können große Datenmengen verwaltet werden und mit diesen eine Vielzahl von räumlichen Analysen durchgeführt werden [LANGE 2002a]. Dem interdisziplinären Ansatz der Kulturlandschaftsforschung wird Rechnung getragen, indem „durch einen Datenaustausch von im GIS vorgehaltenen oder aufbereiteten Daten mit anderen Institutionen (...) auf einen Landschaftsraum bezogene und interdisziplinär zu bearbeitende Fragestellungen effizient untersucht oder auch gar erst behandelt werden [können]“ [PLÖGER 2003]. Zudem werden an vielen Institutionen und Behörden, die beispielsweise mit Fragen der räumlichen Planung, der Landschaftsentwicklung und des Denkmalschutzes befasst sind, mittlerweile GIS eingesetzt. Diese können zum einen entsprechende Basis- und Fachdaten für weiterführende Untersuchungen bereitstellen bzw. können die mit Hilfe von GIS gewonnenen Ergebnisse der Kulturlandschaftsforschung bei Bedarf in ihr GIS aufnehmen. Amtliche Geobasisdaten, wie beispielsweise topografische Karten und Flurkarten, die oft in Untersuchungen zur Kulturlandschaft als Datenquellen verwendet werden, werden heutzutage größtenteils als digitale Daten bei den Vermessungsbehörden vorgehalten und können über geeignete Verfahren des Datenaustausches in GIS übernommen werden.

¹ Online im Internet: URL: <http://tiris.tirol.gv.at/scripts/esrimap.dll?Name=Kunst&Cmd=Start> (Stand: 25.02.2005)

² Online im Internet: URL: <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/01/07/01.htm> (Stand: 25.02.2005)

Insbesondere historische Datenbestände können durch die Integration in ein GIS in Wert gesetzt werden können [OTT, SWIACZNY 2000].

GIS kommen bereits in einer Vielzahl von Untersuchungen zur Kulturlandschaftsentwicklung zur Anwendung: nach NEUER [1998] beispielsweise als eine Art Instrument der Spurensicherung, als historisches Archiv oder als Prozess einer verbesserten, fundierten Entscheidungsfindung. Allerdings stellt PLÖGER [2003] fest, dass „zwischen den systemtechnischen Möglichkeiten und dem Stand ihres Einsatzes in konkreten Anwendungen (...) häufig noch ein Ungleichgewicht [besteht]“. Hemmende Faktoren sind insbesondere der große Aufwand und hohe Kosten für den Erwerb und die Erfassung von historischen Daten bzw. entsprechender Software, beispielsweise für die Digitalisierung und den Aufbau von Geo-Datenbanken.

Methodik

Grundsätzlich lassen sich zwei Hauptkategorien für die Herangehensweise beim Einsatz von GIS in der Kulturlandschaftsforschung identifizieren. Einerseits die Inventarisierung von Kulturlandschaftselementen [vgl. PLÖGER 2003; VETTER 2001; WAGNER 1999] sowie andererseits die Auswertung von Altkarten und die Analyse des Kulturlandschaftswandels durch den Vergleich von Zeitschnitten [vgl. BENDER, BÖHMER, JENS 2002; BUND 1998; MEINEL, NEUMANN 2003; NEUDECKER 2002; NEUER 1998; WITSCHAS 2002].

In den Untersuchungen wird der Vergleich von Zeitschnitten unterschiedlich gelöst. Teilweise werden Zeitschnitte einfach visuell überlagert und statistische Auswertungen der Flächenanteile der Nutzungen ausgewertet [vgl. MEINEL, NEUMANN 2003; NEUDECKER 2002; PRIVAT 1996] oder es erfolgt eine geometrische Verschneidung [vgl. BENDER, BÖHMER, JENS 2002; BUND 1998]. Zudem gibt es Projekte, in denen eine Inventarisierung kombiniert mit dem Vergleich von Zeitschnitten durchgeführt wird [vgl. NEUER 1998].

Die Modellierung der Kulturlandschaft erfolgt beispielsweise nach der Definition von BURGGRAAFF (vgl. Kap. 2.1.2) als Punkt-, Linien- und Flächenelemente [vgl. NEUDECKER 2002; NEUER 1998] oder aber vorwiegend flächenhaft [vgl. BENDER, BÖHMER, JENS 2002; MEINEL, NEUMANN 2003]. Die Verarbeitung der Daten kann in einem Rasterdatenmodell erfolgen [vgl. GÜNTER 1985] oder es findet eine Vektorisierung von Nutzungsflächen statt [vgl. BUND 1998; BENDER, BÖHMER, JENS 2002; NEUDECKER 2002; PRIVAT 1996; NEUER 1998; ROSNER (Hrsg.) 2000; WITSCHAS 2002].

Maßstabsebenen

Die verwendeten Datenquellen können bezüglich Maßstabsebene und Inhalt in drei Gruppen aufgeteilt werden: zum einen Satelliten- und Luftbilder [vgl. MEINEL, NEUMANN 2003; WITSCHAS 2002], zum anderen aktuelle topografische Karten [vgl. BUND 1998; NEUDECKER 2002; ROSNER (Hrsg.) 2000] und deren historische Vorläufer wie beispielsweise Messtischblätter [vgl. NEUDECKER 2002; ROSNER (Hrsg.) 2000; WITSCHAS 2002], Äquidistantenkarten und Meilenblätter [WITSCHAS 2002], und schließlich Flurkarten [BENDER BÖHMER, JENS 2002; ROSNER (Hrsg.) 2000].

Je kleiner der Kartenmaßstab ist, desto stärker ist die kartografische Darstellung der Gegebenheiten in der Realität generalisiert, d. h. vereinfacht, zusammengefasst und schematisiert. In einem GIS erfolgt die Speicherung von Geometriedaten theoretisch maßstabsunabhängig. Ein bestimmter Darstellungsmaßstab ergibt sich erst bei der Anzeige der Daten auf dem Bildschirm oder beim Erstellen und Ausdrucken von Karten. Von entscheidender Bedeutung für die Lagegenauigkeit, den Grad der Generalisierung der Daten sowie der zugewiesenen Bedeutungsinhalte ist der Erfassungsmaßstab der Geometriedaten, d. h. der Maßstab, in dem die Daten erstmals im GIS erfasst werden [PLÖGER 2003]. PLÖGER setzt die Maßstabsebenen räumlicher Betrachtung in Bezug zu den in der Geografie verwendeten Gliederungsebenen der Kulturlandschaft (s. Tab. 2.12).

Gliederungsebenen	Begriffe	Maßstäbe
Oberste Gliederungsebenen	Kulturlandschaftsräume	> 1:200.000
Mittlere Gliederungsebenen	Kulturlandschaftseinheiten	1:200.000 bis 1:25.000
Unterste Gliederungsebenen	Kulturlandschaftsbereiche Kulturlandschaftsbestandteile Kulturlandschaftselemente	1:25.000 bis 1:1.000

Tab. 2.12: Kulturlandschaftliche Gliederungsebenen,
Quelle: nach PLÖGER 2003

Die meisten Untersuchungen haben Kulturlandschaftselemente zum Gegenstand und bewegen sich daher auf der untersten Gliederungsebene, hier allerdings am oberen maßstäblichen Rand von 1:20.000 bis 1:25.000 [LANGE 2002a; vgl. die Untersuchungen von MEINEL, NEUMANN 2003; NEUDECKER 2002; PLÖGER 1998; WEISER 1996; WITSCHAS 2002].

Ein großmaßstäbiger Ansatz wird im Projekt KGIS [vgl. BENDER, BÖHMER, JENS [2002] u. [2003]; BENDER, JENS 2001] zur Modellierung der Kulturlandschaft unter Verwendung von Flurkarten im Maßstab 1:5.000 verfolgt mit dem Ziel der Entwicklung einer hochauflösenden Methode zur exakten Bilanzierung und Analyse von Nutzungsänderungen in der Mitteleuropäischen Kulturlandschaft. Dieser Ansatz ermöglicht nach BENDER, BÖHMER, JENS [2002] gegenüber einer kleinmaßstäbigeren Betrachtungsweise eine höhere inhaltliche Auflösung, d. h. die Identifikation einer größeren Anzahl von Landnutzungen und die Erfassung auch kleinerer Flächen¹. Laut BENDER, BÖHMER, JENS [2002] ist „ihrem Inhalt nach (...) die TK erfahrungsgemäß nur dazu geeignet, einen regionalen Überblick hinsichtlich der Siedlungsausdehnung und Entwicklung des Verkehrsnetzes bzw. des Wandels im Wald-Offenland-Verhältnis zu geben“. Die Flurkarten sind von einer größeren geometrischen Genauigkeit (der mittlere Koordinatenfehler wird mit +/- 0,5 m bis 1,5 m angegeben). Die topografischen Karten hingegen weisen einen mittleren Koordinatenfehler von ca. +/- 3 m bis 15 m auf. Durch den Einsatz der Flurkarten kann daher eine parzellenscharfe Analyse der historischen Landschaftsstruktur über einen längeren Zeitraum (seit Beginn des 19. Jahrhunderts) erfolgen. Topografische Karten (vorher: „Positionsblätter“) liegen in Bayern erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts vor [BENDER, BÖHMER, JENS 2002].

Gegenüber einer kleinmaßstäbigeren Betrachtung bedeutet der großmaßstäbige Ansatz einen erheblich größeren Aufwand bei der Vektorisierung der Daten. Ein Vorteil ist jedoch durch Verwendung des Betrachtungsmaßstabs 1:5.000 in der verbesserten Integration der Ergebnisse der Untersuchungen in die kommunale Fachplanung der untersten Ebene zu sehen.

2.3.8.4 Archäologische GIS

In der Archäologie werden bereits seit einigen Jahrzehnten digitale Erfassungsmethoden und Auswertesysteme eingesetzt. Früheste Ansätze befassten sich mit der Modellierung und Rekonstruktion von Geländeoberflächen mittels photogrammetrischer Methoden und ihrer kartografischen Darstellung. Die dreidimensionale Modellierung von komplexen Objekten und Prozessen wurde dabei stetig durch neue Möglichkeiten der Visualisierung, Animation, Virtual Reality und der Bearbeitung in GIS verbessert. Zur Datenerfassung werden Verfahren der terrestrischen Photogrammetrie, der Fernerkundung und der Luftbild-Photogrammetrie, der Tachymetrie und des Laserscannings eingesetzt.

Die Datenbearbeitung erfolgt dem jeweiligen Bearbeitungsschritt entsprechend in speziellen Softwaremodulen. Zunehmend werden die aufbereiteten Daten in GIS über Schnittstellen zusammengefügt, mit Zeitstempeln versehen und layer-basiert verwaltet. Gängige GIS-Software berücksichtigt dabei noch nicht die speziellen Anforderungen komplexer Daten in der Archäologie [HÄUBER, SCHÜTZ 2001a]. Vor allem die speziellen Anforderungen der Zeitdarstellung und -bewertung werden noch zu wenig be-

¹ In den TK 25 werden nur solche Flächen als Vegetationsflächen erfasst, die größer als 1 ha sind, kleinere Flächen werden nach Ähnlichkeit einer angrenzenden Fläche zugeschlagen.

rücksichtigt [vgl. CLAXTON 1995], es mangelt an durchgängigen objektbasierten Ansätzen [HOSSE 2005] und der Umgang mit Unsicherheit und Unschärfebegriffen [HARRIS, LOCK 1995] ist noch zu wenig untersucht. Beispielsweise müssen in Ermangelung verlässlicher Zeitangaben zur Rekonstruktion der Chronologie anhand kultureller Charakteristika Epochen definiert werden, die sich voneinander abgrenzen lassen.

GIS-Lösungen beruhen in der Archäologie meist auf dem Snapshot-Modell und einer Datenhaltung in RDBMS [vgl. HARRIS 2002]. Einzelne Forschungsprojekte untersuchen die Datenhaltung im ORDBMS Oracle [z. B. LAMBERS 2004; LAMBERS, SAUERBIER 2003]

Einige Städte und Länder in Deutschland, die auf eine reiche geschichtliche Entwicklung zurückblicken, haben in den letzten Jahren begonnen, großflächig Informationen zum archäologischen Erbe auf digitaler Kartenbasis zusammenzuführen. Ziel des GIS-Einsatzes ist es dort, die Dokumentation und effektive Recherche der bekannten archäologischen Denkmalflächen zu verbessern und damit eine bessere Wahrnehmung der Aufgaben in der Bodendenkmalpflege, Forschung sowie Stadt und Landentwicklung zu ermöglichen. Es werden zunehmend Denkmalflächen und archäologische Fachdaten im Internet (teilweise nur nach Authentifizierung) verfügbar gemacht, um einen flexiblen Zugriff darauf zu ermöglichen (vgl. Archäologischer Schichtenatlas Köln, Archäologisches Informationssystem Soest und Weltkulturerbestadt Bamberg in GIS).

Neben der Bereitstellung der archäologischen Daten ist dabei auch die Überlagerung mit aktuellen Geobasisdaten oder auch die Verschneidung mit Fachdaten anderer Anbieter interessant. Die Integration solcher Fremddaten ist normalerweise mit großem Aufwand (Beschaffung, Konvertierung, Laufendhaltung, ...) verbunden. Beispielsweise können mit einem OGC-konformen Web Map Service verteilte Datenbestände verschiedener Anbieter überlagert werden und erlauben damit in großem Maße den Zugriff über das Internet auf die gewünschte Information (vgl. Dokumentations- und Informationssystem Archäologie (DIA) in Sachsen¹). Bezüglich der temporalen und räumlichen Auswertungen sind dabei jedoch Grenzen gesetzt (vgl. Kap. 2.3.6.4).

2.3.9 Defizite und Forschungsbedarf

Aus der Beurteilung der Anforderungs- und Ist-Analyse mit dem Stand der Technik in Anwendungen mit historischem Bezug lassen sich zusammenfassend folgende Defizite zur Dokumentation und Auswertung vom kulturellen Erbe auf Basis von GIS erkennen.

1. *Projektbezogene Vorgehensweise*

Die meisten Ansätze zur Vermittlung des kulturellen Erbes haben derzeit noch „Projektcharakter“ und beschäftigen sich mit der genauen Erfassung und Darstellung des betrachteten Objekts oder Ensembles als zeitlich begrenzten Vorgang und zur fachübergreifenden Zusammenschau. Eine Fortführung der Daten findet in diesen Projekten nicht statt. Es kommen aufgrund des begrenzten Budgets und dem nur gering benötigten Know-How für Administration und Bedienung überwiegend noch Desktop-GIS zum Einsatz. Ein GIS zur langfristigen Speicherung und Auswertung hat dagegen eine persistente Datenhaltung zum Ziel. Derartige Informationssysteme unterscheiden sich von einem GIS-Projekt durch den Aufbau einer Datenbasis, in der Qualitätsaspekte Vorrang haben, die Kontinuität über einen längeren Zeitraum gewährleistet sein muss und auch Aktualisierungen vorgenommen werden [vgl. SCHILCHER 2004; LOTHER 2003].

2. *Fehlende langfristig angelegte (Geo-)Informationssysteme*

Die digitalen Informationen zum kulturellen Erbe werden überall gewünscht, gesammelt und im Internet veröffentlicht. Datenbanken laufen zumeist auf Basis von MS–Access oder MS–Excel. GIS–Realisierungen sind der „Schritt, den alle Landesämter für Denkmalpflege anstreben, von dem aber die meisten

¹ Siehe Online im Internet: URL=<http://www.archsax.sachsen.de/projekte/gis/> (Stand: 25.02.2005)

weit entfernt sind. (...) In den meisten Fällen geht der Trend zu einer Zusammenarbeit mit den Landesvermessungsämtern im Rahmen der dort vorhandenen automatischen Liegenschaftskataster (...). Wenn in diesen Projekten nicht bald das kulturelle Erbe verzeichnet ist, wird es in Zukunft nur schwer sein, ihm Beachtung zu verschaffen. Eine Zusammenarbeit zwischen Vermessungsämtern und Denkmalämtern findet noch zu sehr nur auf kommunaler Ebene in Großstädten statt. Über eine systematische und flächendeckende Erfassung verfügt in Deutschland zurzeit nur das WafD¹ / NRW. Es betreibt eine Extranet-Anwendung auf ORACLE – Datenbank-Basis, die über das Web in html – Programmierung erfolgreich entwickelt und betrieben wird. Das Land Berlin hat seine Baudenkmäler in das digitale Liegenschaftskataster Berlin auf der Basis eines GIS kartiert, verfügt aber dort über wenig Hintergrundinformationen zu den Objekten. Das Land Bayern hat hier ein GIS–Pilotprojekt für eine Stadt erfolgreich beendet.“ [DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 2005].

In der Schweiz wurde ein Projekt zur elektronischen Erschließung der kulturellen Bestände des Bundes unter gemeinsamen Vorgehen von beteiligten Partnern aus der Denkmalpflege, von Bibliotheken, Museen und Archiven aufgrund der hohen kalkulierten Kosten teilweise zurückgestellt, um vertiefte Erkenntnisse zu gewinnen „...in der Frage, wer auf nationaler Ebene was in welcher Form sammelt, bewahrt und vermittelt (...) [und andererseits, um] eine strategische Informatikplanung [zur] Langzeitarchivierung von elektronischen digitalen Unterlagen (SIP–EDI) zu erarbeiten“ [BUNDESAMT FÜR KOMMUNIKATION (Hrsg.) 2003].

3. *Fehlende objektorientierte Methoden zur Dokumentation und Analyse von raum-zeitlichen Informationen*

Geodaten weisen überwiegend nicht nur einen räumlichen sondern auch einen zeitlichen Bezug auf. Dennoch sind konventionelle geografische Informationssysteme in der Regel als „statische“ GIS entstanden und berücksichtigen die Komplexität und Dynamik von Geoobjekten nicht ausreichend in ihren Datenmodellen und ihrer Funktionalität. Historische Anwendungen im Besonderen verlangen jedoch einen differenzierten Umgang mit der temporalen Komponente von Geoobjekten.

Während lange Zeit die getrennte Datenhaltung (Geometriedaten in Dateien und Sachdaten in RDBMS) in GIS üblich war, wird zunehmend auf integrierte Datenhaltung in einem RDBMS gesetzt (vgl. Abb. 2.2). Dies bedeutet bereits wesentliche Vorteile bezüglich der Datenintegrität und realitätsnahen Modellierung aller im GIS verwalteten Daten, erlegt aber im Gegensatz zu den zunehmend verfügbaren objektorientierten Datenbanktechnologien noch Einschränkungen auf. Aus Anwendersicht kann in diesem Fall der Sachdatenteil der komplexen Objekte der realen Welt ausschließlich in die einfache Struktur von Relationen in ein Datenbankmodell abgebildet werden und mit einem festen Umfang an Operationen des DBMS und der verfügbaren Abfragesprachen bearbeitet werden. Die Geometrien werden häufig noch in proprietären Strukturen des GIS in binärer Form² in der Datenbank abgelegt. Nur in Kombination mit der vom Hersteller bereitgestellten Middleware ist somit ein les- und schreibbarer Zugriff auf die Geometriedaten möglich.

Seit einiger Zeit bieten führende Datenbankhersteller in ihren ORDBMS auch die Möglichkeit zur Verwendung abstrakter Datentypen an. Die Zusammenarbeit mit GIS-Herstellern führte damit zur alternativen Speicherung der Geometriedaten in den jeweiligen angebotenen räumlichen Datentypen des ORDBMS. In herkömmlichen GIS und (O)RDBMS fehlen jedoch trotz der wesentlich verbesserten Zugriffsstrukturen für räumliche Daten noch standardisierte, temporale Methoden, die die Zeit nicht einfach nur als Attribute zur Ergänzung der räumlichen Eigenschaften betrachten. Vielmehr müssen auch weitergehende Aspekte der zeitlichen Eigenschaften in GIS (z. B. unterschiedliche temporale Ordnungen und Unschärfen von temporalen Daten) modelliert und abgebildet werden können.

¹ WafD: Westfälisches Amt für Denkmalpflege

² hierzu werden üblicherweise Binary Large Objects (BLOBs) verwendet, die für die Datenbank nicht weiter strukturierbare Daten enthalten.

2.4 Ziele und Lösungskonzept

In den vorausgehenden Kapiteln wurden grundlegende Anforderungen an ein temporales GIS für kulturelles Erbe aufgezeigt, die in die konzeptionelle Modellierung (s. Kap. 3) und exemplarische Implementierung (s. Kap. 4 und 5) in dieser Arbeit eingehen.

1. *Objektorientierte konzeptionelle Modellierung eines temporalen Datenmodells für kulturelles Erbe*

Der konzeptionelle Entwurf des Datenmodells für raum-zeitliche Geoobjekte des kulturellen Erbes erfolgt objektorientiert und unter besonderer Berücksichtigung von temporalen Anforderungen der Anwendung, d. h. unter Bildung von Objekten mit räumlichen, zeitlichen und thematischen Eigenschaften sowie der Beschreibung von Methoden.

2. *Objektorientierte Implementierung eines GIS für kulturelles Erbe*

Für die Umsetzung des erstellten objektorientierten temporalen Frameworks in eine GIS- und Datenbankumgebung gibt es verschiedene Möglichkeiten. In dieser Arbeit wurde ein möglichst durchgängiger objektorientierter (OO-)Ansatz auf der Basis von gebräuchlicher GIS- und Datenbank-Software in Kombination mit objektorientierten Programmiersprachen gewählt.

Mit der gängigen Funktionalität eines RDBMS könnte die objektbasierte Datenstruktur nur unzureichend umgesetzt werden und müsste mit Hilfe von zusätzlichen Zwischentabellen im logischen Modell erfolgen, um die flachen Strukturen in der Datenhaltung (vorgegeben durch die Normalformen) nachzubilden. Zudem können die Methoden der Objekte nicht direkt umgesetzt werden. Die Gruppe der OODBMS bieten hierfür zwar die erweiterte Funktionalität, sind aber am Markt nicht erfolgreich [GARCIA-MOLIN, ULLMAN, WIDOM 2002].

Die für diese Arbeit gewählte Alternative der ORDMBS verbindet die Vorteile objektorientierter Merkmale mit denen der bewährten RDBMS-Technologie. Durch die Unterstützung von abstrakten Datentypen und Vererbung ist das objektrelationale Schema sehr gut für die Speicherung und Analyse von raum-zeitlichen Daten geeignet.

Aber auch hier stößt man bei der Verwendung des temporalen objektrelationalen (OR-)Datenmodells in den meisten gängigen GIS-Umgebungen auf Schwierigkeiten. Fast alle kommerziellen GIS unterstützen heute die Datenbankanbindung an RDBMS, aber nicht für benutzerspezifische Zugriffe auf ORDBMS.

Für die Visualisierung von raum-zeitlichen Daten in einem OR-Schema gibt es daher wiederum zwei Vorgehensweisen. Eine Möglichkeit ist, OR-Tabellen in „flache“ relationale Views abzubilden und dann ausgehend vom GIS mit diesen Views anstatt der originalen OR-Objekte bzw. -Tabellen zu arbeiten. GIS müssen dann zusätzlich um Funktionalität erweitert werden, beispielsweise in Bezug auf die Editierung der raum-zeitlichen Daten oder zur Visualisierung der Historie eines zeitlichen Objektes. Der Vorteil eines OR-Schemas und die Anwendbarkeit von Methoden geht in diesem Fall bei der Datenmanipulation verloren.

Die andere (für diese Arbeit gewählte) Möglichkeit besteht in der direkten Kommunikation der objektorientierten Benutzeroberfläche mit dem ORDBMS und der objektorientierten Verwaltung der Objekte des kulturellen Erbes. Obwohl damit der Nachteil des hohen Aufwands der eigenen Programmierung besteht, ist hier wesentlich mehr Flexibilität für den Test und die Manipulation der komplexen raum-zeitlichen Daten gegeben (s. Abb. 2.20).

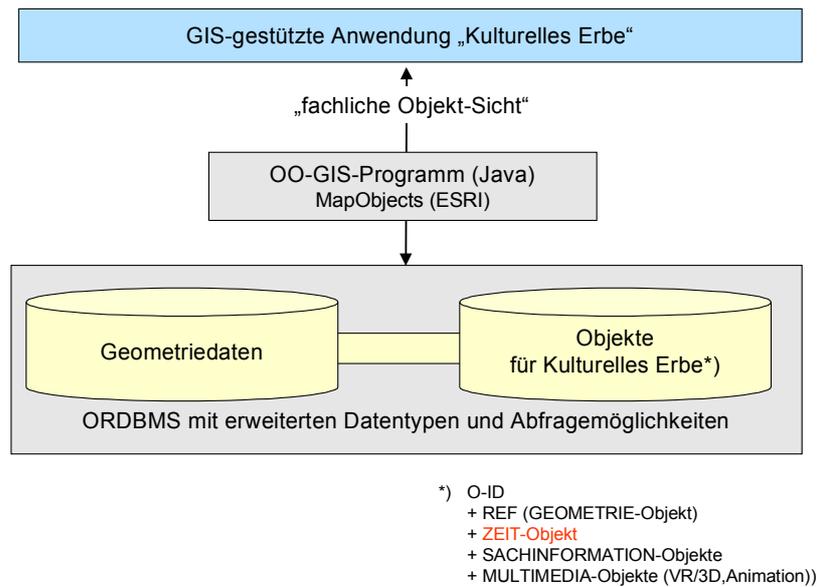


Abb. 2.20: Eigener objektorientierter Lösungsansatz für Test und Implementierung

3. Beitrag zur Einsetzbarkeit neuerer ORDBMS-Technologien in GIS-Umgebungen

Durch die exemplarische Implementierung soll ein Beitrag zur Einsetzbarkeit neuerer Technologien (objektorientierter Methoden in objektrelationalen Datenbanken) im Anwendungsfall „temporales GIS für kulturelles Erbe“ geleistet werden.

2.5 Projektgebiet „Oberes Achental“

Im Projektgebiet lässt sich eine reichhaltige Geschichte und historisch interessante Landschaft sowohl im Kulturbereich (Archäologie, Vor- und Frühgeschichte, Burgen und Schlösser, Kulturgeschichte, Volkskunde und Landwirtschaft, Heimat-, Tal- und Dorfgeschichte) als auch in der Kunstgeschichte und im Naturraum betrachten.

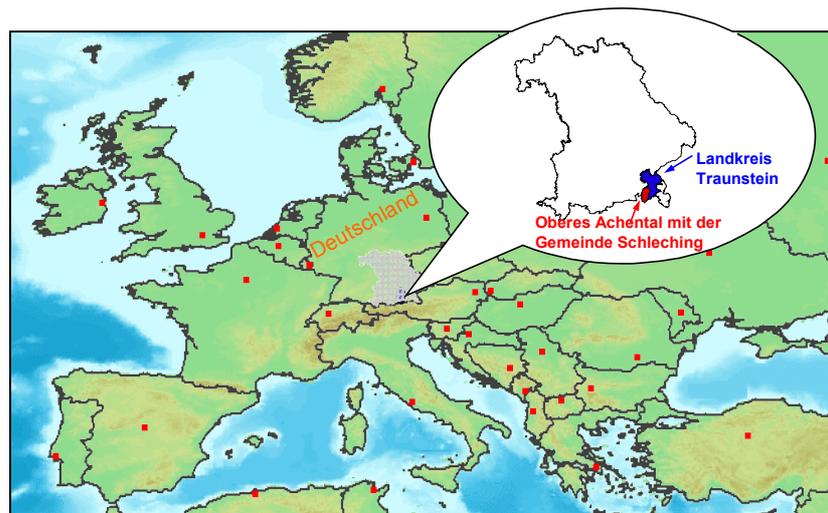


Abb. 2.21: Lage des Untersuchungsgebiets Oberes Achental

Lage

Das Projektgebiet der vorliegenden Arbeit liegt südlich des Chiemsee im Landkreis Traunstein, der im Südosten Oberbayerns an Österreich grenzt. Der Talraum des aufgeweiteten Oberen Achentals wird von bewaldeten Hügeln und Bergen sowie zahlreichen Almen gesäumt, verengt sich bei Marquartstein und wird wieder ganz weit, bevor die Tiroler Ache östlich von Übersee in den Chiemsee mündet. Eine de-

tailliertere Betrachtung und Datenerhebung konzentriert sich auf das Gebiet der Gemeinde Schleching und das Schlechinger Tal.

Da das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit auf den methodischen Untersuchungen liegt, werden die Geschichte sowie die naturräumlichen und wirtschaftlichen Gegebenheiten im Projektgebiet im Folgenden nur sehr kurz dargestellt.

Naturräumliche und wirtschaftliche Faktoren

Das Projektgebiet liegt in den Chiemgauer Voralpen, an die sich im Süden die nördlichen Kalkalpen und im Norden ein voralpines Hügel- und Moorland anschließen. Die Geomorphologie ist eiszeitlich geprägt, v. a. durch Chiemsee- und Salzachgletscher der Würmeiszeit [BONHAG 1985]. Die Böden bestehen aus Mergel, Lehm, Sand und Kies. Der Ort Schleching (570 m über N.N.) mit seinen Ortsteilen Raiten, Mettenham, Mühlau, Ettenhausen, Wagrain, Achberg und Streichen (800 m über N.N.) liegt auf sanft aufsteigenden Terrassen in der breiten Talfläche des Schlechinger Tals. Dieses durchfließt die Tiroler Ache als wichtigster Fluss der Chiemgauer Alpen, die am Pass Thurn südlich von Kitzbühel entspringt und in den Chiemsee mündet [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (Hrsg.) 2001].

Das Klima ist von den Alpen geprägt und weist recht hohe Niederschlagssummen auf. In der Vergangenheit trat die Tiroler Ache häufig über die Ufer. Daher wurden bereits früh Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasser ergriffen, u. a. wurden die Durchbruchstelle der Tiroler Ache, das so genannte Entenloch am Klobensteinpass durch eine Felssprengung in Jahr 1908 erweitert und später im Bereich des Schlechinger Tals Dämme und Verbauungen errichtet [IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003].

Im Talraum herrschen Grün- und Weideland vor, auf den Hügeln und Berghängen liegen die Gemeinschaftsalmen der Bauern, die als Reotalmen oder genossenschaftliche Eigentumsalmen bewirtschaftet werden. Die umliegenden Berghänge sind flächig bewaldet [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (Hrsg.) 2001; IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003].

Als ausgesprochen ländlich strukturiertes Gebiet bietet das Projektgebiet außer Land- und Forstwirtschaft sowie Tourismus wenig alternative Einkommensquellen. Ferien auf dem Bauernhof stellen für eine Reihe von Höfen einen Nebenverdienst dar [IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003]. Im Ökomodell Schlechinger Tal haben sich 1997 Bauern und Bürger mehrerer Gemeinden des Achentals zusammengeschlossen, um eine umweltverträgliche nachhaltige Gemeinde- und Landschaftsentwicklung zu verwirklichen. Mit Mitteln der Europäischen Union und des Freistaates Bayern wird grenzüberschreitend mit den österreichischen Nachbargemeinden Kössen und Schwendt die Erhaltung der Kulturlandschaft, die Sicherung der landwirtschaftlichen Betriebe und ein naturschonender sanfter Tourismus gefördert. Die Gemeinde Schleching wurde für ihre diesbezüglichen Erfolge bereits mehrfach mit Umweltpreisen ausgezeichnet¹.

Kurzer Abriss der Geschichte

Funde am Streichen aus der späten Bronzezeit, der so genannten Urnenfelderzeit um 1000-800 v. Chr., und Funde in Ettenhausen aus der Hallstattzeit um 900-450 v. Chr. sowie Flurnamen keltischen Ursprungs deuten auf die Nutzung der höher gelegenen Gebiete des Schlechinger Tals als Übergänge bzw. vereinzelt Siedlungsplätze bereits zur Zeit der Illyrer und Kelten hin [RIHL 2003]. Das Schlechinger Tal zählt zu den frühesten Siedlungsräumen in den Chiemgaubergen und ist dauerhaft seit nachrömischer Zeit im 8./9. Jahrhundert besiedelt. Es bildet seit dem Mittelalter mit seinen drei Kirchen Schleching, Raiten und Streichen einen eigenen Kooperationsbezirk der Großpfarrei Grassau und wurde endgültig mit der Säkularisation 1803 der Erzdiözese München und Freising zugeteilt. Vom 13. Jahrhundert bis zur Säkularisation unterstand das Gebiet dem herzoglichen bzw. kurfürstlichen Pfliegergericht Marquartstein, danach wurde es dem Landgericht Traunstein angegliedert. Für die Bauern endete Anfang des 18. Jahr-

¹ Online im Internet: URL= <http://www.schleching.de> (Stand 10.02.2005)

hunderts die Grundherrschaft des Herzogs von Bayern und der Kirche [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (Hrsg.) 2001].

Seit dem Mittelalter transportierten die Bewohner des Oberen Achantals als so genannte Samer Waren wie beispielsweise Wein aus dem Süden und Salz aus dem Norden auf alten Handelswegen (Saumwegen) beiderseits der Ache mit Rössern und Kraxen über die Berge. Bis Ende des 19. Jahrhunderts betrieben sie Kohlenmeiler und Kalköfen [IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003]. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte ein landwirtschaftlicher Strukturwandel ein und es wurde damit begonnen, das Gebiet touristisch zu nutzen. Erste Ski-Aktivitäten wurden Anfang des 20. Jahrhunderts beobachtet. 1860 bis 1885 wurde die Eisenbahnlinie München-Salzburg gebaut, 1920 folgte die Elektrifizierung Schlechings und 1968 wurde die Geigelsteinbahn in Betrieb genommen [IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003].

Die administrativen Grenzen im Schlechinger Tal änderten sich während der vergangenen 200 Jahre mehrmals: 1808 wurden neue Steuerdistrikte gebildet, aus denen 1818 die Steuergemeinden Schleching mit Marquartstein und Ettenhausen sowie Unterwössen mit den Orten Achberg und Streichen hervorgingen. 1938 verlor Schleching die Weiler zwischen Raiten und Marquartstein durch die Bildung der Gemeinde Marquartstein. Im Zuge der Bildung der Verwaltungsgemeinschaft Achantal im Jahr 1976 mit der Gemeinde Unterwössen wurden Schleching die Ortsteile Achberg, Streichen und Wagrain zugeteilt. Diese blieben der Gemeinde Schleching erhalten als die Verwaltungsgemeinschaft 1979 wieder aufgelöst wurde [IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003].

Die historische Siedlungsstruktur des Ortes Schleching zeigt im 19. Jahrhundert ein um die Kirche angeordnetes, geschlossenes Dorf mit umliegender Gewannflur. In diesem Zeitraum traten bezüglich der Siedlungsstruktur wenige Veränderungen ein, beispielsweise kam zwischen 1810 und 1855 nur das Forsthaus hinzu [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (Hrsg.) 2001]. Die Einwohnerzahl der Gemeinde Schleching erhöhte sich von 655 im Jahr 1855 nur auf 834 im Jahr 1941. Erst in der Nachkriegszeit stieg die Einwohnerzahl an, sank aber bis 1965 wieder auf 1200. Im Jahr 1973 wurden 1533 Einwohner gezählt. In der Folgezeit wurde Schleching zu einem beliebten Ort für Zweitwohnungen, so dass das Verhältnis der Personen mit Nebenwohnsitz zu denen mit einem Hauptwohnsitz deutlich angestiegen ist. 1980 hatten bereits 210 und 2001 500 Personen ihren Nebenwohnsitz in Schleching, bei einer Zahl von ca. 1800 im Jahr 2003 mit Hauptwohnsitz [RIHL 2003]. Die Siedlungsstruktur und -fläche hat sich in dieser Zeit vergleichsweise stark verändert (s. Kap. 5.1).

Kapitel 3 Objektorientierte Modellierung eines temporalen GIS für kulturelles Erbe

Die Anforderungsanalyse für ein temporales GIS für kulturelles Erbe mit der Bestandsaufnahme verfügbarer Datenquellen (vgl. Kap. 2.2) und die Analyse der Ist-Situation der Integration von Zeit in GIS (vgl. Kap. 2.3) flossen in einen objektorientierten (OO-) Modellierungsprozess ein.

Aus Sicht der Informatik ist die Modellierung die erste von vier Phasen im Lebenszyklus eines Datenbankentwurfs. Nach der Modellierung folgt die Implementierung, dann die Testphase und schließlich der Betrieb der Datenbank. In der Testphase können Entwurfsfehler entdeckt werden, die dann einen Rücksprung in frühere Phasen des Lebenszyklus zur Folge haben können. Um die dadurch entstehenden Kosten zu minimieren, ist es wichtig, jede einzelne Phase im Datenbankentwurf sorgfältig durchzuführen [HOSSE, ROSCHLAUB 1998].

In GIS-Forschungs- und Entwicklungsprojekten wird zunehmend das modellierungsstarke Paradigma der Objektorientierung eingesetzt, da bisherige GIS und RDBMS noch unzureichende Mittel zur Verwaltung temporaler Daten besitzen. Der objektorientierte Ansatz erlaubt es, die verschiedenen Aspekte eines Geoobjektes inklusive der temporalen Eigenschaften durchgängig als eigene Klassen zu modellieren und diese miteinander in Beziehung zu setzen.

Als klassisches Modellierungswerkzeug für die objektorientierte konzeptionelle Modellierung von Objekten, Eigenschaften, Beziehungen und Methoden wird im GIS-Bereich in der Regel die Unified Modeling Language (UML) eingesetzt (s. Kap. 3.3). Sie kann auch für die beschriebene Anwendung eingesetzt werden, da sie eine große Anzahl von Strukturelementen aufweist, die sowohl für die Modellierung statischer als auch dynamischer Aspekte geeignet sind. Zur Beschreibung verteilter, dynamischer Prozesse werden in anderen Bereichen häufig auch andere Sprachen eingesetzt, die spezielle Konstrukte für temporale Eigenschaften und Vorgänge anbieten, beispielsweise die in der Simulations- und Prozessmodellierung gebräuchlichen Petri-Netze [s. BAUMGARTEN 1996].

Trotz der großen Bedeutung von raum-zeitlichen Fragestellungen für historische Anwendungen wurden in der Literatur bisher nur vereinzelt temporale OR-Modelle mit Implementierungen für GIS vorgestellt. Möglichkeiten für temporale Modelle für 2D-GIS zeigen u. a. LANGRAN [1992], WORBOYS [1992], WACHOWICZ [1999]. Möglichkeiten für temporale 3D-GIS zeigen beispielsweise ZIPF u. KRÜGER [2001].

3.1 Grundlagen der Modellierung

In einem GIS wird die reale Welt modellhaft abgebildet, d. h. ihre Komplexität wird reduziert und abstrahiert, so dass sie in einem GIS verwaltet werden kann. Das dabei eingesetzte Datenmodell „ist das Ergebnis eines Modellierungsprozesses, bei dem der betrachtete Ausschnitt der realen Welt unter Einsatz bestimmter Techniken und Methoden auf systematische Art und Weise strukturiert und beschrieben wird. Das Ziel ist dabei, eine für die jeweilige Anwendung optimale Funktionalität zu gewährleisten“ [SCHILCHER 2004a].

Dieser Modellierungsprozess läuft üblicherweise in verschiedenen Schritten ab (s. Abb. 3.1). Die Datenmodellierung beginnt mit der Wahl eines Ausschnittes der realen Welt und seiner Erfassung. Im Fall eines temporalen GIS ist dieser Ausschnitt nicht nur durch räumliche Koordinaten bestimmt, sondern

auch durch zeitliche Eigenschaften, z. B. über den Zeitraum der geschichtlichen Vergangenheit festgelegt.

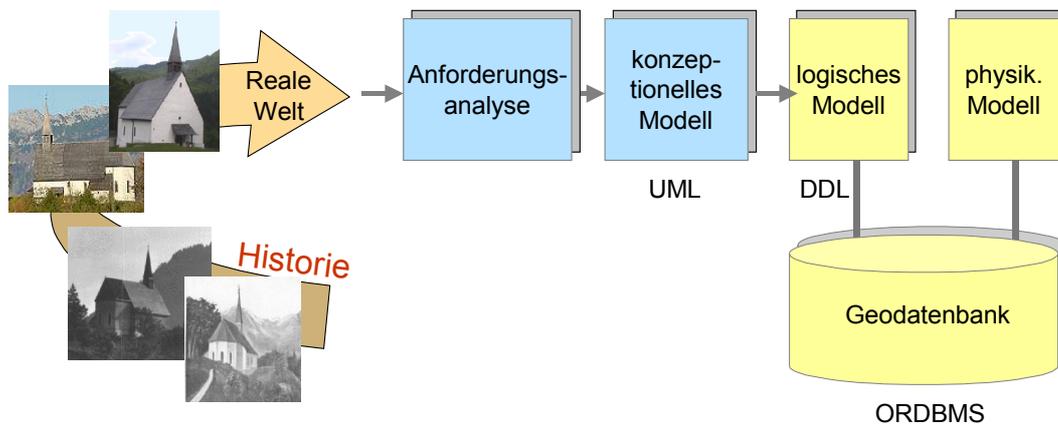


Abb. 3.1: Modellierungsprozess von der realen Welt in eine Geodatenbank, Quelle: HOSSE, SCHILCHER 2003

Im konzeptionellen Modell wird entschieden, welche Informationen im Hinblick auf die vorgegebene Fragestellung notwendig sind, d. h. welche Entitäten, also Elemente der realen Welt, die durch ihre Charakteristik von anderen Elementen unterschieden werden können, durch welche Objekte mit welchen Attributen (Eigenschaften) und welchen Beziehungen im GIS repräsentiert werden sollen [BARTELME 2000; Schilcher 2004a].

Jedes Objekt wird räumlich durch eine Geometrie repräsentiert, die durch die Position und die Form des Objektes sowie eine Topologie definiert wird [OTT, SWIACZNY 2001]. In dieser geometrischen Konzeptionierung müssen Entscheidungen getroffen werden, welchen Raumbezug die Daten haben, wie viele geometrische Dimensionen berücksichtigt werden (vgl. Kap. 2.3.3), ob die Objekte in einem Raster- oder einem Vektordatenmodell abgebildet werden und welche topologischen, also nichtmetrischen und strukturellen Beziehungen zwischen den Geometrieelementen im Raum [BILL 1999] bestehen. In einem Vektordatenmodell werden die Objekte durch die grafischen Grundelemente Punkt, Linie und Fläche (Polygon) beschrieben. Die Punkte bilden die Basis, aus denen die höheren Strukturen Linie und Fläche formiert werden [BARTELME 2000; BILL 1999].

Die Aufgabe der topologischen Konzeptionierung ist es, topologische Invarianten zu bestimmen, wie Geschlossenheit, Schnittpunkttreue, Trennung zwischen Innen und Außen sowie Randpunkteigenschaften. Eine einfache topologische Struktur ist die „Knoten-Kanten- („Arc-Node“) Topologie“, bei der eine Linie zur Kante wird, wenn sie zwei Knoten (Punkte) verbindet. Diese Knoten bezeichnet man dann als adjazent. Mehrere Kanten, die in einem Knoten enden, sind miteinander inzident [BARTELME 2000]. Die Kante „weiß“ sozusagen, in welchen Knoten sie anfängt und endet. Analog „weiß“ ein Polygon in einer „Polygon-Arc-Topologie“, aus welchen Linien es besteht [LITSCHKO 1999]. In einem GIS können durch topologische Modellierung Nachbarschaftsbeziehungen und Konsistenzbedingungen festgelegt werden, die dann auch überprüfbar sind [vgl. BILL 1999].

In der thematischen Konzeptionierung wird schließlich die semantische Bedeutung von GIS-Objekten beschrieben. Den GIS-Objekten werden Attribute zugewiesen und sie können in verschiedene Objektklassen eingeteilt werden, die auch hierarchisch strukturiert sein können (Objektklassenprinzip) [BILL 1999].

Anschließend an diesen konzeptionellen Modellierungsprozess folgt die Systemwahl, mit der die verwendeten Computersysteme und -programme, beispielsweise das GIS oder das Datenbanksystem festgelegt werden. Als Vorgabe für die Systemwahl stehen der Anwendungsfall und das konzeptionelle Modell. Aus dem konzeptionellen Modell wird unter Beachtung der Besonderheiten der gewählten Compu-

terprogramme ein logisches Modell entwickelt, das in den entsprechenden Computer- und Datenbanksystemen implementiert werden kann

Durch die logische Modellierung wird festgelegt, wie die durch das konzeptionelle Modell strukturierten Daten mit Hilfe eines Datenbankmanagementsystems (DBMS) in einer Datenbank abgebildet werden. Der erste Schritt hierbei ist oft der Entwurf eines Entitäten-Relationenmodells („Entity-Relationship Model“), in dem die Entitäten, die Relationen (Beziehungen) zwischen diesen und die Attribute der Entitäten und Relationen abgebildet werden [vgl. BARTELME 2000; BILL 1999]. Dieses Modell wird anschließend in ein Datenbankmodell umgesetzt, welches beispielsweise relational, objektrelational (OR) oder objektorientiert (OO) strukturiert sein kann.

In einem relationalen Datenbankmanagementsystem (RDBMS) werden einfache Tabellen aufgebaut, in denen Daten und Beziehungen gleichberechtigt abgelegt werden. Die Tabellen bestehen aus Spalten (Domänen) und Zeilen (Tupel), auf die über die Spaltennamen bzw. Primärschlüssel zugegriffen werden kann. Hierbei werden GIS unterschieden in solche mit getrennter bzw. integrierter Datenhaltung [SCHILCHER 2002]. In ersteren werden die Geometriedaten in Grafik- bzw. Bilddateien und die Attributdaten getrennt davon in einem RDBMS gespeichert und über gemeinsame Identifikationsschlüssel (ID) verknüpft. Dies ist ein häufiger Ansatz eines layer-orientierten GIS. Bei einem integrierten Ansatz werden Geometriedaten und Attributdaten gemeinsam in einem DBMS gespeichert und verwaltet; diese Form wird auch pseudo-objektorientiert genannt [OTT, SWIACZNY 2001; LITSCHKO 1999].

In einem OODBMS entstehen durch Kapselung „echte“ Objekte, die aus einem Datensatz und den auf diesen anwendbaren Methoden bestehen (vgl. Kap. 3.2ff). Hierarchisch zusammengesetzte Objekte (Vererbung) sind ebenso möglich wie benutzerdefinierte Datentypen.

ORDBMS sind eine Weiterentwicklung des relationalen Ansatzes, die bestimmte Konzepte der Objektorientierung, wie Raum bezogene Objekte (Punkt, Linie, Fläche), komplexe Objekte oder Vererbung berücksichtigen [BILL 1999a; BILL, ZEHNER 2001].

Das physikalische Modell schließlich legt fest, wie die Strukturen des logischen Modells auf die physischen Speichermedien abgebildet werden [BARTELME 2000]. Der Anwender hat darauf in der Regel keine oder nur wenig Einflussmöglichkeiten, da die Art der Speicherung vom verwendeten DBMS proprietär vorgegeben wird.

3.2 Objektorientierte Modellierung

In der Theorie der objektorientierten (OO)- Modellierung steht das Objekt im Mittelpunkt. Ein Objekt besteht aus Daten und ausführbaren Funktionen (in der OO-Modellierung Attribute und Methoden genannt) und ist durch eine eindeutige Objektidentität gekennzeichnet. Diese Eindeutigkeit besteht auch, wenn andere Objekte die gleichen Eigenschaften, wie z. B. Attributwerte aufweisen. Mehrere Objekte mit gleichem Aufbau von Attributen und Methoden werden zu Objektklassen zusammengefasst, wobei dann die Realisierung eines Objekts als Instanz einer Objektklasse bezeichnet wird.

Durch das Prinzip der Vererbung (engl. inheritance) in hierarchischen Objektklassenmodellen erhält ein Objekt neben den Attributen und Methoden der eigenen Klasse (= Sub-Klasse) auch alle Attribute und Methoden der übergeordneten Super-Klassen und kann letztere durch eigene erweitern oder falls nötig überschreiben. Hierdurch wird ein hierarchischer Aufbau des Klassensystems ermöglicht, und die Entwicklung neuer Klassen vereinfacht, da auf bereits erprobte Implementierungen zurückgegriffen werden kann.

Betrachtet man die Beziehung zwischen den an der Vererbung beteiligten Objektklassen, so spricht man aus Sicht der Super-Klasse auf die Sub-Klasse von einer Spezialisierung und in umgekehrter Richtung von einer Generalisierung. Als Mehrfachvererbung wird bezeichnet, wenn eine abgeleitete Klasse von mehreren Objektklassen erbt.

Aufgrund der Vererbung und der eventuellen Redefinition von Methoden innerhalb der Sub-Klassen, kann es mehrere Objektklassen geben, die eine bestimmte Methode ausführen können. Als Polymorphismus wird bezeichnet, wenn ein Objekt, das eine bestimmte Methode aufruft, nicht wissen muss, zu welcher Objektklasse das Objekt gehört, das die entsprechende Methode ausführen soll. Die Interpretation der auszuführenden Methode hängt hier von der Klasse des aufrufenden Objekts ab. Dieser Mechanismus hat zur Folge, dass bei der Übersetzung eines Programms die Klasse des Objektes, das die Methode ausführt, nicht bekannt sein muss, und daher die Methodenimplementation nicht festlegbar ist. Diese Entscheidung wird erst zur Laufzeit getroffen. Daher spricht man bei diesem Mechanismus von spätem oder dynamischem Binden (engl. late binding) [BURKHARDT 1999; HILLMANN 1994].

Beziehungen zwischen Objekten werden in der OO-Modellierung vor allem durch die Verwendung von Methoden zur Interaktion zwischen einzelnen Objekten dargestellt, im Gegensatz zur Verwendung von Fremdschlüsseln im relationalen Modell.

Bei den Datenbanken werden OO-Datenbanken vor allem zur persistenten, also dauerhaften Speicherung von Objekten aus Programmiersprachen der dritten Generation (3GL)¹ verwendet. Hierdurch wird das Problem umgangen, dass in einer relationalen Datenbank die vertikalen Datenstrukturen eines Objektes nur schwer, die Methoden wohl überhaupt nicht zu modellieren wären. Es würde also eine Trennung der Daten und Funktionen erfolgen, die aber dem Sinn des objektorientierten Designs (OOD) widerspricht [PLABST 2001; SCHILCHER 2004a].

OO-Konzepte werden nicht nur in der Modellierung verwendet, sondern spielen auch im Bereich der 3GL-Programmiersprachen eine sehr große Rolle. Bekannte Beispiele hierfür sind C++ oder Java.

3.3 Objektorientierte Modellierungssprache am Beispiel von UML

Die objektorientierte Modellierung wird mit Namen wie Booch, Rumbaugh und Jacobson verbunden [BOOCH 1991; RUMBAUGH, BLAHA, PREMERALI 1991; JACOBSON, CHRISTERSON, JONSSON u. a. 1992], deren unabhängig entwickelte Ansätze Anfang 1997 zur Unified Modeling Language (UML) zusammengeführt wurden [vgl. z. B. BURKHARDT 1999; FOWLER, SCOTT 2000]. Die UML erlaubt die objektorientierte Beschreibung von komplexen Modellen in grafischer Form. Die Notation unterstützt sowohl die Analyse als auch das Design der Modelle [QUATRANI 1998]. Inzwischen ist UML ein Standard der „Object Management Group“ (OMG) [OMG 2000]. Die Sprache verfügt über zahlreiche Konstrukte, wobei für die Modellierung in der vorliegenden Arbeit auf die Klassendiagramme zurückgegriffen wird.

Das UML-Klassendiagramm stellt Konstrukte zur Beschreibung von einzelnen Klassen mit ihren Attributen und Methoden sowie den Beziehungen zwischen den Klassen zur Verfügung. Eine Klasse wird durch drei Bereiche dargestellt, die den Klassennamen, den Namen der Attribute und die Namen der zugeordneten Methoden enthalten (s. Abb. 3.2).

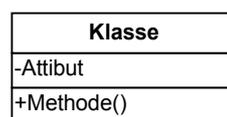


Abb. 3.2: Eine Klasse im UML-Klassendiagramm

¹ Programmiersprachen können in Generationen klassifiziert werden. Dabei wird die erste Generation durch den Maschinencode repräsentiert, die zweite durch Assembler, die dritte Generation 3GL durch ablauforientierte Programmiersprachen wie Basic, Cobol und Fortran und auch Hochsprachen wie C, C++, Java, die vierte Generation durch Software-Tools für CASE-Methoden und die fünfte durch Künstliche Intelligenz (KI-) Programmiersprachen. (Quelle: Siemens Communication Lexikon: http://www.networks.siemens.de/solutionprovider/_online_lexikon/indx0.htm (Stand : 24.03.2005))

Mehrere Klassen können untereinander Beziehungen (Assoziationen) haben. Zur Verfeinerung der Semantik können Kardinalitätsrestriktionen eingeführt werden, aus denen Minimum und Maximum einer Beziehung R zwischen zwei Klassen A und B abgeleitet werden können:

$$\text{kard}(R, A) = [\text{min1}, \text{max1}] \text{ und } \text{kard}(R, B) = [\text{min2}, \text{max2}]$$

Diese (min, max)-Notation sagt aus, mit wie vielen Beziehungen ein Objekt aus A oder B minimal in Beziehung stehen muss und maximal in Beziehung stehen kann. Für die Eckwerte von min und max gilt:

$$0 \leq \text{min} \leq \text{max}, \text{max} \geq 1$$

Außer der allgemeinen Form $[N, M]$ sind vier Grundtypen von Kardinalitätsrestriktionen möglich:

$$[0, 1], [0, N], [1, 1] \text{ und } [1, N]$$

In Abb. 3.3 ist eine „1-zu-N“-Beziehung dargestellt:

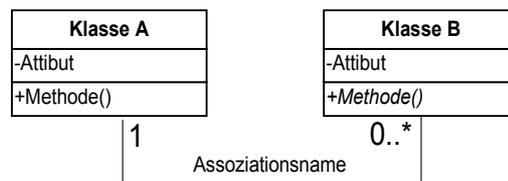


Abb. 3.3: Eine Assoziation im UML-Klassendiagramm

Während bei der Assoziation die Objekte der beteiligten Klassen unabhängig voneinander existieren, sind die Aggregation und die Komposition spezielle Arten von Beziehungen (s. Abb. 3.4), die die „Stärke“ der Beziehung festlegen und gerichtet sind [GNÄGI, SPÄNI 2002]. Die Aggregation bringt eine „Part-of“-Beziehung zum Ausdruck, also dass ein Objekt (z. B. von C) aus anderen Objekten (z. B. von B) besteht, jedoch ohne zusätzliche Semantik einzubringen oder dem Objekt und seinen Bestandteilen Einschränkungen aufzuerlegen. Wird ein Objekt von C kopiert, müssen die Objekte von B mitkopiert werden, wird ein Objekt aus C gelöscht, dann können seine Teile aus B weiter existieren.

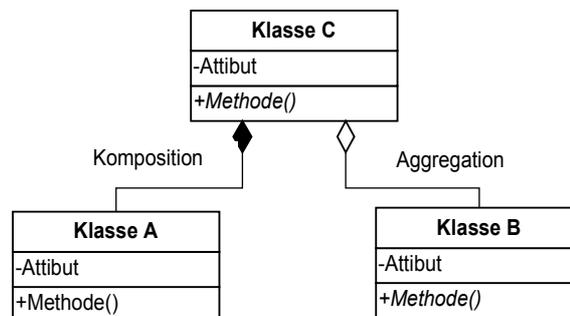


Abb. 3.4: Aggregation und Komposition im UML-Klassendiagramm

Die Komposition hingegen bringt in der Form Einschränkungen mit, dass ein Objekt (z. B. von A), das an dieser Komposition teilnimmt, nur für die Lebenszeit des „Gesamt“-Objektes (z. B. von C) existiert. Sowohl die Aggregation als auch die Komposition besitzen Kardinalitäten.

Als grundlegendes Hilfsmittel der OO-Modellierung zählt auch in UML die Vererbung (s. Abb. 3.5). Sie erlaubt die Übertragung von Methoden und Attributen von einer Super-Klasse auf eine oder mehrere Sub-Klassen, die dann die übertragenen Eigenschaften benutzen können, sowie deren Anpassung an lokale Besonderheiten durch Spezialisierung. Der Pfeil weist im UML-Diagramm auf die Super-Klasse. Eine Super-Klasse kann ihre Eigenschaften auf beliebig viele Sub-Klassen vererben, so wie eine Sub-Klasse von beliebig vielen Super-Klassen erben kann (Mehrfachvererbung).

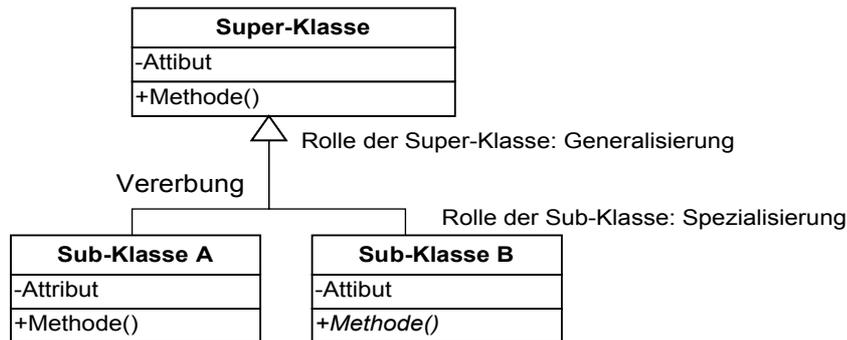


Abb. 3.5: Vererbung im UML-Klassendiagramm

Der Modellierungsprozess wird in der Praxis durch UML-Editoren erleichtert, die es erlauben, aus der UML-Grafik direkt ein konzeptionelles Schema in Form eines Textes zu generieren. Besondere Vorteile lexikalischer konzeptioneller Beschreibungssprachen sind nach GNÄGI und SPÄNI [2002] die automatische Prüfung der Datenmodelle auf syntaktische Richtigkeit sowie die einfache Möglichkeit zur Anbindung verschiedener Dienste (z. B. die automatische Erzeugung eines passenden Transferformats mit XML¹-Schema).

3.4 Objektorientiertes konzeptionelles Datenmodell für kulturelles Erbe

In diesem Kapitel erfolgt die Darstellung des konzeptionellen Modells als Ergebnis des Modellierungsprozesses anhand der formalen Beschreibung durch das konzeptionelle Schema.

3.4.1 Basismodell

In der folgenden Abb. 3.6 ist ein Ausschnitt aus dem UML-Klassendiagramm des Datenmodells für ein temporales GIS abgebildet. Hier ist berücksichtigt, dass ein Objekt „**Kulturerbe**“ sowohl thematische, räumliche sowie differenzierte zeitliche Bestandteile haben kann, die jeweils in eigenen Klassen modelliert werden.

Die Klasse **Zeit** (vgl. Kap. 3.4.4) besteht u. a. aus abstrakten Datentypen und bietet die Möglichkeit, Zeitpunkte und –räume mit unterschiedlicher Unschärfe zu unterscheiden und miteinander zu kombinieren. Beispielsweise könnte eine Speicherung als Snapshot erfolgen oder eine Entwicklung über größere Zeiträume hinweg betrachtet werden. Dabei kann erfasst werden, dass die Grenzen einer Zeitspanne unsicher sind oder aber auch absichtlich offen bleiben können, z. B. wenn eine Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist.

Die Geometrie der Kulturerbe-Objekte wird in der Klasse **Raum** je nach gewünschter Datenhaltung modelliert. Eine Variante besteht darin, im Datenmodell auf den Datentyp “Geometrie” zurückzugreifen, der beispielsweise in Oracle 8i in Verbindung mit der Spatial Cartridge bzw. in Oracle 9i mit Oracle Spatial vorhanden ist. Mit Hilfe dieses Datentyps wird die Verbindung zwischen dem Datenbankmodell und dem GIS hergestellt. Insbesondere GIS der führenden Hersteller im Geoinformationsmarkt erlauben den direkten Zugriff auf den Oracle-Datentyp SDO_GEOMETRY zur Speicherung der Rauminformationen in der Datenbank. Dadurch ist auch gewährleistet, dass das Datenmodell von unterschiedlichen GIS verwendet werden kann. In der aktuellen Realisierung werden die Geometrieobjekte über die ArcSDE von ESRI angesprochen. (vgl. Kap. 4).

Aktuelle oder historische **Rasterkarten** können georeferenziert und mit Zeitbezug gespeichert werden sowie Bezüge zu Kulturerbe-Objekten beinhalten.

¹ XML: eXtensible Markup Language

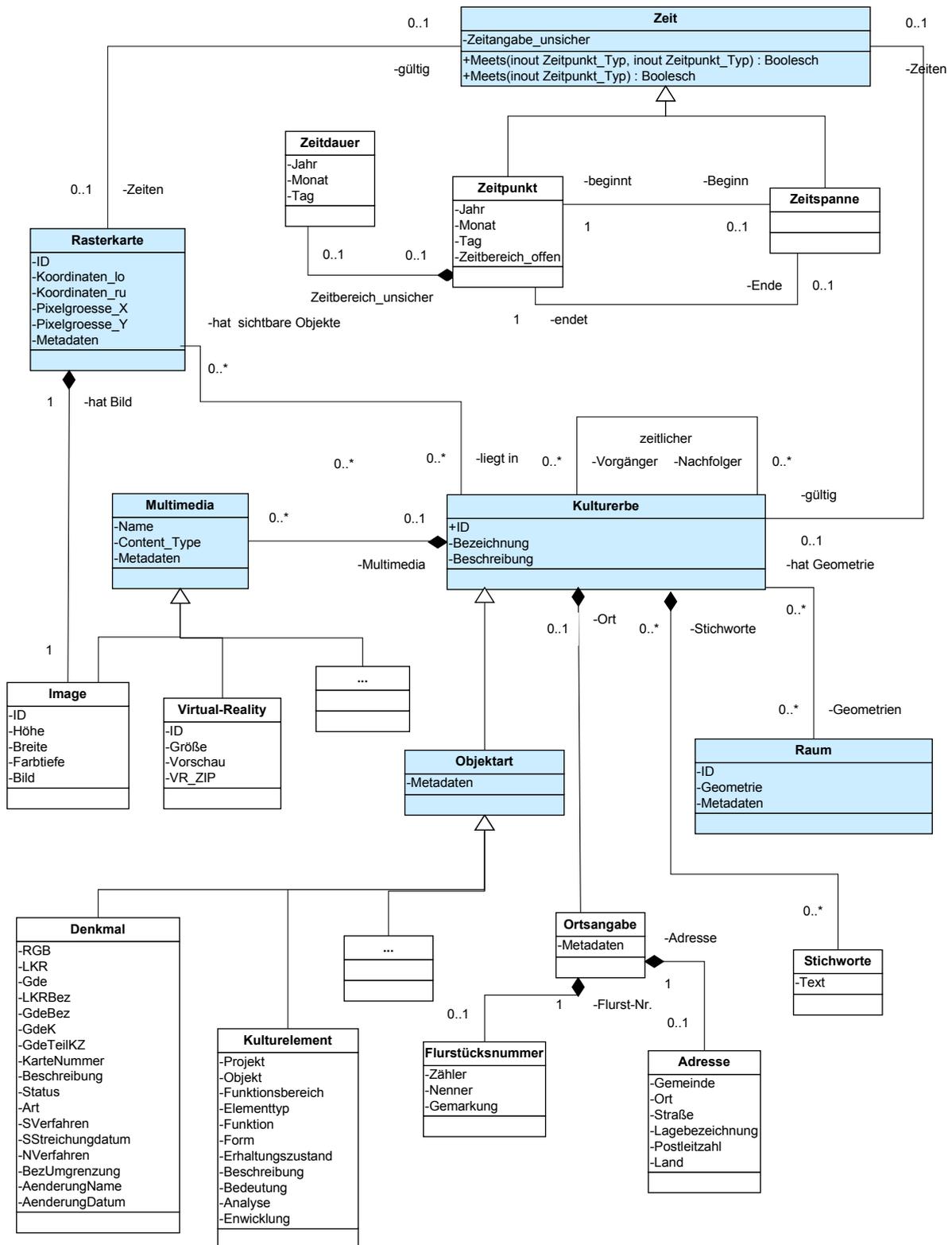


Abb. 3.6: UML-Klassendiagramm für kulturelles Erbe in einem temporalen GIS

Ein Kulturerbe-Objekt kann unterschiedlichen **Objektartenkatalogen** zugeordnet werden, z. B. der Kategorie „Denkmale“ oder „Elemente der historischen Kulturlandschaft“ [s. Anhang A). Zusätzlich sind verschiedene weitere Sachdaten im Modell vorgesehen, wie z. B. **Stichwörter** zum schnellen Durchsuchen des Datenbestandes sowie vom Objektartenkatalog unabhängige zusätzliche **Ortsangaben**. Auch können den Objekten beliebige weitere Multimediadaten, wie **Bilder** oder **Virtual-Reality-Szenen** zugeordnet werden.

3.4.2 Thematische Objekte

3.4.2.1 Objektartenkataloge

Kulturerbe-Objekte werden je nach Haupteinsatzzweck in verschiedenen Datenkatalogen, Listen und sonstigen Sammlungen von verschiedenen Institutionen und Personen erfasst. Die Zusammenführung dieser Datenbestände in einem GIS für kulturelles Erbe erfordert die Verwaltungsmöglichkeit verschiedener Objektartenkataloge und die Speicherung von beliebig aufgebauten Datenobjekten z. B. aus der Denkmalliste des Landesamtes für Denkmalpflege (vgl. Objektklasse DENKMAL in Abb. 3.6).

Die Abb. 3.7 zeigt den Objektartenkatalog zur historischen Kulturlandschaft aus einer Vorerhebung der Bayerischen Verwaltung für Ländliche Entwicklung im Rahmen von Flurneuordnungen und Dorferneuerung. Die Vorerhebung wurde auf analogen Datenblättern durchgeführt.

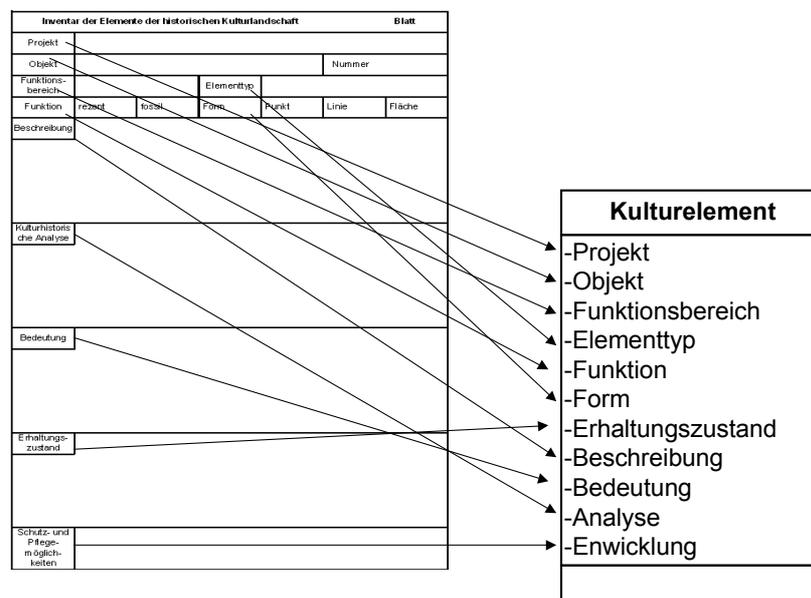


Abb. 3.7: Daten zur historischen Kulturlandschaft werden in „KULTURELEMENT“-Objekten erfasst

Weitere Objektartenkataloge können nach Bedarf ergänzt werden.

3.4.2.2 Stichworte und Ortsangaben

Die Erfassung der Stichworte kommt dem von mehreren Seiten geäußerten Wunsch nach, ein Objekt verschiedenen Kategorien zuordnen zu können. Beispielsweise soll ein Objekt für eine bestimmte Kategorie (z. B. Sehenswürdigkeiten, Kirchen, Schlösser etc.) innerhalb der touristisch interessanten Points-of-Interests (POI) erfasst werden und dann mit anderen Objekten dieser Kategorie schnell über einfache Suchoperationen im Datenbestand aufzufinden sein. Hier ist es denkbar, eine Auflistung der Begriffe vorzugeben, die sowohl bei der Eingabe als auch bei der Suche innerhalb des Systems verwendet wird.

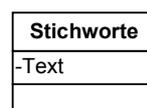


Abb. 3.8: Die Objektklasse Stichworte

Die Ortsangabe (s. Abb. 3.9) stellt eine Sachdateninformation dar, die zusätzlich zur Darstellung in Geometrien erlaubt, die entsprechenden Kulturerbe-Objekte über Adressangaben bzw. über die eindeutige Nummerierung des Liegenschaftskatasters mit einem weiteren geografischen Bezug zu versehen. Über den Datentyp Metadaten kann eine Speicherung von Metainformationen (Datenquelle, Erfassungsdatum, Bearbeiter etc.) erfolgen.

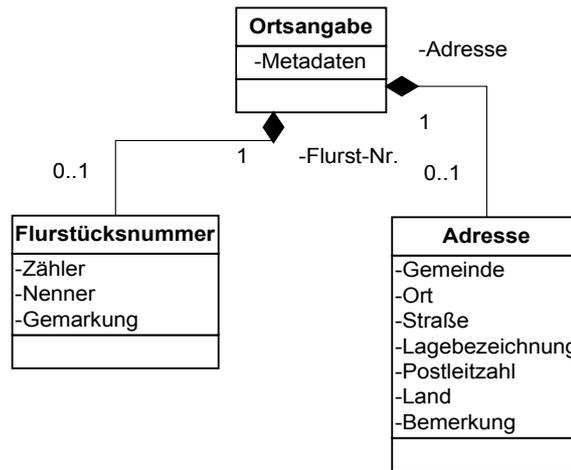


Abb. 3.9: Die Objektklasse ORTSANGABE mit den Bestandteilen Flurstücksnummer und Adresse

3.4.2.3 Multimedia

Zur Verwaltung von Multimediadaten ist die Super-Klasse MULTIMEDIA definiert. Sie vererbt den unterschiedlichen Multimediaobjekten (wie den hier dargestellten digitalen Bildern und Virtual-Reality-Szenen bzw. weiteren potentiellen Audio- und Video-Daten) die Eigenschaften Name, Content-Type und Metadaten. Der Content-Type beschreibt die Art des Bildes, welche als MIME-TYPE-Namen (z. B. für JPEG-Bilder „image/jpeg“) gespeichert werden, wie dies beispielsweise bei Internet-Servern Standard ist. Eine auf die gespeicherten Multimedia-Information zugreifende Applikation kann damit bereits anhand dieser Informationen die Darstellung vorbereiten, ohne dazu die komplette Datei aus der Datenbank laden zu müssen.

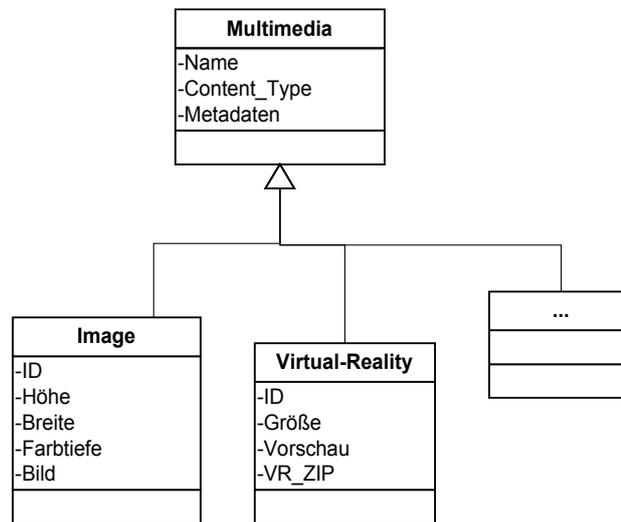


Abb. 3.10: Die Klassen zur Speicherung von Bildern, Virtual Reality-Szenen etc.

Für die Speicherung von digitalen Bildern ist die Klasse IMAGE instanzierbar. Diese dient sowohl der Speicherung von Bildern in Form von ergänzenden Multimediadaten, als auch der Speicherung des Bildinhaltes von Rasterkarten. Die Klasse IMAGE enthält hierzu zusätzlich Namen des Bildes, die Angaben zur Größe, Farbauflösung und Farbtiefe. Das eigentliche Bild wird in der Spalte BILD abgelegt.

Die Klasse VIRTUAL-REALITY ist ähnlich der Klasse IMAGE gestaltet und dient zur Speicherung von Virtual Reality-Szenen. Hinzu kommt ein Feld zur Speicherung eines Vorschaubilds und die ZIP-Datei mit den eigentlichen 3D-Daten (z. B. im VRML¹-Format, vgl. Anwendungsbeispiel in Kapitel 5.2).

Zu einem Kulturerbe-Objekt können beliebig viele Bilder gespeichert werden, wobei vom Modell aus keine Beschränkung der Anzahl oder Größe der Daten vorliegt. In Hinblick einer Nutzung beispielsweise im Tourismus können dadurch ergänzende visuelle Eindrücke ermöglicht werden. Virtual-Reality-Szenen können beispielsweise für Anwendungen eines virtuellen Museums eingesetzt werden und somit einen virtuellen Zugang zu einem real vorhandenen, eventuell sonst nicht zu besichtigenden Ausstellungsstück ermöglichen.

3.4.3 Geometrie-Objekte

Ein Grundprinzip von GIS stellt die Verknüpfung von Sachdaten mit Geometriedaten dar. Auf dem Markt verfügbare GIS bieten umfangreiche Funktionalität zur Speicherung und Manipulation von häufig sehr komplex zusammengesetzten räumlichen Geodaten an. Dabei haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche, meist systeminterne Philosophien zur Strukturierung und Speicherung von Geodaten herausgebildet.

Die konzeptionelle Modellierung der räumlichen Eigenschaften der Kulturerbe-Objekte kann theoretisch zunächst unabhängig von der späteren Systemwahl proprietärer GIS und Datenbanksysteme erfolgen. In diesem Fall sollte dem Aufbau interoperabler Datenstrukturen und der Einhaltung von internationalen Standards und Normen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Diese Vorgehensweise ist beispielsweise sinnvoll, wenn eine Internet-Lösung basierend auf einfachen Geodatenstrukturen angestrebt wird oder der verlustfreie Datenaustausch mit anderen Systemen eine wichtige Rolle spielt.

In der Praxis wird dagegen häufig eine Systemwahl schon nach der Anforderungsanalyse getroffen bzw. GIS wird bereits im Unternehmen eingesetzt. In diesem Fall muss der Anwender bereits bei der Modellierung und Strukturierung seiner Daten auf die ihm zur Verfügung gestellte, systemabhängige Funktionalität des GIS bzw. des zugrunde gelegten Datenbanksystems zurückgreifen.

3.4.3.1 Vektorobjekte

Die Modellierung der räumlichen Geodaten im GIS für kulturelles Erbe erfolgt in der Klasse RAUM (s. Abb. 3.11).

Raum
-ID
-Geometrie
-Metadaten

Abb. 3.11: Das Geometrieobjekt RAUM

In dieser Klasse wird in der Spalte GEOMETRIE auf verschiedene Geometrietypen eines vom Anwender festgelegten Schemas verwiesen, in dem je nach Anwendung benötigte unterschiedliche Geometrieobjekte und Kollektionen von Geometrieobjekten definiert sind. In der Abb. 3.12 ist als Beispiel die Klassenhierarchie für 2-dimensionale Geometrieobjekte aus der OpenGIS Simple Features Specification angeführt, die auch als SFSQL bezeichnet wird (s. [OGC (Hrsg.) 1999] und vgl. ISO 19125-2 Simple Features Specification for SQL in [ISO (Hrsg.) 2004]).

¹ VRML= Virtual Reality Modeling Language; eine Beschreibungssprache für 3D-Szenen, deren Geometrien, Ausleuchtungen, Animationen und Interaktionsmöglichkeiten

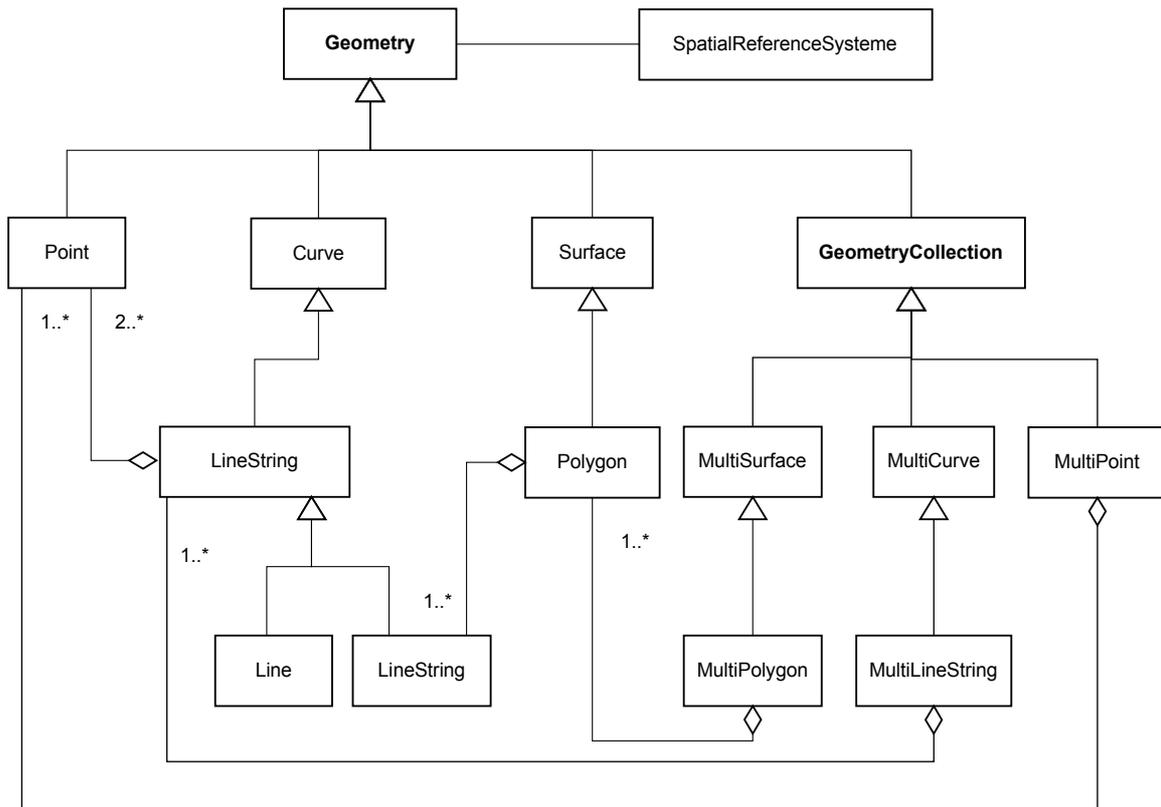


Abb. 3.12: Geometrie Klassenhierarchie nach der OpenGIS Simple Features Specification, Quelle: OGC (Hrsg.) 1999

Die Simple Feature Geometrien sind in einem SQL-Schema formuliert, das Speicherung, Zugriff, Abfrage und Änderung von Kollektionen aus Simple Feature Geometrien ermöglicht. Die Simple Feature Basisklasse GEOMETRIE besitzt Sub-Klassen für Punkte, Kurven, Oberflächen und Geometrie-Kollektionen. Jedes Geometrie-Objekt ist in einem räumlichen Bezugssystem definiert. Mehrere gleichartige Geometrieobjekte können in Kollektionen von Punkten, Kurven und Polygonen zusammengefasst werden, deren Handling durch abstrakte Super-Klassen (z. B. MULTICURVE und MULTISURFACE) festgelegt wird. Zwischen den Kollektionsklassen (z. B. MULTIPOLYGON) und ihren Elementklassen (z. B. POLYGON) liegen Aggregationen vor.

Diese Simple Feature Geometrie-Kollektionen werden üblicherweise in Tabellen mit geometriewertigen Spalten in RDBMS gespeichert und lassen sich mit SQL-92-basierten Umgebungen bearbeiten. In einem weiteren internationalen Standardisierungsprojekt von ISO/IEC zur Entwicklung einer SQL-Klassenbibliothek für Multimedia-Applikationen, genannt SQL Multimedia (SQL/MM), wurden dann Pakete von SQL-Definitionen abstrakter Datentypen (ADT) spezifiziert. Dies erfolgte unter Verwendung der neuen Möglichkeiten zur Spezifikation von ADTs in der SQL-99 (auch bekannt als SQL3)-Spezifikation. SQL/MM [vgl. ISO/IEC (Hrsg.) 2003] stellt u. a. Klassenbibliotheken für das Management von Multimedia-Objekten wie Bilder, Sound, Animationen und Videos in Wissenschaft und Technik zur Verfügung. In „Part 3: Spatial“ von SQL/MM wird speziell auf die Verarbeitung von Vektordaten eingegangen, wobei die Namensgebung für die Geometrieklassen nahezu gleich gewählt wurde.

Für jede Geometrie erfolgt die Beschreibung durch Attribute und Methoden sowie weitere Festlegungen. Eine Auswahl der spezifizierten Methoden ist in Tab. 3.1 im Vergleich der beiden Standards SFSQL und SQL/MM dargestellt.

	SFSQL	SQL/MM	Beschreibung
POINT		ST_Point()	Return Punkt
	X()	ST_X()	Return X-Koordinate des Punktes
	Y()	ST_Y()	Return Y-Koordinate des Punktes
CURVE	Length()	ST_Length()	Return Länge der Kurve
	StartPoint()	ST_StartPoint()	Return Startpunkt der Kurve
	EndPoint()	ST_EndPoint()	Return Endpunkt der Kurve
	IsClosed()	ST_IsClosed()	Return ja/nein ob die Kurve geschlossen ist
	IsRing()	ST_IsRing()	Return ja/nein ob die Kurve einfach und geschlossen ist
...			

Tab. 3.1: Auszug aus den spezifizierten Methoden der Geometrieobjekte POINT und CURVE in SFSQL und SQL/MM, Quelle: OGC (Hrsg.) 1999 und ISO/IEC (Hrsg.) 2003

Zur Umsetzung der Nutzer definierten, räumlichen ADTs und der Anwendung der erweiterten räumlichen Abfragesprache in SQL/MM ist im Gegensatz zu SFSQL ein objektrelationales oder objektorientiertes Datenbanksystem erforderlich (s. Kap. 4.2.2). Führende Datenbankhersteller bieten diese erweiterte Funktionalität basierend auf den vorgestellten Standards an, häufig jedoch unter der Verwendung systemeigener Objektdefinitionen und mit unterschiedlicher Auswahl an implementierten Funktionen (z. B. Oracle Spatial oder von IBM DB2 Spatial Extender bzw. Informix Datablade).

Im GIS für kulturelles Erbe werden unterschiedliche Vektorobjektklassen benötigt. Die Geobjekte aus der Denkmalliste des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege werden derzeit über die Flurstücksnummer georeferenziert und treten neben anderen Einzelobjekten punktförmig auf. Weitere punkt-, linien- und flächenförmige Geometrieklassen sind zur Erfassung der Elemente der historischen Kulturlandschaft oder von Objekten aus dem Urkataster des Bayerischen Landesvermessungsamts erforderlich. Zur Speicherung von komplexeren zusammengesetzten 3-dimensionalen Geometrien bzw. von Geländemodellen sind zusätzliche Klassen nötig, die nicht mit den Simple-Feature-Geometrien abgedeckt werden. Eine umfassende Auswahl bieten die in ISO 19107 Spatial Schema definierten mehr als 80 abstrakten Datentypen zur Beschreibung der räumlichen Charakteristik von Geobjekten und ein zugehöriges Set von räumlichen Operationen für Zugriff, Abfrage, Management und Datenaustausch [ISO/TC211 (Hrsg.) 2003]. Für die Zusammensetzung von komplexen Geometrieobjekten ist beispielsweise die Super-Klasse GM_COMPOSITE definiert, die Objekte sind 0-,1-,2- und 3-dimensional möglich und haben zahlreiche topologische Beziehungen.

3.4.3.2 Rasterkarten

Für Rasterkarten sind neben der Speicherung des eigentlichen digitalen Bildes in der Klasse IMAGE (s. Kap. 3.4.2.3) weitere Informationen zur Georeferenzierung erforderlich, die in der Objektklasse RASTERKARTE in Anlehnung an die Struktur der so genannten World-Dateien (engl. world files)¹ enthalten sind. World-Dateien sind Zusatzdateien für Rasterbildformate wie JPG, GIF oder TIFF. Diese Dateien haben den selben Dateinamen wie die entsprechenden Rasterdateien, jedoch eine andere Extension. World-Dateien auf Basis von TIFF-Rasterbildern werden beispielsweise TFW-Dateien genannt. Sehr gebräuchlich ist seit einiger Zeit auch das MRSID-Format. Die Endung lautet dann SDW. Der Inhalt dieser Dateien besteht aus sechs Zeilen:

- Maßstab in X-Richtung (Pixelgröße in X-Richtung)
- Drehung um die Y-Achse (Standardwert ist 0)
- Drehung um die X-Achse (Standardwert ist 0)
- Maßstab in Y-Richtung (Pixelgröße in Y-Richtung als negative Zahl)
- X-Koordinate (z. B. GK²-Rechtswert für die linke, obere Ecke des Bildes)
- Y-Koordinate (z. B. GK-Hochwert für die linke, obere Ecke des Bildes)

¹ Online im Internet: URL = http://en.wikipedia.org/wiki/World_file (Stand 25.02.2005)

² GK: Gauss-Krüger-Koordinaten

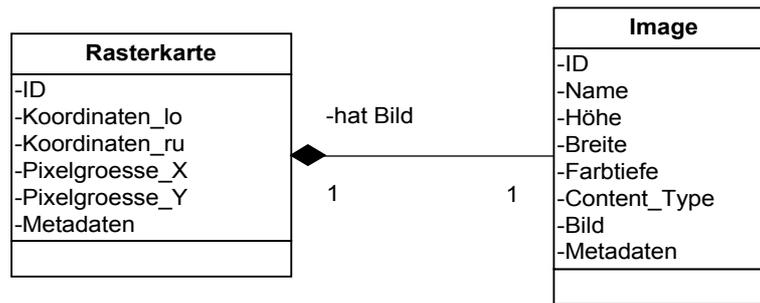


Abb. 3.13: Klassen zur Speicherung von historischen und aktuellen Karten

In den Attributen `Koordinaten_lo` und `Koordinaten_ru` wird ein umschreibendes Rechteck definiert. Darin sind die Koordinaten der linken oberen bzw. der rechten unteren Ecke des Bildes enthalten, wofür jeweils ein ADT für einen Punkt mit den Koordinaten (X,Y) verwendet werden kann. Abweichend kann als Ersatz für einen der beiden Punkte auch die Pixelgröße in X- und Y-Richtung des Bildes in Metern angegeben werden und aus diesen Angaben über eine Methode jeweils die zweite benötigte Eckkoordinate errechnet werden. Im Allgemeinen sollte darauf geachtet werden, dass die Bilder richtig entzerrt werden und die Bildkoordinatenlinien mit den Gitternetzlinien des Koordinatensystems der realen Welt parallel sind.

Die Koordinaten des umschreibenden Rechtecks können in einem GIS für kulturelles Erbe auch zur ungefähren Positionierung einer historischen Karte im Projektgebiet verwendet werden. Dies ist vor allem bei historischen oder alten Karten notwendig, die nicht entzerrbar sind (beispielsweise bei rein künstlerisch gestalteten Karten), oder wenn keine verwertbaren Koordinateninformationen entnommen werden können.

Durch eine Verknüpfung einzelner Kulturobjekte mit verschiedenen Rasterkarten kann zum Ausdruck gebracht werden, welche Objekte in einer Karte explizit sichtbar sind.

3.4.4 Temporale Objekte

In einem GIS für kulturelles Erbe stellt sich die Frage, wie die zeitlichen Entwicklungen der Kulturerbe-Objekte beschrieben werden sollen. Je nach den gewünschten Aussagen, die das System später ermöglichen soll, muss bei der Modellierung überlegt werden, wie detailliert Zeitangaben bestimmt werden sollen. So ist es aufgrund des hohen Erfassungsaufwandes u. U. nicht sinnvoll, jede einzelne kleine Veränderung eines Objektes oder zu jedem definierten Zeitpunkt alle gültigen Aussagen von Objekten abzuspeichern. Auch der Inhalt einer Aussage für einen Zeitraum muss nicht unbedingt konstant sein. In diesem Fall sollten je nach Anwendung Methoden zur Verfügung stehen, welche die Aussagen zu Zwischenständen ableiten können.

Geschichte zeitveränderlicher Objekte

In der Literatur sind mehrere Methoden zur Beschreibung der Geschichte zeitveränderlicher Objekte bekannt. Hierzu zählen die zustandsverändernde, die zustandserhaltende, die ereignisorientierte und die ableitbare Geschichte [vgl. KÄFER 1992].

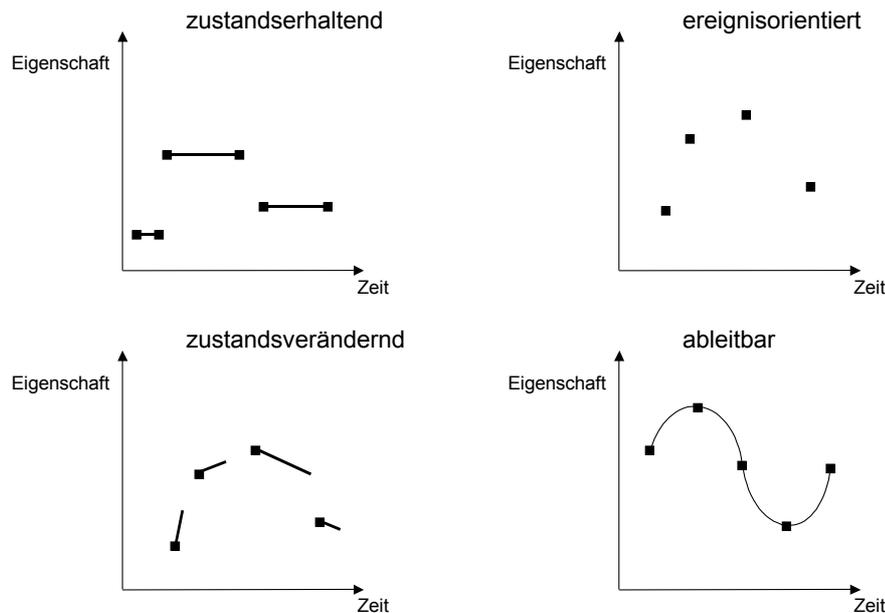


Abb. 3.14: Verschiedene Möglichkeiten der Geschichte von Objekten,
Quelle: ergänzt nach KÄFER 1992

In der Realität treten sowohl kontinuierliche Veränderungen, beispielsweise die zunehmende Verbuschung eines sich selbst überlassenen Gebiets der Kulturlandschaft oder plötzliche Ereignisse auf, wie beispielsweise ein Bergrutsch, der einen Ortsteil unter sich begräbt. Während herausragende plötzliche Ereignisse in der Geschichtsschreibung häufig genau datiert sind, wurden kontinuierliche Veränderungen eher selten erfasst und müssen beispielsweise aus Karten-Snapshots zu bestimmten Zeitpunkten abgeleitet werden. Kontinuierliche Veränderungen können am besten durch eine zustandsverändernde oder ableitbare Geschichte beschrieben werden, in der davon ausgegangen wird, dass die Zustände zwischen den gesicherten Zeitpunkten mit vertretbarer Genauigkeit interpoliert werden können. Während frühere Veränderungen in der Landschaft und den Siedlungen flächendeckend in Karten nur sporadisch erfasst wurden, sind die Aktualisierungszeiträume für die Erfassung der Topographie der Kulturlandschaft und der Siedlungsentwicklung gegenwärtig wesentlich kürzer. Hier sind vielfach Zyklen von mehreren Jahren ausreichend, um beispielsweise die Veränderung eines Flusslaufes, ähnlich der Verlagerung des Flussbetts der Tiroler Achen im Projektgebiet, über die Jahrzehnte ausreichend zu dokumentieren.

Wird ein Objekt über einen bestimmten Zeitraum durch konstante Eigenschaften beschrieben, spricht man von zustandserhaltender Geschichte. Zum Beispiel wird in den Archiven über einen Herrschaftssitz jeweils der Wechsel in eine neue Phase der Regentschaft dokumentiert oder es wird von Zeiträumen der Renovierung bzw. von Baumaßnahmen berichtet. Eine rein ereignisorientierte Geschichte würde dagegen nicht gestatten, andauernde Zustände oder Zwischenzustände abzuleiten, da Aussagen über Objekte nur zu bestimmten Zeitpunkten gültig sind. Zudem tritt die Schwierigkeit auf, dass vor allem bei Änderungen in der Landschaft der Zeitpunkt der tatsächlichen Änderung im allgemeinen nicht exakt bekannt ist.

Zur Erfassung der Historie von Einzelobjekten in einem GIS für kulturelles Erbe erscheint es aufgrund der nur sporadisch vorhandenen Datengrundlagen jedoch zweckmäßig, die Abbildung aller temporalen Vorgänge sowohl mittels einer zustandserhaltenden als auch einer ereignisorientierten Geschichte vorzunehmen und hierfür ausgehend von den verfügbaren Datenquellen wichtige Zustände, Ereignisse und Episoden über die Angabe von Start- und Endzeitpunkt zu erfassen. Weitere Details zu den jeweiligen geltenden Zeiträumen könnten in ergänzenden Texten und Aufzeichnungen erfasst werden. In Verbindung mit zusätzlichen Angaben zur Unsicherheit bei der Datenerfassung ist dadurch die Recherchierbarkeit von Angaben über die Objekte zu einem beliebigen Zeitraum gewährleistet.

Abstrakter „Zeit“-Datentyp

Durch einen neuen Ansatz kann das Timestamp-Verfahren für Attribute und Objekte (vgl. Kap. 2.3.6.2) dahingehend erweitert werden, dass die zeitabhängigen Eigenschaften eines Objektes mit Hilfe abstrakter zeitlicher Datentypen modelliert werden. Ein abstrakter „Zeit“-Datentyp erweitert Geoobjekte nach KALB, SCHNEIDER u. SPECHT [2003] um eine zeitliche Verwaltung, wobei dessen ursprüngliche Eigenschaften bestehen bleiben und lediglich um neue zeitliche Eigenschaften ergänzt werden. Die gekoppelte Speicherung von konkreten Werten und Zeitangaben in einem Geoobjekt ermöglicht effiziente Algorithmen insbesondere für Operationen, die gleichzeitig auf zeitlichen und konkreten Werten operieren (z. B. Änderungsrate eines Wertes).

Allgemein können in einem GIS für kulturelles Erbe unter Annahme einer linearen Ordnung und der Vernachlässigung von Zeitintervallen (d. h. von Zeitdauern ohne feste Intervallgrenzen) für die Gültigkeitszeit der Kulturerbe-Objekte folgende temporale Zusammenhänge auftreten (vgl. Kap. 2.3.2ff).

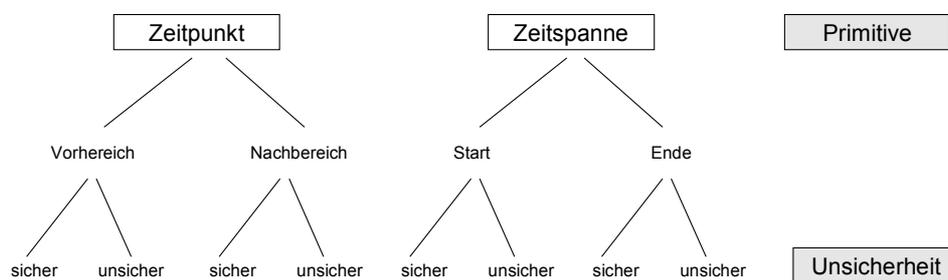


Abb. 3.15: Modellierungsraum für temporale Strukturen

Zusätzlich zu den Angaben der Zeitprimitive Zeitpunkt und Zeitspanne sollen dabei für unsichere historische Aussagen Unsicherheitsangaben durch den Anwender gemacht werden können (s. Kap. 3.4.5). Bei der Darstellung von Kulturerbe-Objekten geht es nicht um eine hohe Zeitauflösung wie bei Echtzeitanwendungen, sondern um eher wenige und langsamere Veränderungen innerhalb größerer Zeiträume (z. B. über Jahre und Jahrhunderte). Es genügt daher die Festlegung der Granularität auf eine Tageslänge mit Bezug zu einem Kalenderdatum.

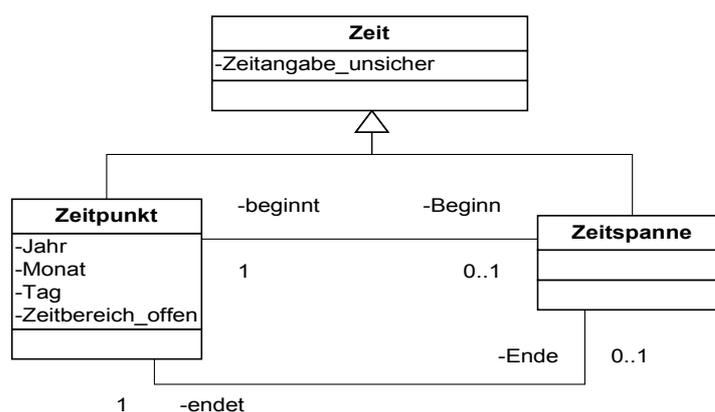


Abb. 3.16: Datumsangabe in ZEITPUNKT und ZEITSPANNE

Zur Speicherung von nicht exakt bestimmbar datums- und Zeitangaben liegen keine Standard-Datentypen in den Systemen vor. Daher wird für die Anwendung ein spezieller Datentyp ZEITPUNKT generiert, der im Gegensatz zu den häufig in Datenbanksystemen verwendete Datentypen DATE oder DATETIME erlaubt, eine unbestimmte Datumsangabe zu speichern. In der Zeitangabe sind damit nicht festgelegte „NULL“-Werte erlaubt. Wenn also beispielsweise nur Angaben zum Jahrhundert gemacht werden können, müssen die Felder für den Monat und den Tag nicht belegt werden.

Beispiel: „Die Kirche wurde um das Jahr 1800 renoviert.“:

Der Eintrag hierfür lautet Jahr = „1800“, Monat = „NULL“, Tag = „NULL“ und trifft eine andere Aussage als das in DATE einzutragende „gültige“ Datum „01.01.1800“.

Diese Vorgehensweise erlaubt Zeitangaben mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad und ist eine Möglichkeit um auszudrücken, wie exakt die historischen Zeitangaben angegeben werden können.

Durch die Klassen ZEIT, ZEITPUNKT und ZEITSPANNE wird ein bestimmter Zustand eines Kulturerbe-Objektes mit einer Ereigniszeit, also einem Zeitpunkt (Beginn-Zeitpunkt = Ende-Zeitpunkt) oder einer Zeitspanne (Start-Zeitpunkt ist nicht identisch mit dem Ende-Zeitpunkt) der realen Welt in Verbindung gebracht. Dabei ist zu beachten, dass teilweise in historischen Quellen von Zeiträumen gesprochen wird, deren Begrenzung nicht sicher möglich ist. Mit einer zusätzlichen Angabe über ein optionales Attribut Zeitangabe_unsicher ist vorgesehen, eine grundsätzliche Aussage des Anwenders zu ermöglichen, ob die eingetragene Zeitangabe genau auf ein Datum festlegbar ist und aus sicherer Quelle stammt oder nicht (s. Kap. 3.4.5).

Vorgänger und Nachfolger

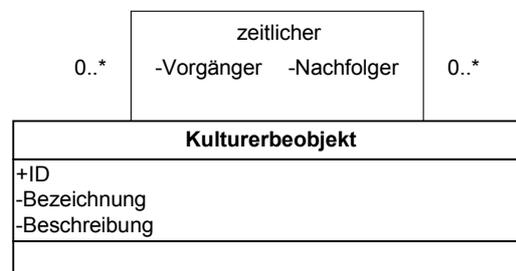


Abb. 3.17: Versionierung eines Kulturerbe-Objektes

Die Basisklasse der Kulturerbe-Objekte besitzt eine zeitliche Assoziation auf sich selbst. Diese in Abb. 3.17 dargestellte Beziehung hat jeweils Vertreter der eigenen Klasse zum Gegenstand, d. h. es sind nur Assoziationen zwischen verschiedenen Instanzen der gleichen Klasse zugelassen. Eine Assoziation einer Instanz mit sich selbst würde bei bestimmten Implementierungen unter Umständen eine Rekursion ohne Abbruchkriterium zur Folge haben. Am Beispiel der Beziehung zum Vorgänger- bzw. Nachfolgeobjekte ist dies ausgeschlossen, und kann über die unterschiedliche eindeutige Objekt-ID abgefragt werden. Dabei ist es möglich, dass aus einem Objekt mehrere Nachfolgeobjekte hervorgehen und umgekehrt aus mehreren Vorgänger-Objekten ein neues Objekt gebildet werden kann.

Beispiel: „Der östliche Teil der Klosteranlage wurde im Juli 1980 als eigenes Grundstück ausgewiesen und dem neuen Eigentümer zur privaten Nutzung als Museum übergeben.“

Aus dem Objekt Kloster gehen zwei Objekte hervor: Ein direkter Nachfolger für die Klosteranlage mit veränderter geometrischer Ausdehnung und ein weiteres Objekt, das nicht mehr als Kloster sondern unter der privatwirtschaftlichen neuen Nutzung geführt wird. Aus der Beziehung zeitlicher Nachfolger kann ein direkter Bezug zum früheren Kloster hergestellt werden und damit eine Entwicklung eines bestimmten Objektes aufgezeigt werden. Davon unabhängig führt eine Abfrage über einen Zeitraum von 1970 bis 1990 ebenfalls zu dem Ergebnis, dass dort drei Objekte jeweils zur entsprechenden Zeit existiert haben. Aus der visuellen räumlichen Überlagerung oder auch expliziten Verschneidung können ebenfalls die Zusammenhänge der drei Objekte ermittelt werden.

3.4.5 Modellierung der Unsicherheit temporaler Geodaten

In der Geoinformatik erstellte Modelle repräsentieren stets eine gewisse Annäherung an die Realität. Die Unterschiede zwischen einem Modell und der Realität reflektieren die zwangsläufig vorhandenen Unsicherheiten. Die Integration der Unsicherheitsmodellierung in die Geoinformatik wird seit Anfang der

90er-Jahre verstärkt gefordert [GOODCHILD 1992; CASPARY 1992; KUTTERER 2001; CALUWE, TRÉ, BORDOGNA (Hrsg.) 2004], wobei die Unschärfe von räumlichen Daten „im deutschsprachigen Raum in erstaunlich geringem Maße thematisiert“ [BLASCHKE 1997] wird.

Es existieren eine Reihe von Ansätzen zur Behandlung der Unsicherheit, wobei deren verwendete Unsicherheitsmaße nach GLEMSER [2000] in die Gruppe der Aussagemäße zu diskreten Zuständen oder Ereignissen (beispielsweise Wahrscheinlichkeits- und Glaubwürdigkeitsmaße, Sicherheitsfaktoren sowie Möglichkeitswerte unscharfer Mengen) sowie in die Gruppe der Variations- und Streuungsmaße für kontinuierliche Werte (beispielsweise Maße der mathematischen Statistik wie Varianz und Mittelwert) eingeteilt werden können. Die Behandlung von stochastischen Messunsicherheiten ist in der Ausgleichsrechnung auf mathematischer Basis ausgereift und wird in der Praxis häufig verwendet. Für eine verbesserte Unsicherheitsbetrachtung wäre es wichtig, verschiedene Ansätze zu kombinieren [KUTTERER 2001].

In den meisten Anwendungen, wie auch in der Archäologie oder dem kulturellen Erbe wird die Unsicherheitsmodellierung trotz eines hohen Maßes an Unsicherheit bzw. Unschärfe der thematischen, geometrischen wie dynamischen Daten für die Datenerfassung und Auswertung bisher kaum berücksichtigt. Gründe hierfür sind, dass häufig zu umfangreiches Spezialwissen vorausgesetzt wird und Lösungen anwendungsspezifisch erstellt werden müssen. Hier fehlt es oft noch an grundlegenden Konzepten und Modellen, die eine durchgehende Integration der Unsicherheit in die Komponenten eines GIS von der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation für individuelle, wissenschaftliche Probleme ermöglichen.

Für die Verwendung dieser verschiedenen Arten von Unsicherheit mit dem Computer ist eine numerische Spezifikation der Unsicherheitsbegriffe erforderlich. So könnte beispielsweise jedem Objekt ein Sicherheitsfaktor oder Wahrscheinlichkeitswert aus dem Wertebereich von $[0, 1]$ zugeordnet werden. Diese Werte müssen dann je nach der von den Historikern angegebenen Glaubwürdigkeit geschätzt werden. So können beispielsweise den Aussagen „sicher“ Werte zwischen 0,9 und 1, „wahrscheinlich“ Werte um 0,7 und „glaubwürdig“ Werte um 0,5 zugeordnet werden.

In einem anderen Bereich der Informatik, der Fuzzy-Logik, wird der Begriff Unsicherheit, so wie er eher umgangssprachlich verwendet wird, mathematisch abgebildet. Die Fuzzy-Logik assoziiert Unsicherheit durch Zufallsmechanismen und häufig subjektive Einschätzung (s. Kap. 3.4.5.2).

Die Unterscheidung zwischen den Ansätzen Wahrscheinlichkeitsrechnung und Fuzzy Mengen Theorie wird bei FISHER [1996] ausführlich dargestellt.

In Folgenden wird nur auf den Aspekt der zeitlichen Topologie und die Angabe der Unsicherheit von temporalen Aussagen näher eingegangen. Ausführliche Beschreibungen von geometrischen und semantischen Unsicherheiten in der Geoinformatik finden sich beispielsweise in GLEMSER [2000] und CAROSIO u. KUTTERER [2001].

3.4.5.1 Definitionen zur Unsicherheit

Zur Klärung der häufig im allgemeinen Sprachgebrauch synonym verwendeten Begriffe wie ungewiss, unbestimmt, ungenau, unsicher, unscharf, fehlerhaft wird zunächst auf die Definition dieser Begriffe in der Geoinformatik nach GLEMSER [2000] zurückgegriffen.

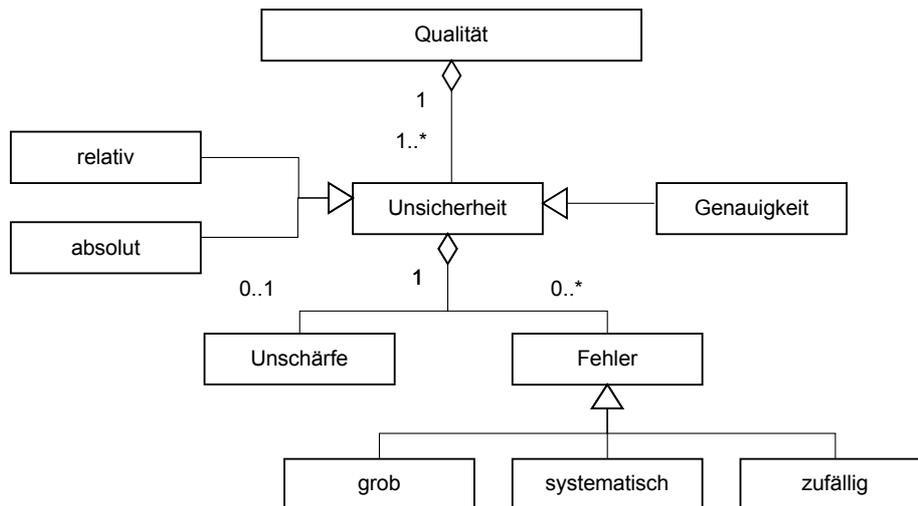


Abb. 3.18: UML-Diagramm zum Zusammenhang der Unsicherheitsbegriffe,
Quelle: GLEMSER 2000

Unsicherheit wird darin als Überbegriff verstanden, der zu den lokalen Qualitätsmerkmalen von Geodaten zählt und sich als Abweichung eines erfassten Elementes von der Realität definiert. „Als Unsicherheitsmaß ist der Wahrheitsgehalt des Elementes zu bewerten (z. B. durch Wahrscheinlichkeiten) oder es ist die Nähe zur Wirklichkeit und damit die Größe der Abweichung (z. B. durch Varianzen) festzustellen“ [GLEMSER 2000].

Unschärfe liegt vor, wenn ein Modell, das sich aus der anwendungsspezifischen Abstraktion zum Zwecke der Vereinfachung und Reduzierung auf wesentliche Merkmale ergibt, von der Realität abweicht. Dies betrifft insbesondere die Unsicherheit von natürlichen Objekten, die Einteilung einer zeitlichen Entwicklung in Epochen und beispielsweise auch den unscharfen Sprachgebrauch bei getroffenen Aussagen.

Unter **Fehler** versteht man die Abweichungen erfasster Elemente vom Modell. Grobe Fehler treten auf, wenn Elemente aufgrund unzureichender Kontrolle falsch erfasst werden, systematische Fehler wirken stets in gleicher Weise und zufällige Fehler sind statistische Abweichungen, die einem Zufallsprozess entstammen.

Die **Genauigkeit** ist nach GLEMSER [2000] in ähnlicher Weise wie die Unsicherheit zu verwenden, jedoch erfolgt die Einschränkung als Unsicherheitsbegriff für kontinuierliche Werte. Die Genauigkeit ist als Spezialisierung zu verstehen und kann als Abweichung eines kontinuierlichen Wertes von seinem wahren Wert verstanden werden. Damit trifft auch die Unterscheidung in absolute und relative Genauigkeit zu und die Begriffe Unschärfe und Fehler können als Bestandteile der Genauigkeit betrachtet werden.

In einem TGIS für kulturelles Erbe erfolgt die Modellierung von Geodaten aus der Vergangenheit in die Gegenwart oder umgekehrt. Die einhergehende Unsicherheit bei vielen historischen Datenquellen und die damit eingeschränkte Qualität der Daten stellt die Datengewinnung und die bestehenden Systeme vor Probleme. Oft handelt es sich dann um rekonstruierte Daten, die in der Regel ohne Sicherheitswahrscheinlichkeiten vorliegen und daher „unscharf“ sind. Der Begriff „Ungenauigkeit“ ist in diesem Kontext nur für die geometrischen Daten anwendbar, da er die Messabweichungen von einem Original ausdrückt. Da das Original im vorliegenden Fall u. U. nicht mehr vorhanden ist, können rückwirkende Angaben zur Genauigkeit nur in Ausnahmefällen und bei bekannter Aufnahmetechnik getroffen werden. Dies trifft beispielsweise für alte Katasterkarten zu und für Aussagen über eigene Digitalisierungen.

3.4.5.2 Unschärfe temporaler Daten

In der Ausgleichsrechnung werden mit Hilfe stochastischer Ansätze die Widersprüche zwischen den Beobachtungen und dem funktionalen Modell verteilt. Es wird angenommen, dass der richtige Wert existiert.

tiert und dieser innerhalb des funktionalen Modells anhand der Beobachtungen und deren Messunsicherheit optimal geschätzt wird [JOOS 2001]. Existiert dieser Wert nicht, weil die Zeitangabe, die ermittelt werden soll, nicht genau bestimmt ist, hilft der Ansatz der Ausgleichsrechnung nicht weiter. Diese Modellierungseinschränkung liegt oftmals bei temporalen Angaben über das kulturelle Erbe vor.

Beispiel: Es lassen sich „Bronzefunde am „Streichen“ (einem Bergrücken im Projektgebiet), ein Meißel, eine Sichel, eine Kugelkopfnadel und Teile einer Fibel, aus der späten Bronzezeit, der sog. Urnenfelderzeit um 1000 - 800 v. Chr.“ zuordnen [RIHL 2004].

Der Übergang in die nächste Epoche kann nicht genau auf ein Jahr festgelegt werden. Wenn beispielsweise zwei Epochen ineinander übergehen, besteht das Problem, dass die Grenzen nicht scharf definiert und damit fließend sind.

Beispiel: Die Streichenkirche wurde bereits vor etwa 800 Jahren als Burgkapelle der Streichenritter genutzt. Die erste erhaltene urkundliche Erwähnung erfolgt um 1440. Aus dieser Zeit stammen auch die einzigartigen, 1954 freigelegten Wandmalereien, die sie zu einem außergewöhnlichen Zeugnis mittelalterlicher Kirchenkunst werden lassen.

Wenn sich der Entstehungszeitpunkt bzw. -raum eines Objektes anhand der nur noch verfügbaren Quellen nicht mehr sicher nachvollziehen lässt, werden häufig nur ungefähre oder einschränkende Angaben gemacht. Auch wenn der Übergang eines Zustandes eines Objektes in den nächsten nicht genau festgelegt werden kann, existiert ein Zeitbereich, in dem sowohl der eine, als auch der andere Zustand eines Objektes gelten könnte. In diesem Fall können etwa auch zwei Historiker zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Umso feiner die Granularität der Modellierung ist, desto häufiger werden Verwechslungen bzw. Zuordnungen zu mehreren oder zu keinem eindeutigen Zeitbereich vorkommen. Die „Zugehörigkeit“ nimmt also zum Innern des jeweiligen Zeitbereiches zu.

Diese anschauliche Festlegung kann mit der Fuzzy Mengen Theorie, die auf ZADEH [1965] zurück geht, formalisiert werden. Im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre, bei der ein Element nur entweder einer Menge angehören kann oder nicht, können bei Fuzzy Sets Elemente auch nur bis zu einem bestimmten Grad einer Menge angehören.

Unschärfe Menge: $A = \{t \mid z_A(t)\}$ für alle t aus E

Zugehörigkeitsgrad: $z_A: x \rightarrow [0, 1]$

Zugehörigkeitsfunktion: $z_A = \begin{cases} 0 & \text{für } 0 \leq t \leq a_1 \\ (t-a_1) / (a_2-a_1) & \text{für } a_1 < t \leq a_2 \\ 1 & \text{für } a_2 < t \end{cases}$ für alle t aus E

Hierzu wird eine Zugehörigkeitsfunktion (s. Abb. 3.19) eingeführt, die Werte zwischen 0 und 1 annimmt. Diese Werte werden als Zugehörigkeitsgrad bezeichnet. Der Zugehörigkeitsgrad 0 bedeutet, dass der Objektzustand zu dieser Zeitangabe nicht mehr gilt und der Wert 1 besagt, dass das Objekt vollständig und ausschließlich in diesem Zeitbereich gültig ist. Bei Werten zwischen 0 und 1 ist die Zugehörigkeit sowohl zum vorausgehenden als auch zum nachfolgenden Zeitbereich gegeben. Im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre müssen sich nun die Zugehörigkeiten zu verschiedenen Mengen nicht auf 1 ergänzen und es liegt eine ordinale Skala vor, in dem ein Wert von 0,8 mehr ist als 0,7 aber nicht zwangsläufig doppelt so viel wie 0,4 [BLASCHKE 1997].

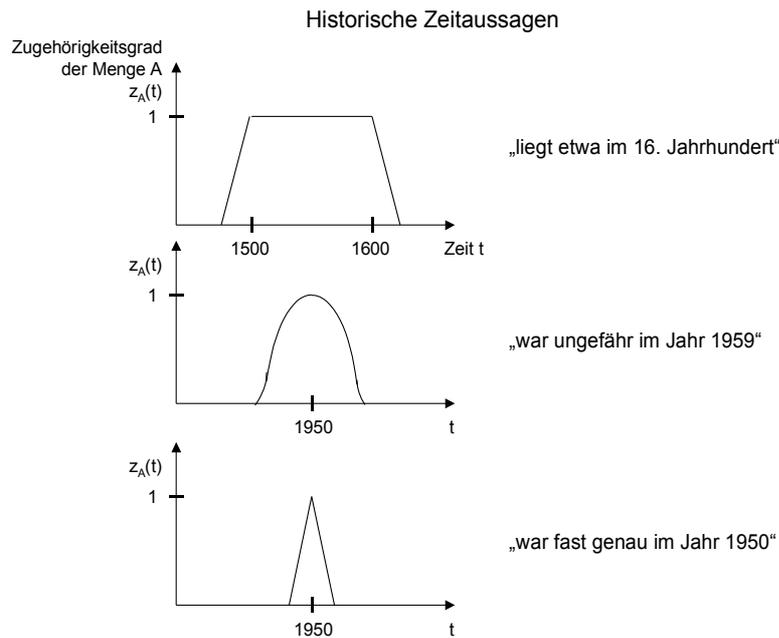


Abb. 3.19: Historische Zeitaussagen mit Zugehörigkeitsfunktion aus der Fuzzy-Mengen Theorie

3.4.5.3 Modellierung der Unsicherheit für kulturelles Erbe

In der Anwendung für kulturelles Erbe wurde eine Auswahl der möglichen Modellierungen temporaler Unsicherheit dahingehend getroffen, dass einerseits die Angabe eines Möglichkeitswertes und der Breite eines unsicheren Zeitbereiches möglich sein soll. Der Möglichkeitswert wird in diesem Fall durch die Eigenschaft des Unsicherheitsgrads eines Zeitpunktes oder Zeitbereiches generiert, die Breite eines unsicheren Zeitbereiches kann im abstrakten Datentyp `Zeitbereich_unsicher` erfasst werden.

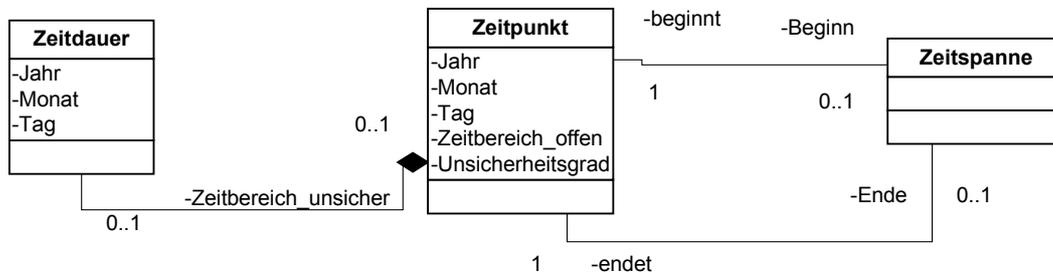


Abb. 3.20: Zeitmodell mit Unsicherheitsbereich

Wenn zum Ausdruck gebracht werden soll, dass eine Zeitspanne begonnen hat und eventuell noch andauert, kann andererseits die Offenheit einer Zeitspanne durch die Eigenschaft `Zeitbereich_offen` (boolescher Datentyp) festgelegt werden.

Die möglichen Fälle, die in der Kombination der Eigenschaften `Zeitbereich_unsicher` und `Zeitbereich_offen` bei der Auswertung einer Zeitspanne (a, b) mit Start-Zeitpunkt t_1 und Ende-Zeitpunkt t_2 unterschieden werden können, werden in Tab. 3.2 in Intervallschreibweise dargestellt.

Die nach rechts aufgeführten Tabellenspalten können jeweils für eine Zeitangabe eines Geoobjektes erfasst werden. Im ersten Fall bedeutet dies beispielsweise, dass eine sichere Aussage zu einer Zeitspanne eines Objektes gemacht wird. Die Grenzen des Intervalls werden als nicht offen bewertet und sowohl vor der Zeitspanne, als auch nach dem Ende-Zeitpunkt werden keine Unsicherheitsbereiche u festgelegt. Damit gilt die Zeitangabe als scharf und sicher.

Fälle	Zeitangabe zu Grenze a	Zeitangabe zu Grenze b	Grenze a offen	Grenze b offen	Unsicherheitsbereich vor Grenze a	Unsicherheitsbereich nach Grenze b
$[t_1, t_2]$	t_1	t_2	0	0	NULL	NULL
$[t_1, t_2[$	t_1	t_2	0	1	NULL	u_2
$]t_1, t_2[$	t_1	t_2	1	1	u_1	u_2
$]t_1, t_2]$	t_1	t_2	1	0	u_1	NULL
$[t_1, \infty[$	t_1	NULL	0	NULL	NULL	NULL
$]t_1, \infty[$	t_1	NULL	1	NULL	u_1	NULL
$] \infty, t_2]$	NULL	t_2	NULL	0	NULL	NULL
$] \infty, t_2[$	NULL	t_2	NULL	1	NULL	u_2
$] \infty, \infty[$	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Tab. 3.2: Fälle der Unsicherheitsangaben zu einer Zeitspanne

3.4.6 Methoden

Temporale Methoden

In der Objektklasse ZEIT wurde zur Überprüfung, ob das jeweils angesprochene Objekt in einem als Übergabeparameter definierten Zeitraum liegt, die Methode MEETS definiert. Dabei reicht es aus, wenn das Objekt zu irgendeinem Zeitpunkt innerhalb des Zeitraums sicher existiert. Seine zeitlichen Grenzen können auch außerhalb des übergebenen Zeitraumes liegen. Die Methode kann durch Überladung ein zweites Mal implementiert werden, um auch die Abfrage zu ermöglichen, ob sich ein einzelner Zeitpunkt innerhalb des Definitionsbereichs eines zeitlichen Objektes befindet.

In einer vollständigen Realisierung sind weitere Methoden denkbar wie beispielsweise die Berechnung von Altersunterschieden oder Vorgänger-/Nachfolgerentscheidungen. Zu beachten ist, dass bei allen Abfragen auch Methoden zur Kombination von unsicheren Mengen, beispielsweise Fuzzy-Mengen, Anwendung finden müssen.

Methoden zur Analyse und Visualisierung der Unsicherheit

Die Auswertung der Unsicherheit kann entweder für die direkte Datenabfrage durch den Benutzer verwendet werden oder auch zur Steuerung der Visualisierung. Die Visualisierung von Sicherheit (bzw. Unsicherheit) in einer virtuellen Rekonstruktion ist nicht zu vernachlässigen, da durch die Darstellung im Computer auch bei nicht sicheren Rekonstruktionen der Eindruck vermittelt wird, dass alles tatsächlich so vorhanden gewesen ist. Ein mögliches Stilelement zur Darstellung von Unsicherheit ist beispielsweise das Hilfsmittel Transparenz. Durch die Erfassung eines Unsicherheitsgrades könnten die Kulturerbe-Objekte auch bezüglich der Visualisierung für den Anwender gesteuert präsentiert werden. Der Nachteil besteht darin, dass die Darstellung von Unsicherheit nicht sehr stark differenziert werden kann, da die Interpretierbarkeit sonst erschwert wird.

3.5 Fazit der objektorientierten Modellierung temporaler GIS

Die Objekttechnologie ist nach BURKHARDT [1999] ein „Paradigma und ein Wissensgebiet, das sich heute zur ausgereiftesten Softwareentwicklungstechnologie entwickelt hat“. Sie hat daher auch in der Geoinformatik und deren Anwendungsgebieten bereits seit längerem Einzug gehalten. Insgesamt kommt dem Modellierungsprozess im GIS-Bereich vor allem bei umfangreichen, komplexen oder neuen Anwendungen für kulturelles Erbe eine zentrale Bedeutung zu. Besonders die konzeptionelle systemneutrale Modellierung erfreut sich großer Beliebtheit und ermöglicht die Beschreibung von Daten auf konzeptioneller Ebene unabhängig von einer proprietären GIS- oder Datenbankumgebung. Da die natürliche Sprache oft zu unpräzise ist, werden Beschreibungssprachen eingesetzt, um die Anforderung der Anwender in ein GIS umzusetzen. Vor allem Klassendiagramme sind gut für den GIS-Bereich geeignet, da es damit sehr leicht möglich ist, eine datenorientierte Strukturierung in Klassen vorzunehmen.

Die Verwendung von Beschreibungssprachen und Methoden zur Modellierung wird durch stetig neue und weiter entwickelte Standards der Normierungs- bzw. Standardisierungsgremien unterstützt. Beispielsweise steht mit UML 2.0 eine leistungsfähige und um einige dynamische Konzepte ergänzte, weit verbreitete Sprache für die Durchführung von OO-Modellierung zur Verfügung. Eine gewisse zukünftige Marktrelevanz scheint für einen modellbasierten Datenaustausch zwischen verschiedenen GIS erkennbar, beispielsweise mittels der XML-basierten Beschreibungssprache GML¹, die als herstellerübergreifende Datenschnittstelle speziell für eine Übertragung von Geodaten mit deren Besonderheiten bezüglich der geometrischen, zeitlichen und topologischen Eigenschaften entwickelt wird.

Mit der Verfügbarkeit objektrelationaler Datenbanksysteme, welche die Abbildung von komplexen Datentypen bzw. Objekten ermöglichen, lassen sich auch die OO-Modellierungskonzepte und die objektbasierten Datenmodelle einfacher und ohne größere Umformung direkt in die Systeme umsetzen. Hierfür notwendige erweiterte Sprachkonstrukte werden von den Datenbanksystemen in der Regel zur Verfügung gestellt.

In einem GIS werden Daten in der Regel „scharf“, d. h. als verbindliche Werte eingegeben. Im gezeigten Modellierungsbeispiel werden historische Zeitangaben mit einem Gewicht versehen, das die Interpretation der temporalen Unsicherheit über die erfassten Daten erlaubt. Durch Verwendung eines Unsicherheitsmodells können bei der Erfassung, Analyse und Präsentation von Geodaten Regeln aufgestellt werden, die es ermöglichen, fließende Übergänge besser zu berücksichtigen.

¹ GML: Geography Markup Language; aktuelle GML-Spezifikation ist die Version 3.1.0, herausgegeben vom OGC in Zusammenarbeit mit ISO und basierend auf den in ISO 19107 Spatial Schema definierten abstrakten Datentypen

Kapitel 4 Objektorientierte Implementierung des temporalen GIS für kulturelles Erbe

4.1 Systemkonzept für das objektorientierte temporale GIS

Seit einigen Jahren werden relationale Datenbanksysteme mit zusätzlichen objektorientierten Erweiterungen (ORDBMS) angeboten und verfügen intern über Zusatzmodule (z. B. Oracle Spatial) für den Zugriff auf raumbezogene Daten. Diese Datenbanksysteme ermöglichen eine integrierte Datenhaltung von räumlichen und nicht-räumlichen Daten und bieten hierzu entsprechend erweiterte, meist noch herstellereigenspezifische Datenbankschnittstellen an. Die bereitgestellten Möglichkeiten offerieren damit nicht nur eine gewisse Basisfunktionalität für die Datenhaltung komplexer Geoinformationssysteme, sondern werden mittlerweile sogar um eigene Simple Viewing Tools zur einfachen Visualisierung der Geometriedaten ergänzt. Damit könnte dann theoretisch je nach Anforderung an die Leistungsfähigkeit und Umfang der GIS-Funktionalität auf externe GIS-Softwarekomponenten verzichtet werden.

GIS-Hersteller haben in diesem Zusammenhang externe Datenbank-Aufsätze entwickelt und versprechen umfangreiche zusätzliche Möglichkeiten bezüglich raumbezogener Funktionen und Analysen auf Basis bestehender Datenbanksysteme. Zu den wichtigsten Vorteilen beim Einsatz solcher Datenbank-Aufsätze gehören spezielle Konzepte für lange Datenbanktransaktionen, offene Schnittstellen für den Zugriff auf räumliche Daten (beispielsweise in Form von SQL-Erweiterungen) und ein breites Spektrum von raumbezogenen Anweisungen. Diese externen Datenbank-Erweiterungen nutzen teilweise Funktionen und Datentypen von Software-Produkten wie Oracle Spatial als Basisfunktionalität [ESRI 2000].

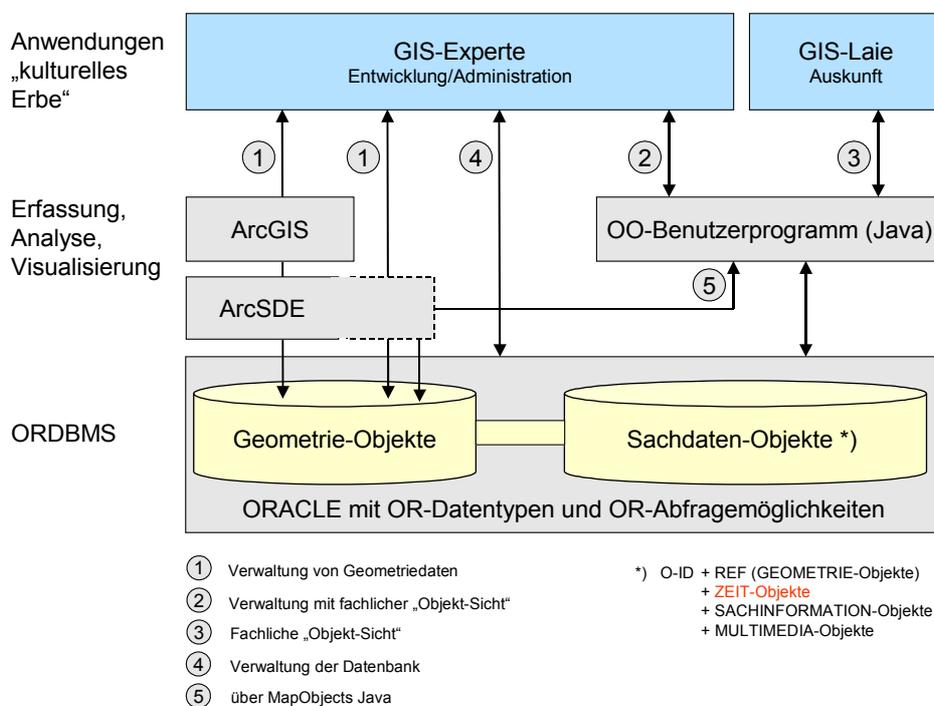


Abb. 4.1: Gesamt-Systemkonzept für die OO-Implementierung in Java und einem ORDBMS

Die prototypische GIS-Lösung in der Arbeit (vgl. Abb. 4.1) basiert auf einem im Datenbanksystem Oracle implementierten objektorientierten Sachdatenmodell (zur Verwaltung der Objekte für kulturelles

Erbe insbesondere der Zeit-, Sachinformation- und Multimediadaten) sowie der referenziellen Speicherung der Geodaten in der Geo-ORDBMS über die Spatial Database Engine des Geoinformationssystems ArcGIS der Firma ESRI.

Die Spatial Database Engine (ArcSDE) kann die Funktionalität der neuen räumlichen Datentypen objektrelationaler bzw. erweiterbarer Datenbanken nutzen. Aus theoretischer Sicht ist die Speicherung räumlicher Daten in objektrelationalen Strukturen erstrebenswert, denn auf diese Weise wird nur eine einzige Datenquelle (mit einem einheitlichen Datenbankmodell) benötigt. Nach ESRI [1998] ergeben sich zufolge zwei wesentliche Vorteile: Die räumlichen Daten können gemeinsam mit anderen numerischen und beispielsweise auch zeitlichen Datentypen über SQL-basierte Funktionen angesprochen werden, und es sind verringerte Serveraufgaben in einer „thin“ SDE-Applikation bei der Bereitstellung von räumlicher Funktionalität zu leisten.

Zu Beginn der vorliegenden Arbeiten zum Aufbau eines GIS für kulturelles Erbe wurde die Datenerfassung und Applikationsentwicklung auf Basis des Desktop-GIS ArcView durchgeführt. Dies ermöglichte wie in der Praxis einen leichten Einstieg in die Anwendung und führte zu schnell vorzeigbaren Visualisierungen. Die gewachsenen Ansprüche beispielsweise an die Einbindung in die Benutzerverwaltung und Backup-Mechanismen der zentral vorliegenden Datenbankumgebung, die Konsistenzsicherung des Datenbestandes, Transaktionskonzepte, Historienverwaltung sowie die direkte Umsetzung einer realitätsnahen objektorientierten Modellierung in die modernen objektrelationalen Datenbankstrukturen erforderten eine neue Vorgehensweise. Die nun aufgebaute Testumgebung für die Implementierung entstand aus der Abwägung der Nutzung moderner objektorientierter, unabhängiger Funktionalität in der GIS- und Datenbanktechnologie mit der ressourcenschonenden Nutzung ausgereifter Zugriffs- und Visualisierungswerkzeuge eines etablierten GIS-Anbieters.

Um die Abfrage und Visualisierung der Daten zum kulturellen Erbe aus fachlicher „Objekt-Sicht“ zu gewährleisten, wurde eine Plattform-unabhängige Benutzeroberfläche auf Basis von Oracle Extensions für JDBC (Java) erstellt. Damit können unabhängig von bestehenden Einschränkungen des Zugriffs auf objektrelationale fachliche Datenobjekte durch die Zugriffsschicht der Hersteller-GIS alle Vorteile der neuen Technologien durch direkten Zugriff über definierte Schnittstellen ausgetestet werden.

4.2 Eingesetzte Entwicklungswerkzeuge

4.2.1 Java-Entwicklungsumgebung

Die Implementierung der Benutzeroberfläche erfolgte in der objektorientierten Sprache Java unter Verwendung der Entwicklungsumgebung Eclipse und der Versionsmanagementsoftware CVS (Concurrent Versions System). Ein großer Vorteil von objektorientierten Programmiersprachen ist, dass der Programmierer von einem verfügbaren Objekt nur eine vorher definierte Schnittstelle (Methode) sieht, über die er auf das Objekt zugreifen kann. Durch dieses Prinzip, auch Kapselung genannt, ist eine direkte Manipulation der Eigenschaften eines Objekts normalerweise nicht mehr möglich. Es führt zu einer übersichtlichen und leichteren Handhabbarkeit von Objekten und dient der Fehlervermeidung. Durch weitergehende Schutzmechanismen innerhalb des Objekts können bei der Programmierung der Objektklasse unzulässige Zustände, die zu ungewolltem Verhalten führen, verhindert werden. Dadurch wird vor allem das Zusammenspiel bei der Arbeit an einem großen Projekt erleichtert, und die Programmierung mittels eines komponentenbasierten Entwicklungssystems gefördert.

Die Dokumentation erfolgte als „JavaDoc“ - einer Sammlung von automatisch generierten HTML-Dokumenten. Diese sind durch Verknüpfungen in Form von „Hyperlinks“ miteinander verbunden und zeigen für jede kompilierte Java-Klasse die bereitgestellten Attribute („Fields“), Methoden („Methods“) und auch die anwendbaren Konstruktoren („Constructors“).

Für den Zugriff und die Darstellung der Geometrie der Kulturerbe-Objekte wurde aufgrund des zu hohen Aufwands der Eigenprogrammierung von Standard GIS-Funktionalitäten, die Bibliothek MapObjects von ESRI (s. Kap. 4.2.3) eingesetzt.

4.2.2 Datenhaltung im ORDBMS ORACLE

Das Datenbanksystem Oracle ist heute eines der führenden Datenbanksysteme auf dem Geoinformationsmarkt zur Verwaltung von großen Datenbeständen. Es erlaubt die logische Modellierung nach der relationalen Theorie und erweitert diese um Möglichkeiten aus dem Bereich der Objektorientierung. Es definiert sich selbst als objektrelationales Datenbanksystem.

4.2.2.1 Oracle 9i

Die Datenbank-Engine von Oracle 9i enthält mehrere Erweiterungen, die besonders im Bereich der objektrelationalen Funktionalität Erleichterung für die Modellierung der Datenbank bringen. Die wichtigste Neuerung stellt die Unterstützung der Vererbung dar, und damit die Möglichkeit des Aufbaus einer echten Klassenhierarchie durch entsprechende Mechanismen. Die Einschränkung der Vorgängerversion Oracle 8i, dass kollektionswertige Attribute, wie Nested Tables oder VArrays, nicht schachtelbar sind, wurde aufgehoben. Oracle 9i ist nun in der Lage, mehrdimensionale Datenstrukturen aufzubauen. Beispielsweise wurde der Operator THE jetzt völlig durch TABLE ersetzt (nur für Nested Tables), und damit der Zugriff mittels DRL¹- und DML²-Sprachelemente durch den gleichen Mechanismus und die gleiche Befehlssyntax ermöglicht. Dies erleichtert den Umgang mit Nested Tables gegenüber der Struktur, die noch in Oracle 8i vorgegeben war.

Die Möglichkeit der Implementierung eines vollständig relationalen Modells mittels Oracle Spatial für Geometrie-Daten wurde fallen gelassen, und durch die objektrelationalen Mechanismen der Spatial Cart-ridge ersetzt. Dies war vor allem bei der Portierung des ursprünglich in Oracle 8i angelegten Datenbestandes in eine Oracle 9i Datenbank zu beachten. Ebenfalls wurde die interne Struktur der Geometrieobjekte gegenüber Oracle 8i geändert, so dass auch hier die Migrationsskripte, die bei Oracle 9i mitgeliefert werden, zu Hilfe genommen werden müssen.

Die Datenbank bietet nun auch die Möglichkeit Aggregatfunktionen zu den selbst definierten Klassen zu implementieren, wie das bereits mit den Sortierfunktionen möglich war. Dies erlaubt nun auch die Implementierung einer Funktion wie SUM für komplexe Daten.

Das System benötigt nun deutlich mehr Speicherplatz und stellt höhere Anforderungen an die Hardware des Systems, auf dem das Datenbanksystem installiert wird. Es sind damit deutlich leistungsfähigere Serversysteme nötig.

4.2.2.2 Zugriff auf objektrelationale Datenstrukturen

Der Zugriff auf objektrelationale Datenstrukturen kann in Oracle-Datenbanken über verschiedene Schnittstellen erfolgen. Das standardisierte SQL-99 (SQL3) berücksichtigt objektorientierte Ansätze nicht konsequent, denn Konzepte wie z. B. Mehrfachvererbung oder Kapselung von Objekten wurden in den Standardisierungsvorschlägen nicht miteinbezogen. In Verbindung mit den Programmiersprachen Java und Visual Basic werden für die Implementierung die Oracle JDBC³-Erweiterung (Java) sowie Oracle Objects for OLE (Visual Basic) eingesetzt. Weitere Alternativen sind beispielsweise das Oracle Call Interface für Java und auch C++.

¹ DRL = Data Retrieval Language; Sprache zur Auskunft von in einer Datenbank gespeicherten Daten. Beispiel aus SQL: „SELECT“.

² DML = Data Manipulation Language; Sprache zur Manipulation der in einer Datenbank gespeicherten Daten. Beispiele aus SQL: „INSERT“, „UPDATE“, „DELETE“.

³ JDBC = Java Database Connectivity; bezeichnet vorgefertigte Java-Klassen, die in der Programmiersprache Java für Datenbankzugriffe verwendet werden.

Die JDBC-Erweiterungen stehen als kompilierte Java-Klassen zur Verfügung und werden in das jeweilige Java-Programm importiert. Bei Visual-Basic wird Oracle Objects for Object Linking and Embedding (bzw. Oracle Objects for OLE, kurz OO4O) als Projektverweis verknüpft. Nach der Einbindung der Bibliotheken stehen sowohl in Java als auch in Visual-Basic verschiedene Software-Konzepte für den objektrelationalen Datenbankzugriff bereit, diese lassen sich nach HOCHHÄUSLER [2003] in drei Kategorien unterteilen:

- Spezielle „SQL-Statements“, die einen Zugriff auf objektrelationale Strukturen innerhalb einer SQL-Anweisung ermöglichen. Dabei kann auch eine Vielzahl von (Oracle-spezifischen) Schlüsselwörtern verwendet werden.
- „Recordset-Objekte“ als Container-Objekte für (objekt-)relationale Daten (bei Java spricht man dabei von „Resultsets“ und bei Visual Basic von „Dynasets“). Diese können als „Behälter“ für die Ergebnisse von SQL-Select-Statements verstanden werden. Änderungen der Daten im Recordset wirken sich dann normalerweise automatisch auf den Datenbankinhalt aus.
- „Oracle Objects“, die in externen Programmiersprachen wie Visual Basic beispielsweise als „OraRef“, „OraObject“, „OraAttribute“ oder „OraCollection“ bezeichnet werden und mit Referenz-Typen, Objekt-Typen, Tabellenattributen oder verschachtelten Tabellen in der Datenbank verglichen werden können. Ein objektrelationales „Recordset-Objekt“ setzt sich in der Regel aus mehreren „Oracle Objects“ zusammen. Diese können in der jeweiligen Programmiersprache iterativ ausgelesen werden. Ein Editieren oder Befüllen der Objekte bedingt automatisch eine Änderung der Datenbankinhalte.

Durch diese Konzepte können über externe Programmiersprachen auf flexible Art und Weise kompliziert strukturierte Datenbankinhalte verwaltet werden. Container-Objekte in Form von Recordsets haben einen „read-only“-Status bzw. lassen keine Updates zu, wenn der zugrunde liegende SQL-Befehl sehr komplex ist. Im Dateneingabemodul (realisiert in Visual Basic) trat dieser Fall genau dann auf, wenn auf BLOB-Daten, die in einer verschachtelten Tabelle gespeichert waren, zugegriffen wurde. Probleme dieser Art lassen sich lösen, indem SQL-Statements in Form von Update-Befehlen in Kombination mit den „Oracle Objects“ (in diesem Fall ein so genanntes „OraBLOB“-Objekt) formuliert werden, anstatt „Recordset-Objekte“ zu benutzen.

Die unterschiedlichen Konzepte beim Zugriff auf objektrelational strukturierte Datenbanken erfordern sowohl auf Datenbankebene als auch innerhalb der verwendeten Programmiersprache spezifische Ansätze bei der Implementierung. Dies soll an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden:

Beispiel: Die Spalte „MULTIMEDIA“ in der Tabelle „KULTURERBE“ enthält den Datentyp „METADATEN_TYP“. In diesem „METADATEN_TYP“ sind weitere Sub-Datentypen enthalten, einer davon ist die „BEMERKUNG“, die eine einfache Zeichenkette (primitiver Datentyp) darstellt. Um auf die Bemerkung zugreifen zu können, gibt es auf Datenbankebene zwei Möglichkeiten:

1. Variante:

```
select K.MULTIMEDIA.BEMERKUNG from KULTURERBE K
```

Die erste Abfrage selektiert die Bemerkung, die in Form eines primitiven Datentyps zurückgegeben wird. Somit kann das „SQL-Statement“ unkompliziert in ein (nicht-objektrelationales) „Recordset-Objekt“ der jeweiligen Programmiersprache übertragen werden. Die Verwendung von Alias-Namen (in diesem Fall "K") ist bei objektrelationalen Abfragen in Oracle obligatorisch

2. Variante:

```
select K.MULTIMEDIA from KULTURERBE K;
```

Bei der 2. Abfrage wird ein komplexes Objekt vom Typ „MULTIMEDIA_TYP“ zurückgegeben. Dieses Objekt muss zuerst in ein (objektrelationales) „Recordset-Objekt“ der verwende-

ten Programmiersprache weitergereicht werden, anschließend sollte es in ein Konstrukt auf Basis der „Oracle Objects“ übertragen werden, bevor es ausgelesen oder editiert wird.

Bei der Realisierung wurde in den meisten Fällen die zuerst genannte SQL-Variante verwendet. Diese hat den Vorteil, dass diejenigen Datenbankanweisungen, die im Dateneingabemodul (Visual Basic) und im GIS (Java) in ähnlicher Form verwendet werden, insgesamt leichter übertragbar sind. Somit wird der Umfang einzelner SQL-Anweisungen etwas größer, aber der Umfang des sprachspezifischen Visual Basic- bzw. Java-Codes zum Auswerten der objektrelationalen Daten sinkt.

4.2.3 MapObjects für Java

Um die unterschiedlichen Bedürfnisse hinsichtlich der Visualisierung von Raster- und Vektordaten mit einem überschaubaren Programmieraufwand bewältigen zu können, wird in der Realisierung auf die ESRI MapObjects-Bibliothek zurückgegriffen [vgl. ESRI 2002a]. Diese Software-Bibliothek, die auch als API¹ bezeichnet werden kann, ist für Programmiersprachen wie Java, Visual Basic und Visual C++ erhältlich. Die MapObjects-Bibliothek setzt sich aus einer großen Menge von einzelnen Modulen bzw. Bausteinen zusammen: den so genannten ArcObjects-Komponenten. Kommerzielle Software-Produkte von ESRI (wie z. B. ArcGIS oder ArcCatalog) werden ebenfalls aus ArcObjects-Komponenten zusammengesetzt. MapObjects bestehen aus Aggregationen ausgewählter ArcObject-Komponenten und haben gegenüber ArcObjects den Vorteil der einfacheren Handhabung und den Nachteil der eingeschränkten Flexibilität.

Die MapObjects-Bibliothek stellt eine gewisse Basis von kartografischen Funktionen bereit, die durch projektspezifische Implementierungen zur Realisierung einer GIS-Anwendung beitragen können. Zu den wichtigsten Funktionen dieser Klassen zählen beispielsweise Visualisierungsmöglichkeiten für Raster- und Vektordaten, Verschneidungen von georeferenzierten Daten mit geometrischen Figuren (Filter-Operationen), Koordinatentransformationen, Techniken zur Überlagerung von mehreren Kartenebenen in einem geografischen Gebiet und Selektionsoperationen für vektorbasierte Daten. Komplexe dreidimensionale räumliche oder temporale Visualisierungen von TIN-Modellen² konnten in der Version 2.0.1 der MapObjects-Bibliothek für Java (noch) nicht durchgeführt werden. Daher wurde für die Visualisierung von besonderen 3D-Objekten des kulturellen Erbes die GIS-Benutzeroberfläche um einen 3D-Browser für Virtual Reality-Szenen im Multimediabereich erweitert (s. Kap. 5.2).

Für die Realisierung wurde ein großer Teil der verfügbaren kartografischen Möglichkeiten wie zur Veränderung des Bildausschnittes, zur Darstellung von Vektor- und Rasterdaten, zur Suche und Selektion verwendet. Eine Auflistung der verwendeten Java-Klassen befindet sich in Anhang B.

Weitere interessante Funktionen für ein temporales GIS sind beispielsweise:

- Hinzufügen oder Entfernen von Kartenebenen während der Laufzeit der GIS-Anwendung
- Festlegung von teiltransparenten Ebenen (so genannte AcetateLayer). Auf diese Weise können beispielsweise mehrere Ebenen von Rasterdaten überlagert werden oder auch der Unsicherheit der Existenz von Objekten zu einem Abfragezeitpunkt Ausdruck verliehen werden.
- Export von Kartenausschnitten als JPG-Grafik

Insgesamt nimmt der Aufwand für die Programmierung der kartografischen Funktionalität in einer GIS-Lösung einen hohen Anteil ein. Die Verwendung der kartografischen Software-Bibliothek ermöglicht die Anbindung der zugrundeliegenden Datenquellen (Datenbanken, Dateien) über ein universelles Interface und damit einen vereinfachten Zugriff auf Geodaten und deren Visualisierung. Es können georeferenzierten Informationen aus der Spatial DataBase Engine oder aus entsprechenden Dateien verwendet

¹ API = Application Programming Interface

² TIN = Triangular Irregular Network; dreidimensionale Oberflächenmodelle, die mit Hilfe von unregelmäßig verteilten Knoten und Kanten abgebildet werden.

werden. In der Praxis waren die Datenbank-Zugriffe bei der vorliegenden Version jedoch in einigen Fällen fehlerbehaftet, während Datei-Zugriffe einwandfrei funktionierten.

4.3 Logisches Datenbankmodell

4.3.1 Objektrelationale Erweiterungen

Objektrelationale Datenbanksysteme bieten nach [KEMPER, EICKLER 2004] im Wesentlichen folgende funktionale Erweiterungen gegenüber dem relationalen Datenmodell an:

- **Große Objekte (Large Objects, LOBs)**
Diese werden trotz eines „reinen“ Wertes den objektrelationalen Konzepten zugeordnet: Sie erlauben es, in den neu verfügbaren Basisdatentypen (z. B. BLOB und CLOB) sehr große Attributwerte wie beispielsweise Multimediadaten zu speichern.
- **Kollektionswertige Attribute**
Hier wird die flache Struktur des relationalen Modells aufgegeben, um einem Tupel (Objekt) in einem Attribut eine Menge von Werten zuordnen zu können.
- **Geschachtelte Relationen**
Hier wird erlaubt, dass Attribute selbst wiederum Relationen sind.
- **Typdeklarationen**
Durch die Unterstützung der Definition von anwendungsspezifischen Datentypen, oft auch user-defined types (UDT) genannt, können komplexe Datenstrukturen aufgebaut werden.
- **Referenzen**
Attribute können direkte Referenzen auf Tupel (Objekte) derselben oder einer anderen Relation als Wert haben. Insbesondere kann ein Attribut auch eine Menge von Referenzen als Wert haben, so dass auch N : M - Beziehungen ohne separate Beziehungsrelation repräsentiert werden können.
- **Objektidentität**
Referenzen setzen voraus, dass Objekte anhand eines Objektidentifikators eindeutig identifizierbar sind und im Unterschied zu relationalen Schlüsseln nicht veränderbar sind.
- **Vererbung**
Realisierung des Konzepts der Generalisierung/Spezialisierung.
- **Operationen / Methoden**
Gegenüber der im relationalen Modell fehlenden Möglichkeit, können nun den Daten auch Methoden zugeordnet werden. Bei einfachen Operationen können diese direkt in SQL implementiert werden.

Die Standardisierung dieser Erweiterungen liegt derzeit in SQL 1999 vor. Die kommerziellen Datenbanksysteme bieten häufig noch von SQL 1999 abweichende Syntax zur Umsetzung der objektrelationalen Konzepte an.

4.3.2 Abbildung in das logische Modell

In der logischen Modellierung erfolgt die Transformation des konzeptionellen objektorientierten Modells in das für die Implementierung vorgesehene objektrelationale Datenmodell von Oracle.

In Oracle 9i sind Typklassen (in gewissen Grenzen) auch dann änderbar, wenn bereits Instanzen der Klassen existieren, womit z. B. die Tabelle KULTURERBE als Objekttable einer entsprechenden Klasse definiert werden könnte. Diese Klasse KULTURERBE_TYP bildet dann die Spitze der Vererbungshierarchie und erlaubt somit eine echte objektorientierte, logische Modellierung. Damit verbunden ist eine deutliche Steigerung der Flexibilität bei der Methodenprogrammierung. In diesem Zusammenhang ist zu sehen, dass die Bildung eines Index über das Ergebnis von Methoden selbst definierter

Klassen möglich ist. Gerade bei sehr zeitintensiven Abfragen von einzelnen Funktionsergebnissen lässt sich durch diesen Mechanismus ein deutlicher Performancegewinn erzielen.

Anhand der Beschreibung des Basismodells sowie der thematischen, geometrischen und zeitlichen Bestandteile des Modells werden an mehreren Beispiele die benötigten Konstrukte für die Umsetzung des Modells für kulturelles Erbe vorgestellt.

UDT

Zentraler Basistyp ist das Kulturerbe, der sich aus komplexen benutzerdefinierten Objektstrukturen aufbaut und wie folgt in SQL beschrieben werden kann.

```

create or replace type KULTURERBE_TYP as (
  ID                NUMBER (38, 0),
  Bezeichnung       VARCHAR2 (500),
  Beschreibung       CLOB (50K),

  Raum              REF (GEOMETRIE_TYP) scope Raum,

  Zeit              ZEIT_TYP,
  Ort               ORTSANGABE_TYP,

  Multimedia        MULTIMEDIA_TAB,
  Stichworte        TEXT_TAB
) not final,
nested table Multimedia store as MM_TAB,
nested table Stichworte store as STWORT_TAB;

```

Zunächst wurden die attributiven Eigenschaften mit ihren Datentypen definiert, der Raumbezug erfolgt über eine Referenz, Zeit und Ort werden über weitere UDTs definiert. Die Multimediadaten und Stichworte werden als kollektionswertige Attribute hinzugefügt. Die Vererbung ist am Superobjekt Kulturerbe noch nicht sichtbar.

Referenzen

Referenz-Typen werden mit dem Referenztyp-Konstruktor erzeugt. Über deren Instanzen wird auf die Objekte des referenzierten (strukturierten) Typs GEOMETRIE_TYP verwiesen. Voraussetzung für die spätere Dereferenzierung einer Referenz ist die scope-Klausel. Beim Aufbau der Referenz wird einer Referenzspalte eine Instanz des entsprechenden Referenztyps (OID) zugewiesen. Durch die systemweit eindeutige Object Identity (OID) und dem Referenztyp-Konstruktor REF lassen sich somit Beziehungen zwischen Objekten explizit modellieren. Referenzen sind im Vergleich zu Fremdschlüsseln streng typisiert.

Kollektionswertige Attribute

Die Stichworte werden in einer Nested Table gespeichert. Diese stellen die Möglichkeit zur Verfügung, in einem Attribut komplette Tabellen aufzunehmen, und so die Modellierung von "zu-N-Beziehungen" stark zu vereinfachen. Die interne Speicherung dieser Nested Tables erfolgt in einer Zwischentabelle, ähnlich der Modellierung einer N-zu-M-Beziehung in einem relationalen DBMS, wobei diese eine zusätzliche Spalte mit der Bezeichnung "NESTED_TABLE_ID" erhalten. Diese zusätzliche Spalte ermöglicht dem Datenbanksystem, auf den entsprechenden Eintrag in der Elterntabelle zurück zu schließen, und kann zur Beschleunigung des Zugriffs mit einem Index versehen werden.

Vererbung

Ein Beispiel für eine Vererbung wird anhand der thematischen Angaben eines Kulturerbeobjekts dargestellt. In dem Subtyp OBJEKTART_TYP sind wiederum weitere objektrelationale Konstrukte wie Referenzen und kollektionswertige Attribute möglich.

```
create or replace type OBJEKTART_TYP under KULTURERBE_TYP as (
    Metadaten          METADATEN_TYP
) not final;
```

Die Vererbung kann mehrstufig sein:

```
create or replace type DENKMAL_TYP under OBJEKTART_TYP as (
    Landkreis          VARCHAR2(100),
    Gemeinde           VARCHAR2(100),
    Gemeindegkz        NUMBER(10,0),
    Kartennummer       VARCHAR2(20),
    Beschreibung        CLOB (50K),
    Status              VARCHAR2(255),
    Art                 VARCHAR2(100),
    ...
    Änderungsdatum     DATE
) not final;
```

Methoden

Neben der Möglichkeit, komplexe Strukturen in Form von Objekten abzubilden, liegt in der Formulierung von Methoden zu Objekten eine weitere wesentliche Stärke des objektrelationalen Modells. Durch Methoden können spezifische Operationen für einzelne Objekttypen definiert werden. Beispielsweise wird in der benutzerdefinierten Methode „MEETS“ abgefragt, ob das jeweils angesprochene Objekt (mit einer bestimmten Gültigkeitszeit) in Zusammenhang mit dem als Übergabeparameter definierten Zeitraum (Zeitpunkt oder Zeitspanne) steht.

```
create or replace type ZEIT_TYP (
    Zeitangabe_unsicher NUMBER (1,0)
) not final,
method MEETS(ZEITPUNKT_TYP punkt) returns NUMBER(1,0),
method MEETS(ZEITPUNKT_TYP beginn, ZEITPUNKT_TYP ende)
    returns NUMBER(1,0);

create or replace type ZEITDAUER_TYP (
    Jahr              NUMBER (4,0),
    Monat             NUMBER (2,0),
    Tag               NUMBER (2,0)
) not final;

create or replace type ZEITPUNKT_TYP under ZEIT_TYP (
    Jahr              NUMBER (4,0),
    Monat             NUMBER (2,0),
    Tag               NUMBER (2,0),
    Zeitbereich_offen NUMBER (1,0),
    Zeitbereich_unsicher ZEITDAUER_TYP
) not final,
overriding method MEETS(ZEITPUNKT_TYP punkt) returns NUMBER(1,0),
overriding method MEETS(ZEITPUNKT_TYP beginn, ZEITPUNKT_TYP ende)
    returns NUMBER(1,0);
```

```

create or replace type ZEITSPANNE_TYP under ZEIT_TYP (
    Beginn          ZEITPUNKT_TYP,
    Ende            ZEITPUNKT_TYP,
) not final,
overriding method MEETS(ZEITPUNKT_TYP punkt) returns NUMBER(1,0),
overriding method MEETS(ZEITPUNKT_TYP beginn, ZEITPUNKT_TYP ende)
    returns NUMBER(1,0);

```

Wie beispielsweise in C++ üblich erfolgt Definition und Deklaration streng getrennt. Da es sich bei ZEIT_TYP um einen abstrakten Datentyp handelt, werden die Methoden nicht definiert. Die Definition der Methoden erfolgt erst für die Subtypen ZEITPUNKT_TYP und ZEITSPANNE_TYP. Dadurch ergeben sich folgende 4 Funktionsdefinitionen:

```

create method MEETS (ZEITPUNKT_TYP punkt)
    returns NUMBER(1,0)
    for ZEITPUNKT_TYP
    begin
    ...
        RETURN value;
    end;

create method MEETS (ZEITPUNKT_TYP beginn, ZEITPUNKT_TYP ende)
    returns NUMBER(1,0)
    for ZEITPUNKT_TYP
    begin
    ...
        RETURN value;
    end;

create method MEETS (ZEITPUNKT_TYP punkt)
    returns NUMBER(1,0)
    for ZEITSPANNE_TYP
    begin
    ...
        RETURN value;
    end;

create method MEETS (ZEITPUNKT_TYP beginn, ZEITPUNKT_TYP ende)
    returns NUMBER(1,0)
    for ZEITSPANNE_TYP
    begin
    ...
        RETURN value;
    end;

```

In Oracle gilt die Einschränkung, dass kein entsprechender Datentyp vom Wert BOOLEAN zur Verfügung steht¹. Daher sind im Modell die Werte 0 für falsch und 1 für wahr vorgesehen, um so den fehlenden Datentyp zu emulieren. In der Applikation kann anschließend dieser Wert direkt einer Variable vom Typ BOOLEAN zugewiesen werden.

4.3.3 Geometrisches Modell

Die Speicherung der Geometrie kann in ESRI ArcSDE in zwei Varianten erfolgen: Mit Hilfe des von Oracle Spatial zur Verfügung gestellten Typs SDO_GEOMETRY aus dem Schema MDSYS oder binär als BLOB [s. ESRI 2003]. Aktuelle GIS der führenden Hersteller im Geoinformationsmarkt erlauben den direkten Zugriff auf den Oracle-Datentyp SDO_GEOMETRY zur Speicherung der Rauminformationen

¹ Boolesche Variablen sind in Oracle nur in der Programmiersprache PL/SQL vorhanden.

innerhalb der Datenbank. Dadurch ist auch gewährleistet, dass das Datenmodell innerhalb unterschiedlicher GIS-Systeme verwendet werden kann, und somit eine gewisse Systemunabhängigkeit besteht. Die Verwendung des SDO-Datentyps ermöglicht hier die Benutzung aller von Oracle zur Verfügung gestellten Möglichkeiten wie beispielsweise räumliche Abfragen oder das Anlegen von Indizes.

In der zweiten Variante wird ein herstellerabhängiges Verfahren zur Verwaltung der Geometrie gewählt. Die Geometriedaten werden über die umfangreiche verfügbare Funktionalität eines proprietären GIS in der Datenbank gespeichert und der Zugriff auf die Geometrie erfolgt über die systemeigene SDE_ID.

Für die Speicherung von räumlichen Informationen haben sich einerseits verschiedene Dateiformate und andererseits unterschiedliche Datenbank-Standards etabliert. In Zukunft werden sich Vektordatenformate wie Shape¹, DXF² und SVG³ sowie Rasterformate wie MrSID⁴ oder Geo-TIFF⁵ weiter durchsetzen. Die eingesetzten ESRI MapObjects Software-Komponenten unterstützen insbesondere die Datei- und Datenbank-Standards von ESRI. Die wichtigsten von MapObjects unterstützten und in der erstellten GIS-Lösung verwendeten Datenquellen sind: Vektordateien im Shape-Format, georeferenzierte TIFF-Rasterdateien im World-Format und die Spatial DataBase Engine.

Die Spatial DataBase Engine (SDE) ist eine externe Datenbankerweiterung für relationale und objektrelationale Datenbanksysteme zur Verwaltung großer Mengen von Raster- und Vektordaten. Die räumlichen Daten werden dabei mit Hilfe von ArcCatalog in die Datenbank importiert und können mit Programmen (wie z. B. ArcView) ausgelesen und visualisiert werden. Darüber hinaus stellt die SDE eine API für die Sprachen C++, Java und VisualBasic zur Verfügung, die es dem Anwendungsprogrammierer ermöglicht, eigene Applikationen zum Lesen, Ändern oder Löschen von räumlichen Informationen aus der Datenbank zu erstellen. Die ESRI MapObjects-Bibliothek nutzt diese API intern für räumliche Datenzugriffe.

Die folgende Darstellung zeigt die Zugriffsmöglichkeiten auf die Spatial DataBase Engine über vordefinierte Schnittstellen bzw. Befehls-Bibliotheken (API's). Die SDE-API stellt insbesondere Methoden für den Zugriff auf die Geo-Datenbank bereit, während die MapObjects-API darüber hinaus Funktionen zur Datenvisualisierung anbietet. Interessant ist eine direkte Anbindung mit Hilfe der SDE-API beispielsweise dann, wenn die Funktionalität der MapObjects-Bibliothek bezüglich der Datenzugriffe nicht ausreicht (z. B. beim Auslesen von Rasterdaten).

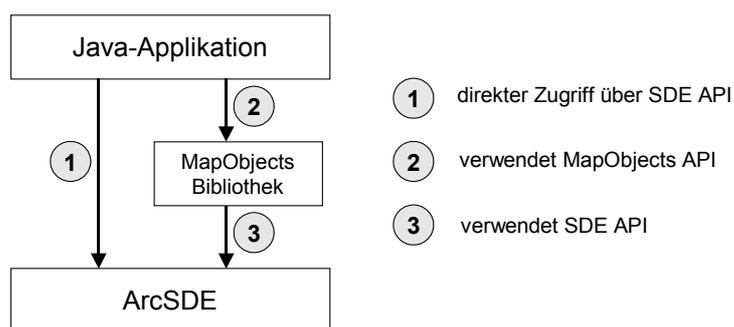


Abb. 4.2: Ausgewählte Schnittstellen für Zugriffe auf die Spatial DataBase Engine

Die Spatial DataBase Engine erstellt innerhalb der jeweiligen Datenbank ein Schema mit dem Namen SDE; darin sind Systemtabellen zur Verwaltung räumlicher Daten enthalten. Weitere Systemtabellen werden im Schema des jeweiligen Benutzers eingerichtet. Der Anwender kann nun entweder mit Hilfe

¹ Shape-Dateiformat: ein GIS-Industriestandard von ESRI.

² DXF-Format: ein CAD-Industriestandard von Autodesk.

³ SVG-Spezifikation: vorgeschlagen vom World Wide Web Consortium (W3C).

⁴ MrSID: Komprimierungsstandard für Rasterdaten von Lizardtech.

⁵ Der Geo-TIFF Standard wurde von über 140 Unternehmen etabliert. Online unter <http://www.remotesensing.org>.

vorgefertigter Programme wie ArcCatalog (oder über eine externe Programmiersprache und der SDE-API) eigene Tabellen anlegen, die räumliche Datentypen enthalten. Beim Einfügen von Raster- oder Vektordaten wird in die entsprechenden Tupel der Tabellen ein Identifikator geschrieben, der auf die Systemtabellen im Benutzer-Schema und im SDE-Schema verweist. Rasterdaten werden in den Systemtabellen als Binärobjekte gespeichert. Vektordaten werden entweder ebenfalls in Form von Binärobjekten oder als objektrelational strukturierte Geometriedatentypen gespeichert – der Anwender kann dabei auf die Art der Datenspeicherung Einfluss nehmen. Die vorgegebenen Möglichkeiten zur Vektordatenspeicherung entsprechen prinzipiell den Standardisierungsvorschlägen des OGC [s. OGC (Hrsg.) 1999].

Rasterdaten werden in der Spatial DataBase Engine als BLOB-Objekte gespeichert, die durch der Farbseparation in ihre roten, grünen und blauen Farbanteile zerlegt werden [ESRI 2003]. Die Farbanteile werden getrennt voneinander als sequentielle Byte-Folgen in den ESRI-Systemtabellen abgelegt und mit den benutzerspezifischen (bzw. vom Benutzer erzeugten) Tabellen referenziert. Optional kann eine Komprimierung der BLOB-Daten durchgeführt werden, dabei steht entweder eine (verlustfreie) LZ77-Komprimierung zur Auswahl, oder eine (verlustbehaftete) Datenkompression nach dem JPEG-Standard.

Ähnlich wie Rasterdaten, die über „raster columns“ für den Benutzer verfügbar sind, werden Tabellenspalten mit Vektordaten als „shape columns“ im Benutzer-Schema abgelegt. Da die Vektordaten in verschiedenen thematischen Kartenebenen organisiert sind, wird jedes einzelne geometrische Objekt (also jedes Feld bzw. Tupel in der „shape column“) einer Kartenebene zugeordnet. Darüber hinaus erhalten die geometrischen Objekte einen räumlichen Index, so dass raumbezogene Datenselektionen in kurzer Zeit durchgeführt werden können. Falls die Datenbank-Software raumbezogene Abfragen unterstützt (wie z. B. Oracle Spatial), so kann die Spatial DataBase Engine auf die vorhandenen vektorbasierten Indizierungsmechanismen zurückgreifen – andernfalls werden die Index-Strukturen der ESRI-Software verwendet.

Die Verknüpfungen zwischen den „shape columns“ der benutzerspezifischen Tabellen und den Systemtabellen mit den geometrischen Informationen werden unter anderem über eine spezielle Systemtabelle mit dem Namen „Layers“ realisiert. Diese Tabelle enthält Identifikatoren für alle Kartenebenen und referenziert über Schlüsselbeziehungen diejenigen Systemtabellen, in denen letztendlich die Vektordaten enthalten sind.

4.4 Benutzerinterface

Die Benutzeroberfläche für die GIS-Anwendung zum kulturellen Erbe wurde unter Verwendung der Entwicklungsumgebung Eclipse in der objektorientierten Sprache Java erstellt. Das Hauptfenster des Geoinformationssystems wird in der Abb. 4.3 in 16 verschiedene Bereiche untergliedert werden, die mit Nummern hervorgehoben und entsprechend im nachfolgenden Text referenziert werden.

Die Oberfläche wurde zur Trennung von applikationsspezifischer und kartografischer Funktionalität in zwei Pakete aufgeteilt. Der applikationsspezifische Teil besteht aus Java-Klassen (vgl. Nummer 1-8 in Abb. 4.3) für Komponenten wie beispielsweise Tabellen, Textfelder, Schaltflächen, etc. Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt über dynamisch generierte SQL-Statements. Die Datenbankanweisungen wurden mit der grafischen Oberfläche verknüpft, wobei die Einbindung der Oracle JDBC-Extensions problemlos erfolgte.

Der kartografische Teil beinhaltet diejenigen Java-Klassen, die mit den Nummern 9 bis 16 referenziert sind. Die grafischen Objekte wurden alle zusammen auf ein so genanntes JPanel (eine rechteckige Container-Komponente) gesetzt. Somit steht für künftige Applikationen, beispielsweise einem internetfähiges Applet, ein „GIS-Panel“ als fertiges Modul zur Verfügung.

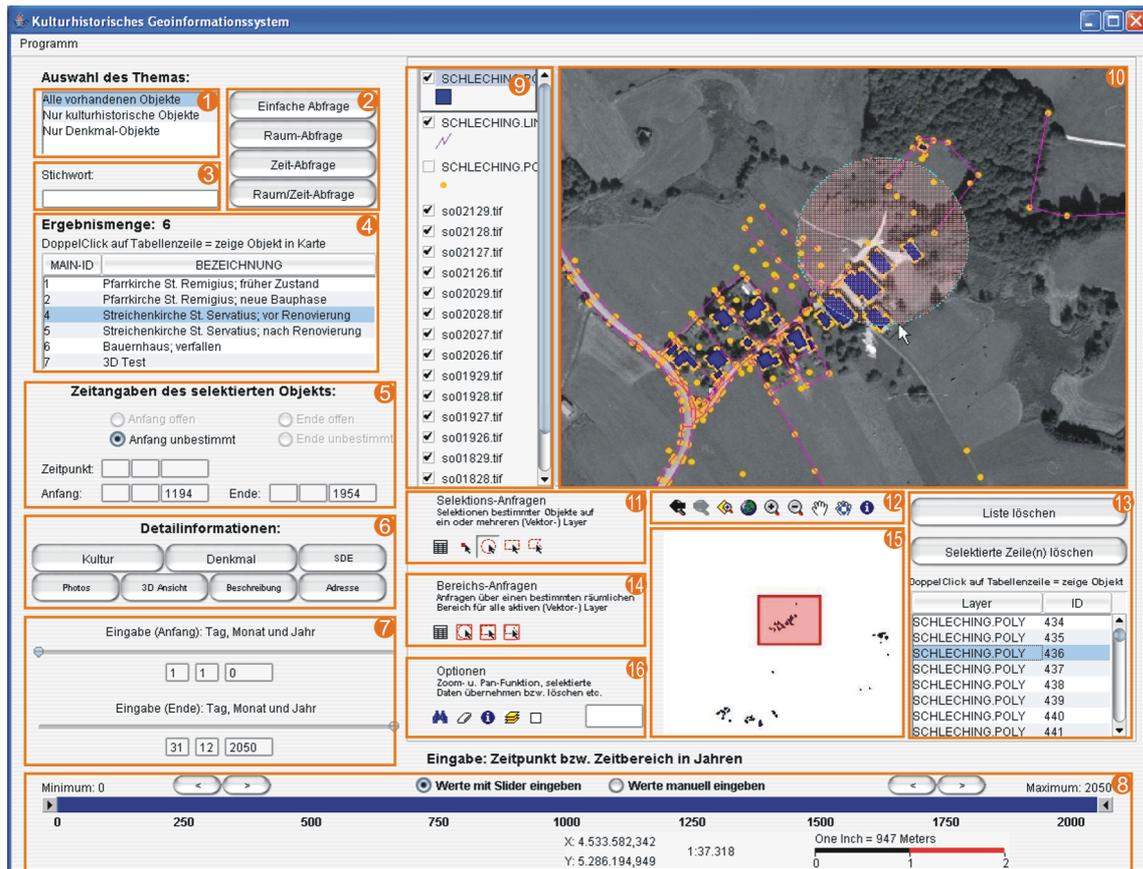


Abb. 4.3: Die Benutzeroberfläche des erstellten Geoinformationssystems

4.5 Objektorientierte temporale GIS-Anfragen

Das Auskunftsmodule ermöglicht dem Benutzer die Auswahl eines geografischen Teilgebiets sowie die Selektion eines historischen Zeitpunkts oder Zeitraums und gibt daraufhin eine entsprechende Ergebnismenge von Objekten zurück.

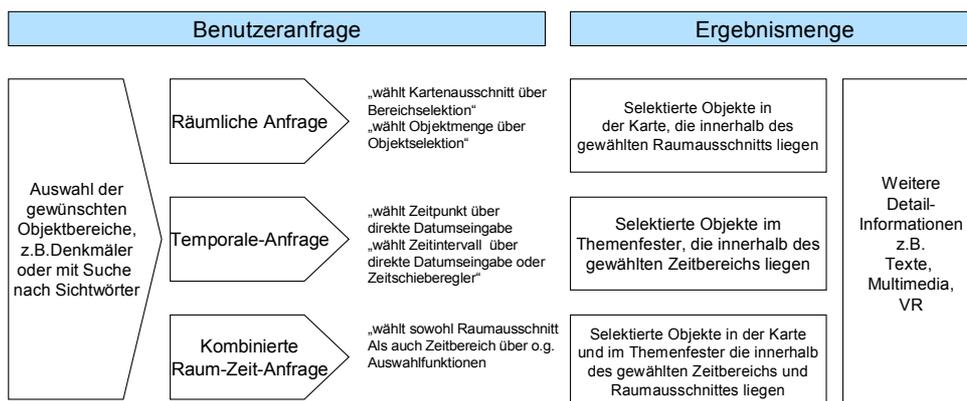


Abb. 4.4: Mögliche Anfrageoptionen in der Benutzeroberfläche

Die Selektion kann mit weiteren (optionalen) Selektionskriterien (z. B. Stichwörter und Beschränkung auf bestimmte Objektbereiche) kombiniert werden.

Zu der resultierenden Ergebnismenge können anschließend Detailinformationen wie beispielsweise Photos oder beschreibende Texte abgerufen werden.

Außerdem ist es möglich, die ausgegebenen Objekte (bzw. einzelne Objekte der erhaltenen Selektionsmenge) in der Karte mit ihrer geometrischen Ausprägung zu visualisieren – dabei wird der jeweilige Kartenausschnitt mit Raster- und Vektordaten im Maßstab entsprechend verändert.

Eine andere Möglichkeit des Auskunftssystems ist die räumliche Identifizierungsfunktion von Objekten, zu denen dann Detailinformationen angezeigt werden. Dabei besteht auch die Möglichkeit, Objektselektionen mit Hilfe von punkt- oder flächenbezogenen Selektionswerkzeugen durchzuführen und darüber hinaus Flächen-Verschneidungen von räumlichen Gebieten zu berechnen.

Im Kartenfenster der GIS-Applikation erfolgt die Visualisierung von georeferenzierten Raster- und Vektordaten, die in übereinander liegenden Ebenen unabhängig voneinander ein- oder ausgeblendet werden können. Die Überlagerung bzw. die Deckungskraft jeder einzelnen Ebene kann anhand von verschiedenen Prioritäten anwenderspezifisch festgesetzt werden. Weiterhin sind „Zoom“- „UnZoom“- und „Pan“-Funktionen im jeweiligen Kartenausschnitt verfügbar.

Neben der Abfrage und Ausgabe von Informationen zu kulturhistorischen Einzelobjekten, können auch flächenhafte Veränderungen, beispielsweise die Entwicklung von historischen Siedlungs- und Kulturlandschaften analysiert werden.

4.5.1 Thematische Selektion

Eine wichtige Funktion des Informationssystems sind Datenbankabfragen mit bestimmten Selektionskriterien. Die Auswahl des Themas (Nummer 1) in Abb. 4.3 wirkt sich dabei auf die verschiedenen Arten von Datenbankabfragen (Nummer 2) aus. In diesem Zusammenhang enthält die Ergebnistabelle (Nummer 4) entweder alle Kategorien von Objekten, nur Denkmal-Objekte oder ausschließlich Objekte aus dem Bereich der Kulturlandschaft.

Weiterhin können Einschränkungen der Selektionsmenge über Stichwortangaben realisiert werden (Nummer 3), da zu jedem Kulturerbeobjekt in der Datenbank beliebige Stichworte gespeichert werden können. Sobald das Stichwort-Textfeld eine Zeichenfolge enthält, wird diese bei allen Datenbankabfragen berücksichtigt.

Die Datenbankabfrage wird gestartet, indem eine der vier verschiedenen Schaltflächen in Nummer 2 ausgewählt wird. Einfache Abfragen berücksichtigen weder zeitliche noch räumliche Angaben und sind somit einfach handhabbar. Kombinierte thematische und räumliche Anfragen wirken sich auf alle im Kartenfenster selektierten Objekte aus. Wenn also beispielsweise 500 Objekte im Kartenfenster markiert sind, dann werden diese zu Beginn der räumlichen Anfrage temporär in eine Datenbanktabelle übertragen. Um den Einfüge-Vorgang zu beschleunigen wird im Java-Quelltext ein sog. PreparedStatement verwendet - dies wird als vorkompiliertes SQL-Insert-Kommando an die Datenbank gesendet und entsprechend iteriert. Anschließend folgt eine SQL-Select-Anfrage, die eine entsprechende Verknüpfung der Tabellen durchführt und die Ergebnismenge nach den vorgegebenen thematischen und räumlichen Kriterien einschränkt.

4.5.2 Temporale Selektion

Um Datenbankabfragen zusätzlich zur Methode MEETS in Abhängigkeit von der zeitlichen Komponente durchzuführen, können Tage, Monate und Jahre eines Anfangs- bzw. End-Zeitpunkts eingegeben (Nummer 7) oder über den Schiebe-Regler (Nummer 8) ausgewählt werden. Die beiden Regler für die Auswahl von Monaten- und Tagen sind mit der Jahresangabe durch den Schieberegler gekoppelt. Falls ein Schaltjahr ausgewählt ist, dann wird der 29. Februar als zusätzlicher Tag berücksichtigt. Die Änderung eines Wertes für die Jahresangabe zieht grundsätzlich die Initialisierung der Schiebe-Regler für die Monats- und Tagesangaben nach sich. Durch diese Initialisierung können inkonsistente Zustände vermieden werden, die beispielsweise auftreten, wenn einer der Regler bei Nummer 7 genau auf den 29. Februar zeigt und die entsprechende Jahresangabe (Nummer 8) verändert wird. Die festgelegten Werte für Jahre, Monate und Tage werden dabei als Variablen in die SQL-Select-Anfrage eingebracht. Da die Angaben für Tage und Monate in der Datenbank jeweils Null-Werte enthalten dürfen (bzw. nicht belegt

sein müssen) und darüber hinaus auch Schaltjahre berücksichtigt werden sollen, ergibt sich in diesem Fall eine sehr komplexe SQL-Select-Anfrage, die sich über mehrere Seiten erstreckt.

Beispiel: Jahr=1900, Monat=Februar, Tag=nicht belegt. Das Jahr 1900 war kein Schaltjahr (obwohl 1900 ohne Rest durch vier teilbar ist) und somit muss die Angabe für den Tag als Wert von 1 bis 28 interpretiert werden und nicht als Wert von 1 bis 29.

In Abb. 4.5 sind die Fälle dargestellt, die bei der Abfrage von Objekten zu einer bestimmten Zeitspanne berücksichtigt werden müssen.

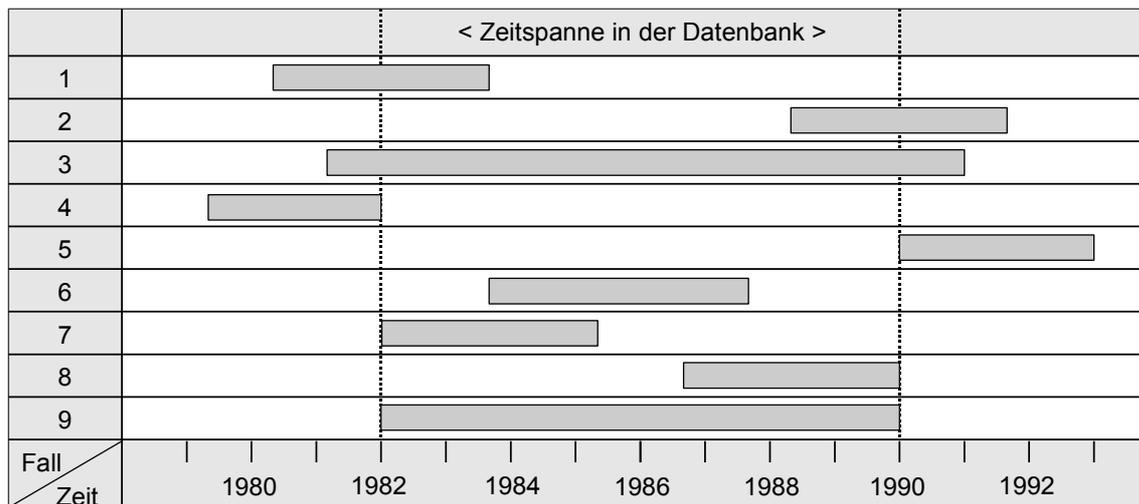


Abb. 4.5: Auswertung von Zeitspannen, Quelle: HOCHHÄUSLER 2003

Die horizontalen Balken repräsentieren diejenigen Kategorien von Zeitspannen, die bei einer entsprechenden Datenbankabfrage zur Ergebnismenge zählen würden. Mit Ausnahme von Fall 3 liegt mindestens einer der beiden Begrenzungspunkte der Zeitspanne (Anfangs- bzw. End-Zeitpunkt) im abgefragten zeitlichen Bereich der Datenbank. Die Zeitspannen der Fälle 4 und 5 müssen innerhalb der SQL-Abfrage gesondert geprüft werden. So kann entschieden werden, ob sich die jeweilige Zeitspanne mit dem abgefragten Zeitbereich in der Datenbank überschneidet.

Die Ergebnismenge aus der Datenbank wird in der Tabelle (Nummer 4) dargestellt; dazu können weitere Detailinformationen abgerufen werden. Die Selektion einer Tabellenzeile erfolgt über ein Maus-Ereignis und zieht die Aktualisierung von Zeitangaben bei Nummer 5 nach sich. Somit wird ersichtlich, ob dem ausgewählten Kulturerbeobjekt ein Zeitpunkt oder eine Zeitspanne zugeordnet ist.

Die Schaltflächen der Detailinformationen (Nummer 6) werden nur dann aktiviert, wenn eine Tabellenzeile (Nummer 4) selektiert ist. Nach dem Betätigen von einer der sechs Schaltflächen wird ein neues Fenster erzeugt, das detaillierte Informationen zum selektierten Objekt bereitstellt.

Die Schaltflächen „Kultur“, „Denkmal“, „Photos“, „3D-Ansicht“, „Adresse“, „Beschreibung“ und „SDE“ zeigen jeweils Fenster mit verschiedenen Textfeldern, die mit Datenbankinhalten gefüllt sind. Die Fenster der Schaltfläche „Photos“ visualisieren neben den Text-Informationen gegebenenfalls auch Multimediadaten.

4.5.3 Räumliche Selektion

Die kartografische Funktionalität der erstellten Software konzentriert sich auf die Komponenten mit den Nummern 9-16 in Abb. 4.3. Die TOC (Table Of Contents, siehe Nummer 9) enthält mehrere Kartenlegenden die jeweils mit einer Ebene im Kartenausschnitt (Nummer 10) referenziert sind. Die einzelnen

Legenden können selektiert werden und mit Hilfe einer CheckBox sichtbar bzw. unsichtbar geschaltet werden¹. Diese Auswahl bzw. dieser Fokus wirkt sich dann auf Selektionen aus (Nummer 11).

Selektionsanfragen (Nummer 11) beziehen sich grundsätzlich auf eine Kartenlegende und somit auch auf eine Kartenebene. Die einzelnen Schaltflächen ermöglichen punktuelle, kreisförmige, rechteckige oder polygonale Selektionsbereiche. Die Selektionsbereiche repräsentieren geometrische Figuren, die mit Hilfe von so genannten Filter-Objekten mit der gewählten Kartenebene überlagert werden. Alle Objekte innerhalb eines Filters werden farblich markiert und in eine (vorerst nur virtuelle) Selektionsmenge übertragen. Eine (von MapObjects vordefinierte) Schaltfläche zur Anzeige bestimmter Attribute von selektierten Objekten ist auf der linken Seite der Selektionswerkzeuge (Nummer 11) zu finden. Dabei werden jedoch nicht die Attribute des verknüpften objektrelationalen Sachdatenmodells dargestellt, sondern Zusatzinformationen aus der Spatial DataBase Engine bzw. aus entsprechenden Shape-Dateien. Insofern hat diese Schaltfläche keine bedeutsame Funktion für die GIS-Applikation.

Bereichsanfragen (Nummer 14) ermöglichen ähnlich wie Selektionsanfragen eine Überlagerung von kartografischen Objekten. Diese Anfragen berücksichtigen jedoch normalerweise nicht nur eine Kartenebene, sondern beziehen sich auf alle sichtbaren Vektor-Ebenen. Somit erfolgt eine Überlagerung von einem kreisförmigen, rechteckigen oder polygonförmigen Selektionsbereich mit mehreren Kartenebenen. Die Selektionsmenge von jeder einzelnen Ebene wird dann entsprechend erweitert.

Verschiedene Optionen (Nummer 16) bieten zusätzliche Möglichkeiten für den Umgang mit räumlichen Daten. Auf der linken Seite befindet sich eine Schaltfläche für die Objektsuche. Diese Schaltfläche ist von MapObjects vordefiniert, sie stellt somit nur eine allgemeine Möglichkeit zur Suche von Objekten bereit. Die beiden (rechts angrenzenden) Schaltflächen bieten Funktionen zum Löschen der selektierten Objekte in der Karte und für die Identifikation einzelner Objekte. Die Identifikationsfunktion öffnet ein neues Fenster und zeigt Informationen zu einem Objekt aus der Karte an. Falls es sich dabei um ein Kulturerbe-Objekt handelt, werden weitere Detailinformationen visualisiert. Je nach dem, welche Informationen zu dem ausgewählten Objekt in der Datenbank gefunden werden, zeigt die GIS-Benutzeroberfläche ein entsprechend angepasstes Fenster mit Zusatzinformationen.

Spezielle Werkzeuge für die Anpassung des gewünschten Kartenausschnitts befinden sich unterhalb des Kartenfensters bei Nummer 12. Dabei ermöglichen die ersten beiden Schaltflächen eine Art „History“-Funktion, die die jeweils vorangegangenen bzw. nachfolgenden Bildausschnitte speichern und wiederherstellen können. Die folgenden beiden Schaltknöpfe setzen den Kartenausschnitt auf die (durch die Legende) fokussierte Kartenebene bzw. auf den kleinst möglichen Maßstab. Die übrigen Schaltflächen bieten eine „Zoom“- und „UnZoom“-Funktion, sowie zwei verschiedene „Pan“-Funktionen zum Verschieben des jeweiligen Kartenausschnitts.

Eine Tabelle sowie zwei zugehörige Schaltflächen im rechten unteren Bereich des Fensters (Nummer 13) geben dem Benutzer die Möglichkeit, bestimmte Objekte aus der Karte in einer Art Zwischenspeicher auszulagern. Bei Betätigung der gelben Schaltfläche (Nummer 16) werden alle momentan selektierten kartografischen Objekte in die Tabelle (Nummer 13) übertragen. Durch die Löschfunktionen (Nummer 13) können dann ausgewählte bzw. unerwünschte Tabellenzeilen gelöscht werden und es entsteht eine spezifische Selektionsmenge.

Das Übersichtsfenster (Nummer 15) zeigt in einer bestimmten Kartenebene ein rotes halb transparentes Rechteck, dessen Größe und Position sich in Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung und Position des jeweiligen Kartenausschnitts (Nummer 10) verändert. Die Verschiebung des roten Rechtecks im Übersichtsfenster bewirkt eine Aktualisierung des Kartenausschnitts.

¹ Dies kann auch programmgesteuert geschehen: Die Methode setVisible kann auf eine Kartenebene angewendet werden und wirkt sich automatisch auf die sog. CheckBox in der Legende aus.

4.6 Datenquellen

4.6.1 Digitalisierung historischer Flurkarten

Vom Bayerischen Landesvermessungsamt (BLVA) sind historische Flurkarten aus der Zeit der ersten bayerischen Grundstücksvermessung (Uraufnahme und Renovationsmessung) von 1808 bis 1864 in gescannter Form erhältlich. Diese eignen sich beispielsweise für Recherchen und Darstellungen bezüglich der Heimatgeschichte und Flurnamenforschung, der Erforschung alter Siedlungsstrukturen, Wege- und Gewässerläufe oder früherer Bodennutzungen. Im Zuge der Uraufnahme wurden in den Jahren 1808 bis 1817 zunächst für den Regierungsbezirk Oberbayern mittels des Verfahrens der Messtischaufnahme erste Flurkartenblätter erfasst.

Zur Abbildung von ellipsoidischen Koordinaten der Erdoberfläche in eine Kartenebene kommen Projektionen zum Einsatz, die mit unterschiedlichen Verzerrungen einhergehen. Als aktuelle amtliche Koordinaten dienen in Bayern bzw. Deutschland die Gauss-Krüger-Koordinaten, die durch eine transversale Mercatorprojektion entstehen [FLACKE, KRAUS 2003]. Die Erfassung der bayerischen Flurkarten erfolgte dagegen ursprünglich im Soldnerschen Bezugssystem, das heute nur noch historische Bedeutung hat und ausführlich bei ZIEGLER [1976] beschrieben wird. Als Bezugsfläche dient hier die Soldner-Kugel, die das Laplace-Ellipsoid längs des Parallelkreises in München berührt. Die Soldnersche Polyederprojektion ist im Rahmen der geforderten Genauigkeit praktisch längen-, flächen- und winkeltreu und eine Abbildung der Kugel-Oberfläche auf die Mantelfläche eines Polyeders. Die Abbildung wird hierbei auf eine Ebene projiziert, die durch die vier Ecken eines Kartenblatts gelegt wird [vgl. BAUER 1995, ZIEGLER 1976].

Zur Erfassung der Flurkarten [vgl. FICHTINGER 2004] wurde im Projekt in ArcCatalog eine Geodatabase mit folgenden Parametern angelegt: Als Bezugssystem wurde das GK-System der aktuellen Landesvermessung mit dem 12° Bezugsmeridian (Zone 4) übernommen. Die räumliche Ausdehnung wurde anhand des Wertebereich der X- und Y-Koordinaten („X/Y Domain“) auf etwa die Größe des Untersuchungsgebietes festgesetzt.

Bevor die Datenquellen in diese Datenbank integriert werden konnten, mussten sie durch Scannen, Georeferenzieren, Entzerren und Vektorisieren mit erheblichem Aufwand aufbereitet werden.

Uraufnahme und Renovationsmessung wurden vom Bayerischen Landesvermessungsamt als TIFF-Dateien geliefert. Die am Vermessungsamt Traunstein und im Bayerischen Hauptstaatsarchiv vorhandenen Flurkarten konnten zum Einscannen an das BLVA gegeben werden, wo sie in einem DIN A0 Durchlaufscanner mit einer Auflösung von 300 dpi zu TIFF-Dateien verarbeitet wurden.

Die durch Scannen erzeugten Rasterdaten der Flurkarten wurden mit Hilfe der Software SICAD-RBS am Bildschirm georeferenziert. Dabei wurden die Ist-Koordinaten in den zu referenzierenden Rasterbildern gemessen und über die Tastatur die GK-Koordinaten der Blattecken der Flurkarten (Passpunkte) als Sollkoordinaten eingegeben. Die Blattecken-Koordinaten für bayerische Flurkartenblätter werden von der Bayerischen Vermessungsverwaltung mit Hilfe des Programms „blattek“ bereitgestellt, da der Soldnersche Blattschnitt auch nach Umstellung auf GK-Koordinaten noch beibehalten wurde und mittels einer maschenweisen affinen Transformation unter Berücksichtigung von Festpunkten, die sowohl im Soldner- als auch in GK-System vorliegen, ermittelt wurden [ZIEGLER 1976]. Die Rasterdaten wurden in SICAD-RBS unter Verwendung einer gemischt-affinen Transformation entzerrt. Als Resampling-Methode wurde hierbei „nächster Nachbar“ gewählt, weil bei dieser Methode keine neuen Pixelwerte (Farben) interpoliert, sondern die im Originalbild vorkommenden erhalten werden. Die Ausgabeskaliierung für die entzerrten Rasterbilder wurde aus dem Maßstab der Originalkarten und der Scanauflösung berechnet [FICHTINGER 2004].

Generell ist bei historischen Karten auf die jeweilige Projektion und die bei Transformationen entstehenden Verzerrungen zu achten. Im Falle der Georeferenzierung der Flurkarten war zu prüfen, ob das

gewählte Verfahren über die Blattecken ausreichend ist, um auch im Inneren der Karte keine unnötigen Genauigkeitsverluste zu erhalten. BAUER [1995] setzte für diesbezügliche Untersuchungen die Affintransformation ein, da bei einer Überführung vom Soldner- ins GK-System unterschiedlich große Verzerrungen in beiden Achsrichtungen und Schereffekte kompensiert werden müssen, letztere durch zwei für jede Achse beliebige Drehungen. Zudem bleiben Geraden bei der Affintransformation Geraden und Parallelen bleiben Parallelen. Die Restklaffungen entstehen dann beispielsweise aufgrund der Abbildung des angenäherten Quadrats des Flurkartenblatts im Soldner-System auf ein Parallelogramm im GK-System, und nicht der erforderlichen Abbildung auf ein Trapez. „Da aber im Gebiet von Bayern im Bereich einer Flurkarte die Kartenbegrenzungen im GK-System auch noch als parallel betrachtet werden dürfen, entstehen durch den beschriebenen Effekt vernachlässigbar kleine Fehler“ und die Genauigkeit der Affintransformation hängt daher in erster Linie direkt von den GK-Blatteckenwerten der einzelnen Flurkarten ab [Bauer 1995].

Zur Georeferenzierung und Verringerung der Verzerrungen im Inneren der Kartenblätter schlagen JÄSCHKE u. MÜLLER [1999] ein zweistufiges Vorgehen vor. Zuerst eine Grobreferenzierung, beispielsweise über die Blattecken als Passpunkte, und danach eine Feinreferenzierung. Dazu sollten ca. 15 bis 20 identische Punkten in der zu referenzierenden historischen Karte und einer aktuellen Referenzkarte als Passpunkte (z. B. markante Gebäude, Kirchen, Straßen- und Wegekrenzungen etc.) gewählt werden. Informationen über die Entstehung des historischen Kartenwerks und die Entwicklung des Untersuchungsgebiets sind hierfür notwendig, da Fehler bei der Passpunktwahl das Endergebnis zusätzlich verschlechtern können.

Die entzerrten Rasterbilder der Flurkarten wurden in ArcMap geladen und am Bildschirm im Darstellungsmaßstab 1:1.000 manuell vektorisiert. Dabei wurde jeder Zeitschnitt unabhängig in einen eigenen Layer vektorisiert. Als Geometrie-Objekte wurden die Polygone der Nutzungspartellen vektorisiert und deren Attribute durch visuelle Bildinterpretation beim Vektorisieren aufgenommen. Die Gebäude dieser Zeitschnitte wurden zuerst auch als Polygone mit den Nutzungspartellen vektorisiert, in einem zweiten Schritt aber in einen eigenen Gebäude-Layer exportiert. Für die erzeugten Layer wurden in der Geodatabase Metadaten nach dem amerikanischen FGDC¹-Standard, wie er in ArcGIS implementiert ist, gespeichert.

Eine Möglichkeit, den sehr hohen Arbeitsaufwand einer manuellen Vektorisierung zu verringern, wäre der Einsatz von halbautomatischen Vektorisierungswerkzeugen, wie ihn BÖHLER, MÜLLER u. WEIS [1999] beschreiben. Dieser ist allerdings nur bei einfach aufgebauten Karten sinnvoll und erfordert meist eine zusätzliche manuelle Nachbearbeitung. Im Falle der historischen Flurkarten erschien eine halbautomatische Vektorisierung nicht realisierbar, da die Karten neben den Flurstücksgrenzen eine Fülle von weiteren Linienelementen, u. a. flächige Signaturen, Beschriftungen, im Fall der Uraufnahme sogar Bergschraffen, sowie unregelmäßig gestrichelte Linien zur Abgrenzung der Nutzungsarten enthalten [FICHTINGER 2004].

Die ausgewählten Luftbilder wurden ebenfalls anhand von Passpunkten in SICAD-RBS georeferenziert, wobei die Ist-Koordinaten in den zu referenzierenden Rasterbildern gemessen und die Soll-Koordinaten aus Orthofotos als Referenzbilder bestimmt wurden. Die anschließende Entzerrung fand unter denselben Parametern wie bei den Flurkarten statt. Die Orthofotos konnten direkt in das GIS übernommen werden.

4.6.2 Bebilderte Denkmalliste

Zu Beginn des Projektes erstellte das Landratsamt Traunstein gemeinsam mit dem Landesamt für Denkmalpflege eine bebilderte Denkmalliste. Eine gekürzte Version mit jeweils prägnanten Texten und Bildern wurde dem GIS-Projekt für kulturelles Erbe zur Verfügung gestellt. Die Georeferenzierung erfolgte

¹ FGDC: Federal Geographic Data Committee

durch Zuweisung der Sach- und Multimediadaten zu bestehenden Objektgeometrien der Gebäude in der Digitalen Flurkarte.

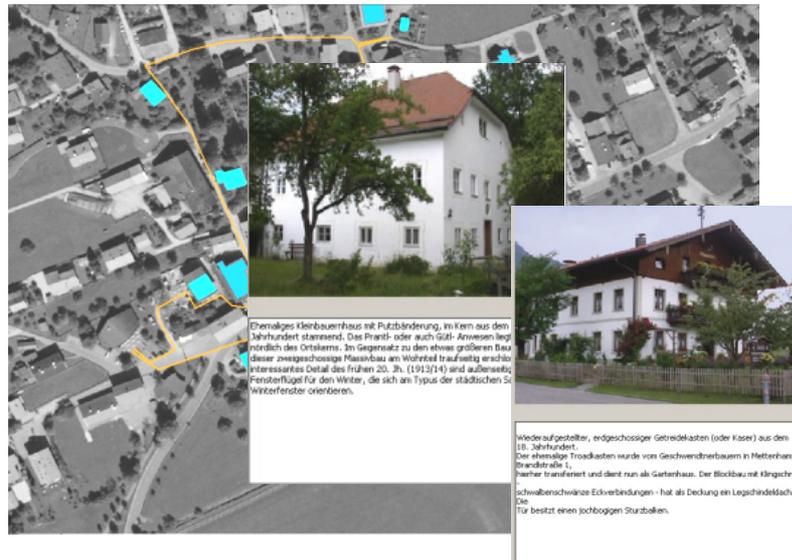


Abb. 4.6: Beispiele aus der bebilderten Denkmalliste des Landkreises, Quelle: Landratsamt Traunstein 2001

4.6.3 Historisches Lexikon

Weitere wertvolle Einzelhinweise und Bilddaten lieferte das digitale historische Lexikon von HELMUT BIRNER, das „ein Versuch [ist], Geschriebenes, Gehörtes, Erzähltes, Archiviertes, Behördliches, Gelebtes, Fotografiertes, "Gesammeltes", Journalistisches, Traditionelles, Kulturelles o. ä., alphabetisch zusammenzustellen“. Die Georeferenzierung erfolgte durch Zuordnung der Bilder und Texte zu einzelnen Objekten.

- ⊕ **A**
- ⊖ **Abfahrtsstrecke Geigelstein** [_NB.DOC - Geigelstein](#)
- ⊖ **Abwasserbeseitigung** [_WXYZW1.DOC - Wasserwirtschaft](#)
- ⊕ **Achberg**
 - ⊖ siehe > [_NOI.DOC - Achberg](#)
- ⊕ **Ache**
 - ⊖ siehe > [_GG.DOC - Fluß](#)
- ⊕ **Achenkorn**
 - ⊖ = Verbaumung
- ⊕ **Almen**
 - ⊕ **Allgemein**
 - ⊕ Almgeschichte
 - ⊖ 2001.03. > Alm: „Schriftlicher Beweis für römischezeitliche Alm nördlichen Kalkalpen“.
 - ⊕ Almabtrieb
 - ⊖ Almabtrieb 1947 Wuhusteinalm: [_LEXGRAFWuhust5.tif](#)
 - ⊖ Almabtrieb, Kühe auf der alten Reitener Achenbrücke: [_ALEX](#)
 - ⊖ Bilder vom Almabtrieb zw. 1965 und 1970 von der Haideralm im Kaser, 2. Bild auf der damals neuen Achenbrücke mit Streichenb: [_LEXGRAFWHaider3.tif](#)
 - ⊖ Senner Gerhard Sinsch, Bäckersalm, 1974 und etwa 1990: [_ALE](#)
 - ⊖ Almabtrieb: Schlaglöcher Milch mit aufgekranzter Kuh im Garten Degenfeldhaus, Aufn. Sig. Hell: [_LEXGRAFKG392.tif](#)
 - ⊖ 2000.12. > Alm: „Fahr na ho am – von der Wuhustein nach Sch beim „Graf““
 - ⊕ Almbauer
 - ⊖ "Der Almbauer", Zeitschrift des "Almwirtschaftlichen Ver- Mitteilungen für Alm-, Berg-, und Grünlandbauern und üb
 - ⊖ Erscheint 11 x im Jahr.
 - ⊖ 1947 wurde der AVO gegründet, Remigius Pletschacher, Grafins gehörte der Vorstandschafft und dem Beirat an.
 - ⊖ Näheres siehe Alm Jubiläumsausgabe vom Oktober 1997, 119.
 - ⊖ Veröffentlichungen mit Bezug zu den Schlechinger Almen und al die Alm.
 - ⊖ 1991.07. > Alm: Naturschutzgebiet Geigelstein ist Tatsache
 - ⊖ 1992.08. > Alm: Das Forstamt Marquartstein
 - ⊖ 1993.06. > Alm: Weiderecht in Oberbayern, von P. Höglmüller
 - ⊖ 1993.08. > Alm: Einladung: 46. Almbauertag, Bericht über H



Almabtrieb von der Haideralm ca. 1978 mit Modell als Sennerin



Bilder aus dem Album von Senner Gerhard Sinsch, Bäckersalm

Herbeitragung: Helmut Birner Sept. 2008

Abb. 4.7: Auszug aus dem historisches digitalen Lexikon von HELMUT BIRNER

4.7 Fazit der Implementierung

Anhand der exemplarischen Implementierung konnte die technische Machbarkeit und die Leistungsfähigkeit eines neuen Ansatzes zur Erweiterung von GIS auf Basis eines im GIS-Markt etablierten objektrelationalen Datenbanksystems für die Anwendung kulturelles Erbe nachgewiesen werden. In einfacher Weise kann ein Anwender über die fachliche „Objektsicht“ eines Kulturerbe-Objektes auf umfangreiche Vektor-, Raster- und Sachdaten zugreifen, die in unterschiedlicher Form gespeichert vorliegen. Komplexe raum-zeitliche Abfragen können in vielfältiger Weise kombiniert und auf den Datenbestand angewendet werden.

Der Abbildungsprozess vom objektorientierten konzeptionellen Modells in die Datenbankstruktur mit objektrelationalen Erweiterungen kann aufgrund der ähnlichen Konzepte direkter und mit geringerer Abbildungslogik als im Vergleich zu relationalen Datenbankmodellen erfolgen.

Als Vorteile einer integriert objektrelationalen Datenhaltung sind im Wesentlichen die uneingeschränkte Modellierbarkeit komplexer 4D-Objekte und deren Beziehungen, die Wahrung der Konsistenz zwischen Geometrie-, Sach- und Multimediadaten sowie die Möglichkeit eines systemunabhängigen Zugriffs auf die Geodatenbasis zu sehen. Diese Vorteile können sich insbesondere beim Aufbau von GIS für eine langfristige und breite Nutzung der Datenbasis und der modularen Erweiterbarkeit des Datenbestandes um zusätzliche Objektarten auswirken.

Für die Aufbereitung der historischen Datenquellen ist ein großer Recherche- und Erfassungsaufwand nötig. Automatische Verfahren lassen sich nur bedingt einsetzen, wenn die notwendige Genauigkeit und Vollständigkeit gegeben ist.

Insgesamt gehörte die Bereitstellung der kartografischen Funktionalität zu den umfangreichsten Programmieraufgaben. Die kartografische Software-Bibliothek vereinfacht dabei in der programmierten GIS-Lösung die Zugriffe auf Geodaten, da die zugrunde liegenden Datenquellen (Datenbanken, Dateien) über ein universelles Interface in das Programm angebunden werden können.

Datenbankinterne Erweiterungen der führenden Herstellersysteme bieten immer umfangreichere Funktionen und Werkzeuge zur Verwaltung und einfachen Visualisierung von Geodaten an, die beispielsweise als fertig kompilierte Java-Schnittstelle in ein Programm eingebunden werden können. Deutlich verbesserte Funktionalität steht in neueren DBS auch für die Speicherung von Rasterdaten zur Verfügung. Angesichts dieser Entwicklung stellt sich die Frage, ob eine vollständige Integration von räumlichen Datentypen und Funktionen in ein Datenbanksystem GIS-Software-Produkte verdrängen werden.

Kapitel 5 Ausgewählte Anwendungsbeispiele des temporalen GIS für kulturelles Erbe

5.1 Flächenhafte Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung

Im Folgenden wird die temporale Darstellung und Auswertung der flächenhaften Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung beispielhaft an einem Teilbereich der Gemeinde Schleching im Achantal vorgestellt.

Für das Projektgebiet liegen kleinmaßstäbige historische Karten (z. B. die Landtafeln von Apian aus dem Jahr 1566 mit angestrebten Maßstab von 1:144.000 und mittlerem Punktfehler von $\pm 2,7$ km oder der Carte de la Bavière von Aubert, K7 aus dem Jahre 1806, veröffentlicht 1900 im Maßstab 1:100.000) vor, die nach einer entsprechenden Georeferenzierung topografische Inhalte und beispielsweise die Existenz und Lage von Siedlungen zu verschiedenen Zeitschnitten vor allem visuell dokumentieren können. Genauere topografische Karten im Maßstab 1:25.000 liegen in Bayern erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts vor (vorher Positionsblätter, seit Anfang des 19. Jahrhunderts).

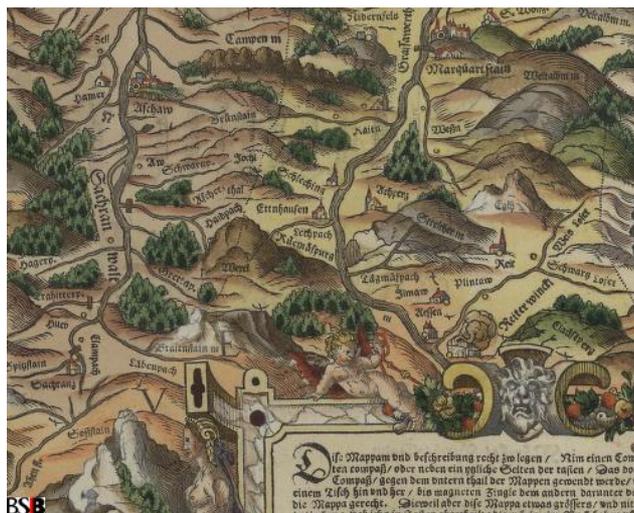


Abb. 5.1: Bairische Landtafeln von Apian, Amman, Wolf, Maßstab 1:144.000
Quelle: Bayerisches Staatsarchiv Online



Abb. 5.2: Carte de la Bavière von Aubert, L. K7 aus dem Jahre 1806, veröffentlicht 1900 im Maßstab 1:100.000, Quelle: Bayerisches Staatsarchiv Online

Im Gegensatz hierzu liegen für den Zeitraum des 19. Jahrhunderts bis heute flächendeckend und qualitativ hochwertig großmaßstäbige Karten vor, deren Verwendbarkeit für historische Auswertungen zunehmend Interesse findet. Durch den Einsatz von Flurkarten wird eine parzellenscharfe Analyse der historischen Landschaftsstruktur möglich. Der Betrachtungsmaßstab 1:5.000 ermöglicht überdies die Integration der Ergebnisse der Untersuchungen in die kommunale Fachplanung der untersten Ebene.

Im Projektgebiet wurden daher zur Untersuchung des Potenzials von historischen Karten, die in mehreren Zeitschnitten vorliegen, einige großmaßstäbige Datenquellen ausgewählt und deren Verwendbarkeit für GIS-gestützte, raum-zeitliche Analysen in der Kulturlandschaftsforschung in einer Diplomarbeit ausgewertet. Dazu wurden die Datenquellen charakterisiert, vektorisiert und in ein GIS integriert [FICHTINGER 2004].

Der Zustand der Kulturlandschaft im Untersuchungsgebiet wurde zu den vier Zeitschnitten 1810, 1851, 1941 und 2003 für ein Flurkartenblatt SO XX 27 aufgezeigt und diachronisch verglichen (s. Anhang C). Dabei erfolgte eine progressive Vorgehensweise vom ältesten zum jüngsten Zeitschnitt. Die Ergebnisse wurden in einer temporalen Kartenserie und in Kulturlandschaftswandelkarten nach Entwicklungstypen dargestellt, in denen Veränderungstypen ausgehend von der alten Nutzung auf die neue Nutzung erfasst werden können [BENDER, JENS 2001]. Es kam eine quantitative, GIS-gestützte Methodik zum Einsatz, die den Kulturlandschaftswandel anhand von Veränderungen der Gesamtflächen und Flächenanteile der Landnutzungsarten in einer Flächenbilanz darstellt.

5.1.1 Großmaßstäbige Datengrundlagen

Die älteste vorliegende Katasterkarte des Bayerischen Landesvermessungsamtes stammt aus der Uraufnahme von 1808-1817. Diese und die Renovationsmessung von 1851-1863 erfolgten durch eine Mess-tischaufnahme im ursprünglichen Soldner-Bezugssystem. 1960 wurde das GK-System eingeführt und ab 1987 mit der Herstellung der digitalen Flurkarte begonnen, die zukünftig im ALKIS-Format abgegeben wird.

Zur Aufbereitung wurden die Daten gescannt, anschließend georeferenziert und mit Hilfe der Flurkarten-plattecken entzerrt. Die manuelle Vektorisierung von Nutzungsparzellen-Polygonen wurde in ArcGIS für die Zeitschnitte 1810, 1851 und 1941 durchgeführt. Der Zeitschnitt der digitalen Flurkarte von 2003 wurde mit ausgewählten Daten aus dem Automatisierten Liegenschaftsbuch in ArcGIS verknüpft.

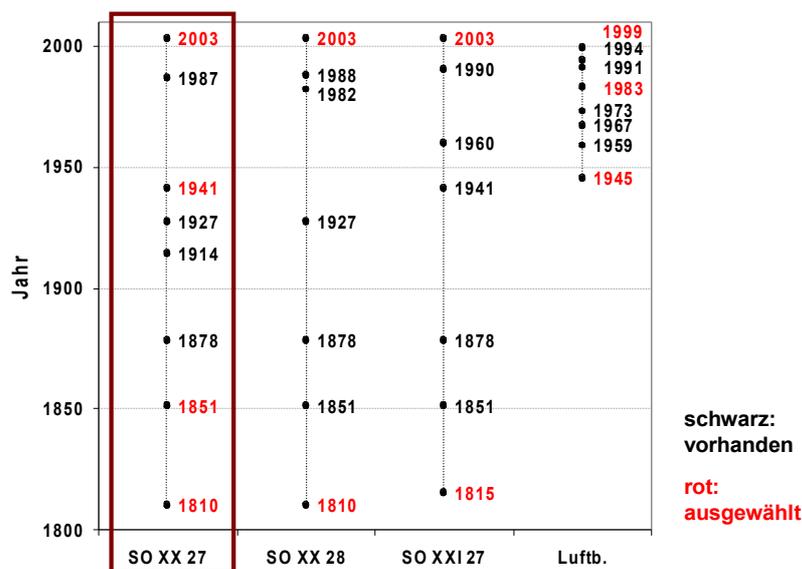


Abb. 5.3: Vorhandene Datenquellen für die flächenhafte Auswertung, Quelle: FICHTINGER 2004

Die Luftbilder dienen zum visuellen Vergleich in den Zeitschnitten, in denen keine Katasterkarten vorlagen. Sie wurden anhand der bereitgestellten Passpunkte des Bayerischen Landesvermessungsamtes georeferenziert.

5.1.2 Modellbildung und raum-zeitliche Analysen

Die konzeptionelle Modellierung der Kulturlandschaft im GIS erfolgt objektorientiert und lehnt sich an die Inhalte des Liegenschaftskatasters an. Als flächendeckender Objekttyp wird die Nutzungsparzelle mit dem wichtigsten Attribut Nutzungsart bestimmt. Eine Nutzungsparzelle wird definiert als eine Parzelle von homogener Nutzung auf Basis der Flurstücke des Liegenschaftskatasters. In einigen Fällen beinhaltet ein Flurstück mehr als eine Nutzung, welches dann in verschiedene Nutzungsparzellen zerlegt wird.

Die Harmonisierung der Nutzungsartenklassen aus den vier Zeitschnitten erfolgte durch semantische Generalisierung in sieben Nutzungsarten-Oberkategorien [FICHTINGER 2004]:

- Siedlung
- Wald
- Acker
- Gewässer
- Grünland
- Sonstige Flächen
- Verkehr

Auf Basis der Vektorisierung und Topologiebildung der Nutzungsartenparzellen zu Flächenobjekten sind verschiedene Auswertungen möglich.

In der ersten Stufe kann die einfache Erstellung einer temporalen Kartenserie mit einer visuellen Überlagerung der verschiedenen Zeitschnitte erfolgen. Der Einsatz von Flächenanalysefunktionen in Kombination mit der Auswertung attributiver Eigenschaften der Flächenparzellen in GIS ermöglicht weitere semantische und geometrische Auswertungen (s. Abb. 5.4).

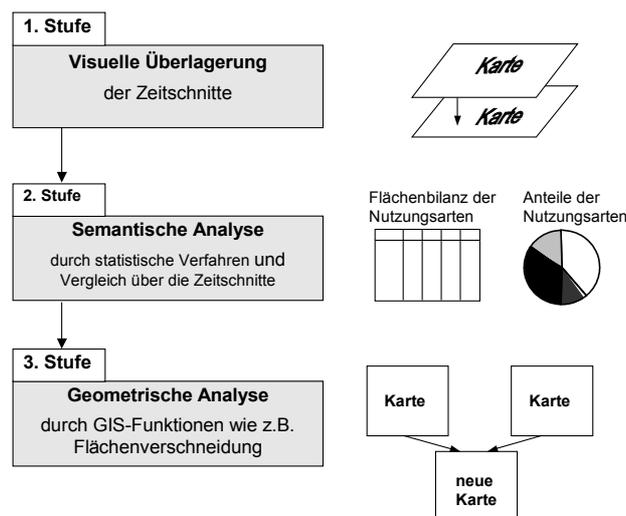


Abb. 5.4: Stufen der raum-zeitlichen Analyse, Quelle: FICHTINGER 2004

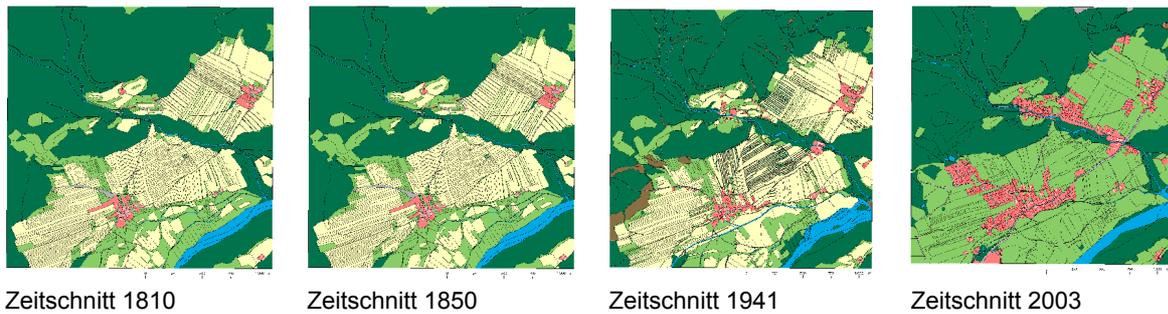


Abb. 5.5: Temporale Kartenserie auf Basis von vektorisierten Zeitschnitten,
Quelle: nach FICHTINGER 2004

Semantische Analyse

Für die semantische Analyse erfolgte eine statistische Auswertung der Gesamtflächen und Flächenanteile der einzelnen Nutzungsarten in den ausgewählten Zeitschnitten. Anschließend wurde eine Flächenbilanz über die vier Zeitschnitte erstellt (s. Abb. 5.6).

Entwicklung der Flächenanteile der Nutzungsarten 1810-2003

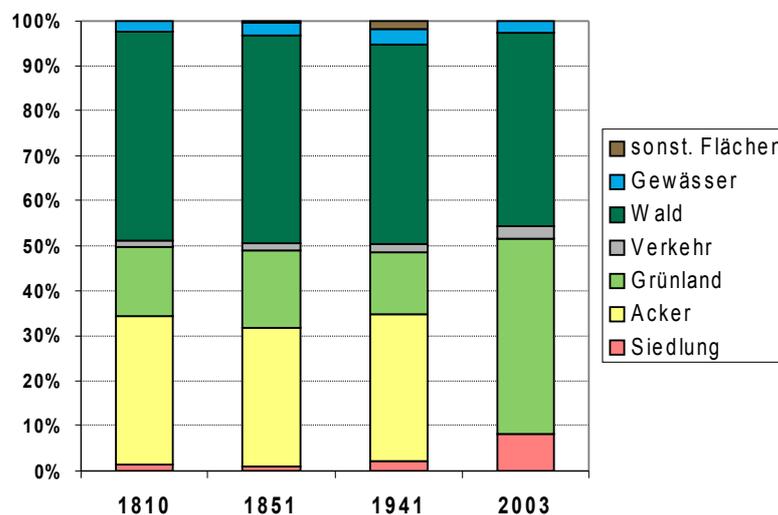


Abb. 5.6: Entwicklung der Flächenanteile der Nutzungsarten 1810-2003,
Quelle: FICHTINGER 2004

Geometrische Analyse und Flächenverschneidung

Auf Basis einer vektorbasierten Verschneidung zwischen zwei Zeitschnitten geben Kulturlandschaftswandelkarten einen Überblick, welche Veränderungstypen an welcher Stelle im Raum vorherrschen. Bei 7 Nutzungsartenkategorien ergeben sich bei der Verschneidung von 2 Zeitschnitten bereits 49 mögliche Entwicklungstypen $Nutzung_{alt} \Rightarrow Nutzung_{neu}$ [vgl. BENDER, BÖHMER, JENS 2003]. Im gezeigten Ausschnitt liegt für die Verschneidung des Zeitschnitts von 1941 mit 2003 überwiegend der Veränderungstyp „Acker \Rightarrow Grünland“ bzw. „Acker \Rightarrow Siedlung“ vor (s. Abb. 5.7).

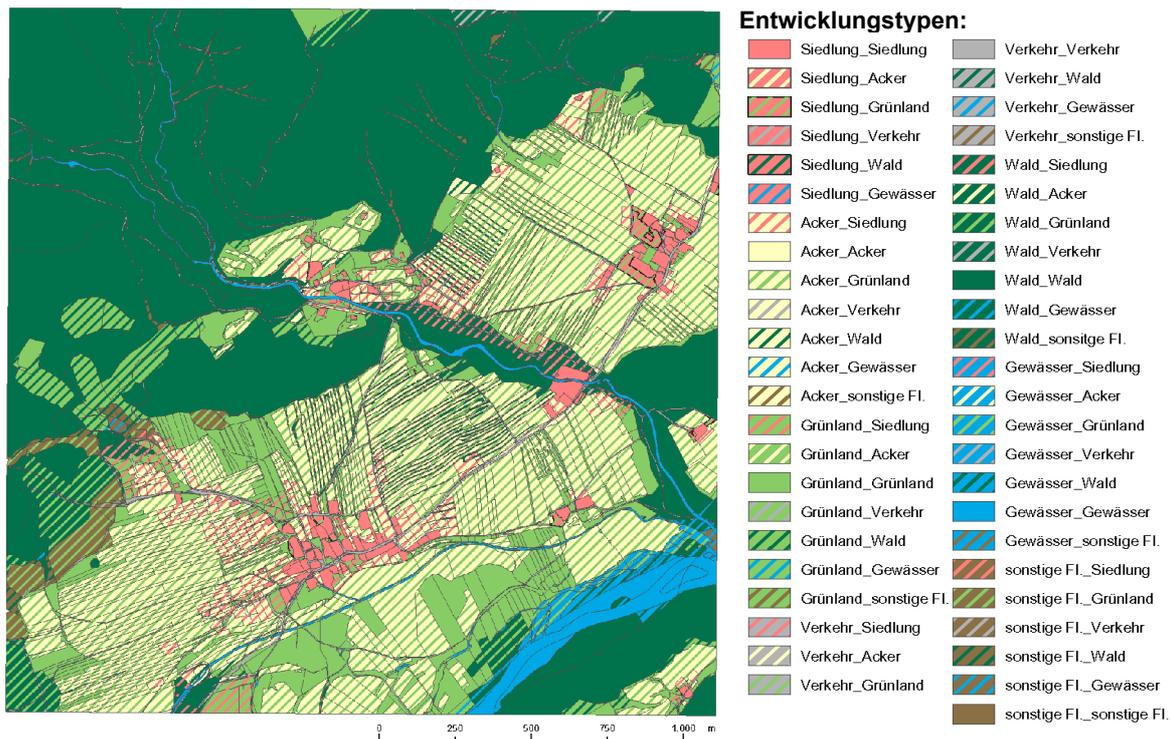


Abb. 5.7: Kulturlandschaftswandelkarte 1941-2003,
Quelle: FICHTINGER 2004

Die Anwendung der in ArcGIS zur Verfügung stehenden herkömmlichen Tools zur Flächenverschneidung erzeugte eine große Anzahl von Splitterpolygonen. Der Einsatz von Flächenschranken hätte zu einem Verschneidungsergebnis geführt, in dem Splitterpolygone vorkämen, die größer als die kleinsten vektorisierten realen Objekte wären. Sinnvoll erschien nach FICHTINGER [2004] der Einsatz eines Puffers im Verschneidungsalgorithmus selbst in Form einer Art „Fuzzy Tolerance“. Da die Positionsgenauigkeiten der einzelnen Zeitschnitte nicht genau bekannt waren, wurde die geeignete Pufferbreite experimentell ermittelt. Die Durchführung der Flächenverschneidung mit einer Toleranz von 1 m lieferte zufriedenstellende Ergebnisse.

5.1.3 Ergebnisse

Der Vorteil in der Verwendung von großmaßstäbigen Katasterkarten liegt in der Verfügbarkeit seit Anfang des 19. Jahrhunderts. Sie sind in Archiven zugänglich und gut erhalten. Die Aufnahmeverfahren, Bezugssysteme und Zeichnungsanweisungen sind für die einzelnen Epochen der Kartenherstellung sicher dokumentiert.

Die Bezeichnungen, Signaturen und Klassifikationen der Nutzungsarten können zwischen den Zeitschnitten harmonisiert werden und sind somit vergleichbar. Aus den Karten können eine Reihe von Nutzungsarten identifiziert und auf Basis von Nutzungsparzellen abgegrenzt werden.

Die automatische Vektorisierung ist aufgrund der künstlerischen Ausgestaltung der Signaturen und der schwierigen Lesbarkeit für die älteren Zeitschnitte nicht möglich.

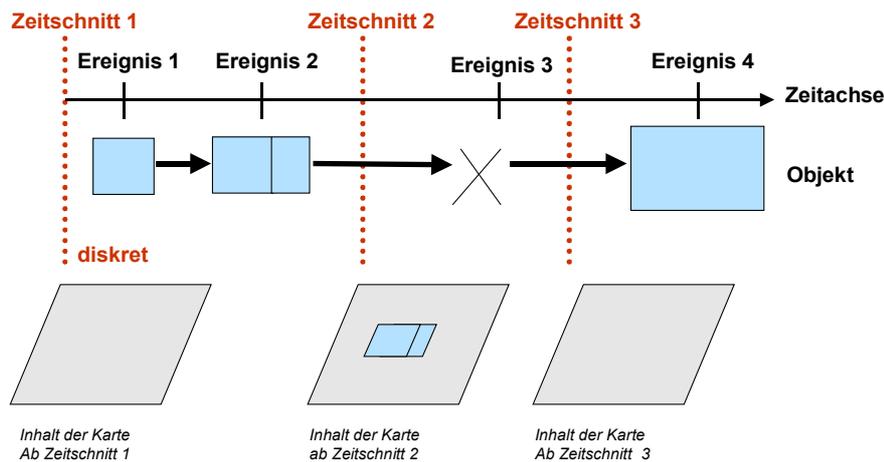


Abb. 5.8: Fehlende raum-zeitliche Reliabilität

Die Sicherheit der Zeitangabe zu einzelnen Objekten ist bei der Vorgehensweise über Zeitschnitte eingeschränkt. Für die Objekte im GIS kann nur die Erhebungszeit, nämlich der Herstellungszeitpunkt der Karten, in denen sie verzeichnet sind, angegeben werden, nicht aber ihre tatsächliche Gültigkeitszeit in der realen Welt, in der sie entstanden sind oder sich verändert haben. Aus der Entstehungszeit, die den einzelnen Zeitschnitt-Layern als Zeitstempel zugewiesen wird, lässt sich folgende zeitliche Gültigkeitsaussage ableiten: zum Zeitpunkt des Zeitstempels sind die in der Karte verzeichneten Objekte sicher in der realen Welt vorhanden gewesen. Ob und wie lange sie bereits davor und wie lange sie danach noch existierten, lässt sich im Zeitraum bis zum nächsten Zeitschnitt daraus nicht ableiten.

Die semantische Analyse ist problemlos durchführbar, die geometrische Analyse nur unter Verwendung von Toleranzen.

5.1.4 Potenzial

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die großmaßstäbige Betrachtungsweise kleinräumiger Nutzungs- und Siedlungsstrukturen sowie Flurformen in einem GIS ein bezeichnender Mehrwert entsteht. Dieser Mehrwert kann wiederum in geeigneter Weise auch in einem GIS für kulturelles Erbe verfügbar gemacht werden. Allein durch die Digitalisierung der geometrischen und semantischen Inhalte historischer Karten erfolgt eine Wertsteigerung und die Möglichkeit zu vielfältigen Kombinations- und Analysemethoden. So ist dabei nicht nur eine quantitative und qualitative Bestimmung von Veränderungen in der Kulturlandschaft, sondern zugleich eine lagebezogene Zuordnung möglich. Die großmaßstäbige Betrachtungsweise bietet darüber hinaus den Vorteil, dass sie nicht nur für weiträumigere regionale Planungen wichtige Aussagen liefern kann, sondern auch Hintergrundinformation über die Entwicklungen bis in kleinste Strukturen und Formen der gemeindlichen Planung enthält. In Dorferneuerungsverfahren, in denen in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege die historischen Siedlungsstrukturen oft noch in analoger Form erforscht und kartiert werden, könnte die gleichzeitige Erfassung in einem GIS die reproduzierbare und vereinfachte Überlagerung und Zusammenschau mit den Elementen der historischen Kulturlandschaft, den Kulturerbe-Objekten und anderer gemeindlichen Planungsgrundlagen ermöglichen.

Großmaßstäbige Karten bieten eine hohe Verlässlichkeit durch die metrischen Genauigkeiten, wobei die Genauigkeit mit Einführung der digitalen Flurkarte noch deutlich gesteigert wurde. Nicht quantifizierbare Unsicherheiten treten vorwiegend noch in der Verschneidung mit der Urkarte auf. Die semantische Verlässlichkeit beispielsweise über die Angaben der Landnutzung im Kataster nimmt mit zunehmender Aktualität der Zeitschnitte ab, da die Nutzung nicht zwingend erhoben und aktualisiert wird. Die größte Sicherheit liefern Aussagen über die Siedlungsflächen.

Katasterkarten reichen nach FICHTINGER [2004] streng genommen für Untersuchungen der Kulturlandschaftsentwicklung nicht aus. Sie sind aber die einzige Möglichkeit, bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts zurückzugehen und verlässliche Ergebnisse innerhalb der vorgegeben Erfassungsvorschriften zu erhalten. Die Ergebnisse können bei Bedarf anhand zusätzlicher Quellen wie Flurbüchern oder Luftbildern verifiziert werden.

Die Erfassung der Flurstücke und Nutzungsflächen in durchgehend modellierten Objekten mit allen geometrischen und semantischen Veränderungen über die Zeit sowie den Informationen, welches Objekt aus welchen Objekten entstanden ist, würde einen enormen Aufwand für die Nachforschung der kompletten Objekthistorie aus Flurbüchern und Veränderungsnachweisen bedeuten. Eine derart detaillierte Erfassung ist daher für ein großes Gebiet nicht sinnvoll, könnte aber im Einzelfall (beispielsweise bei der Verfolgung von Veränderung der Hofstrukturen) oder vorwiegend für einzelne exponierte Objekte (z.B. Schloss- oder Klosteranlagen und deren Besitztümer) erfolgen.

5.2 Multimediale 3D-Visualisierung der Streichenkirche in GIS

Methoden zur 3D-Vermessung, Darstellung und Rekonstruktion werden seit ihrer Verfügbarkeit in unterschiedlicher Kombination und Anwendung im Bereich des kulturellen Erbes eingesetzt. Die photogrammetrische Vermessung ist schon seit mehreren Jahrzehnten in der Lage, eine präzise, dreidimensionale Beschreibung von Kulturgütern zu liefern. Aus hochauflösenden, fotografischen Aufnahmen (terrestrische und Luftbilder) werden eine Reihe von weiteren Produkten abgeleitet wie beispielsweise ein mit modernen digital-photogrammetrischen Methoden gewonnenes und damit kostengünstig erstelltes Orthofoto oder ein 3D-Geländemodell.

Die Vermessung durch „Laser-Scanning hat sowohl die Geländeaufnahme als auch die Objekterfassung im Nahbereich revolutioniert“ [KRAUS 2001] und erlaubt seit einiger Zeit mit vergleichsweise geringem Zeitaufwand eine hohe Punktdichte bei der 3-dimensionalen Abtastung einer Oberfläche zu erreichen. Aus dieser Punktwolke lässt sich ein sehr detailliertes 3D Modell ableiten [vgl. VOZIKIS, HARING, VOZIKIS u. a. 2004, SCHÄFER, WEBER 2004].

Durch die Kombination von Photogrammetrie und Laserscanning können neue Formen der 3D-Darstellung angeboten werden: Das digitale „3D-Orthofoto“ vermittelt dem Anwender auch die Tiefenverhältnisse des aufgenommen Objektes. Durch Einsatz von „Virtual Reality“ Technologie kann auf der Basis eines photorealistischen 3D-Modells eine interaktive, virtuell „begehbare“ Welt des Objektes generiert werden.

Durch die Einbindung der 3D-Visualisierung von Kulturerbe-Objekten in ein webbasiertes Geoinformationssystem können diese von einem breiten Publikum im Internet besucht und gleichsam räumlich „erlebt“ werden.

5.2.1 Laserscan und 3D-Modell

Im Projektgebiet wurde die Streichenkirche in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Geodäsie an der TU München mit dem Laserscanner cyrax 2500¹ der Firma Leica Geosystems aufgenommen und als 3D-Modell in der prototypischen Anwendung über einen Xj3D-Browser visualisiert [KROIB, WOJTECH 2004]. Das Funktionsprinzip dieses Laserscanners basiert auf einer punktwisen Entfernungsmessung zur Objektoberfläche. Das 40°x40° umfassende Sichtfeld wird entlang eines Rasters von einem Laserimpuls abgetastet. Gemessen wird die Zeit Aussenden bis zum Auftreffen des reflektierten Laserimpulses, woraus sich der Abstand berechnen lässt. Zusätzlich wird die Intensität der Reflexion abgespeichert, um Rückschlüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit ziehen zu können.

¹ Technische Daten online im Internet. URL: http://hds.leica-geosystems.com/products/HDS2500_description.html (Stand 10.12.2004)

Angesichts des eingeschränkten Sichtfelds des Scanners waren 32 Einzelscans notwendig, um die gesamte Kirche innen und außen an etwa einem Arbeitstag zu erfassen. Diese hohe Anzahl der Scans resultierte aus der erschwerten Zugänglichkeit aufgrund der Bergrückenlage der Kirche und der Vorgabe einer möglichst lückenlosen Aufnahme der Innenräume mit einem Deckengewölbe. Um diese später sukzessive zusammensetzen zu können, wurden gemeinsame Passpunkte aufgestellt und mit erfasst.

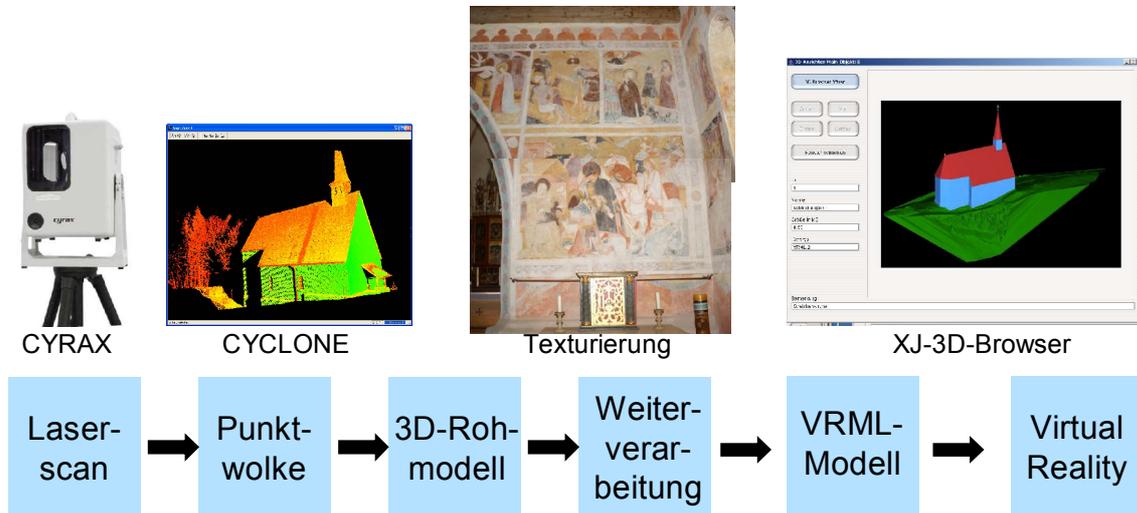


Abb. 5.9: Ablaufschema von der Laserscanaufnahme bis zur Darstellung in einer Virtual Reality-Umgebung

Mit der Software Cyclone¹ von LEICA konnten die Einzelscans eingelesen und für eine ganzheitliche Modellierung aus dem Instrumentenkoordinatensystem mittels 3D-Transformationen in ein gemeinsames Projektkoordinatensystem überführt werden. Zur Bestimmung der Transformationsparameter wird entweder eine Blockausgleichung anhand der Passpunkte verwendet oder ein passpunktloses Verfahren, bei dem die Fehler in den Überlappungsbereichen minimiert werden. Dieser Vorgang wird als Registration bezeichnet und ergibt die orientierte Punktvolke des gesamten Objektes.

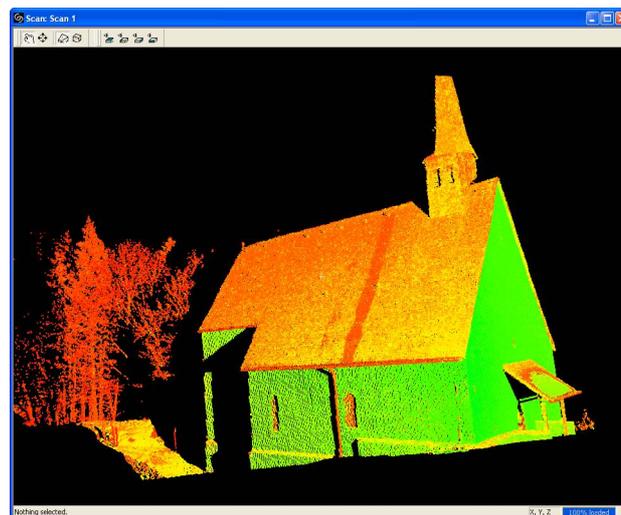


Abb. 5.10: Einzelscan vor der Registration

In Cyclone gibt es vorgefertigte Werkzeuge, die Unterstützung bei der Erkennung von Flächen, Kugeln, Rohren und Stahlträgern des Modells bieten. Der Funktionsumfang zielt leider vor allem auf die Erzeugung von großflächigen Rohrsystemen und Stahlkonstruktionen ab, weshalb bei gebäudetypischen Formen viel manuelle Bearbeitung erforderlich ist. Um die Bodenstruktur für das 3D-Modell aufzubereiten,

¹ Kurzbeschreibung online im Internet. URL: <http://hds.leica-geosystems.com/products/cyclone5.html> (Stand: 10.12.2004)

werden die entsprechenden Punkte dreiecksvermascht und als so genanntes Mesh dargestellt. Um die Datenmenge zur späteren Visualisierung zu reduzieren, lässt sich das Mesh in Cyclone optimieren und somit vereinfachen.

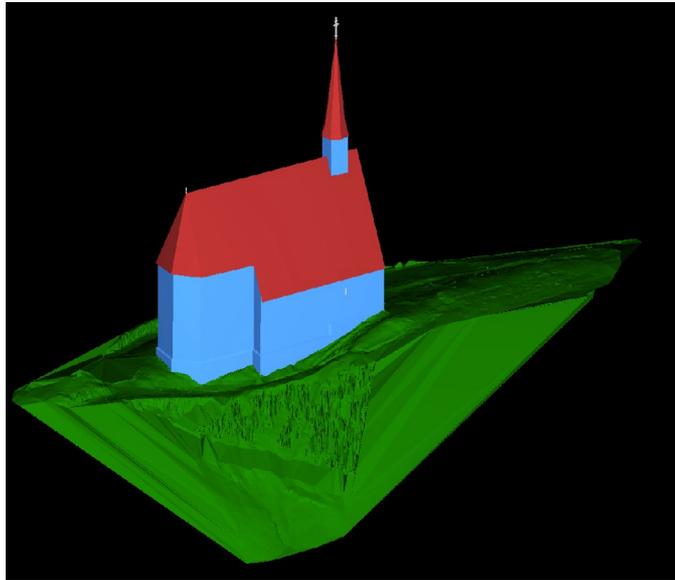


Abb. 5.11: In Cyclone erstelltes 3D-Modell der Kirche

Cyclone bietet eine Exportfunktion ins DXF-Format, welches in gängigen 3D-Applikationen wie 3D Studio MAX, AutoCAD und Blender¹ weiterverarbeitet werden kann. Da diese Programme speziell auf die Bearbeitung von 3D-Daten ausgelegt sind, können hiermit komplexere geometrische Formen manuell nachgebildet werden. Für AutoCAD wird von Cyclone ein besonderes Plug-In angeboten. Mit dem Tool Cloudworx² lässt sich die orientierte Punktwolke direkt in AutoCAD öffnen und soll somit ein leichtes Messen und Erstellen der Konstruktionszeichnung unmittelbar auf der Punktwolke ermöglichen.

Durch die Auflegung von Texturen kann ein 3D-Modell wesentlich interessanter gestaltet werden. Eine die Anschaulichkeit verbessernde und Detailreichtum wiedergebende Texturierung wird von Cyclone in der verwendeten Version nicht unterstützt und muss daher in anderen 3D-Applikationen erfolgen. Je detaillierter die Texturen gewählt werden, desto umfangreicher sind der Speicherbedarf und die beanspruchte Rechenleistung. Vor allem bei Modellen, die wie in der prototypischen Anwendung zur Laufzeit berechnet werden, sollte der Detaillierungsgrad niedrig gehalten werden.

5.2.2 VRML-Modell in Xj3D-Browser

Zur Visualisierung des Modells in Echtzeit (u. a. im Internet) ist die Konvertierung in ein gängiges, leicht darstellbares 3D-Format erforderlich. Lange Zeit bot jeder Hersteller ein eigenes Format an, mit dem die Konkurrenzprodukte nur eingeschränkt oder gar nicht umgehen konnten.

Aus diesem Grund wurde 1995 von einem unabhängigen Gremium die Virtual Reality Modeling Language (VRML 1.0) eingeführt, die ein plattformunabhängiges, offenes Format definiert. 1997 ging daraus das um viele Funktionen erweiterte Nachfolgeformat VRML 2.0 hervor, welches unter dem Namen VRML97 als ISO-Standard ISO/IEC 14772-1 aufgenommen wurde [ISO/IEC (Hrsg.) 1997].

Das derzeit aktuelle Format für die Übertragung von 3D-Grafiken als offizieller Nachfolger von VRML ist das vom World Wide Web Consortium (W3C) entwickelte offene Echtzeit-3D-Dateiformat X3D. Es basiert auf XML zur Speicherung der 3D-Strukturen und wurde im August 2004 ebenfalls von der ISO als Standard ISO/IEC 19775 aufgenommen [ISO/IEC (Hrsg.) 2004].

¹ Blender ist eine freie Open Source 3D Software, online im Internet: URL: <http://www.blender.org>

² Kurzbeschreibung online im Internet: URL: <http://hds.leica-geosystems.com/products/cloudworx21.html>

Die Implementierungen der diversen Hersteller unterscheiden sich oft erheblich von VRML-Standards. Die Ergebnisse des Exports der im Projekt erzeugten DXF-Datei ins VRML1 bzw. VRML2 Format weichen stark voneinander ab, je nachdem welche Software verwendet wird und in welches Format exportiert wird. Die existierenden X3D-Exporter sind häufig noch nicht ausgereift und funktionierten mit den Testdaten noch nicht zufriedenstellend. Im Projekt wurde das Modell der Streichenkirche letztlich durch den Export des DXF-Objekts ins VRML1 Format mittels der Open-Source 3D-Software Blender erzeugt.

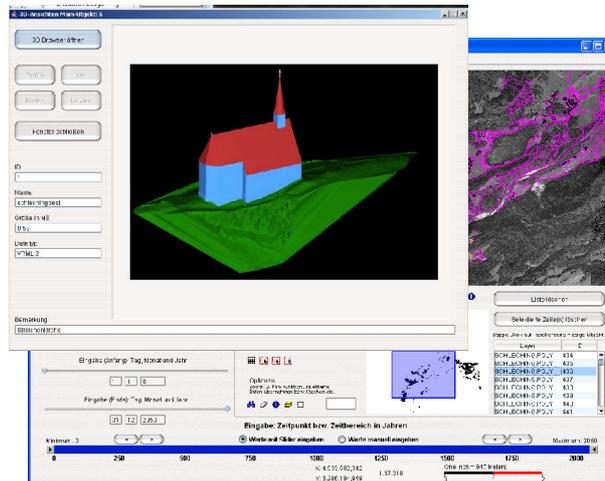


Abb. 5.12: 3D-Virtual-Reality-Modell der Streichenkirche im integrierten 3D-Browser

Um das entstandene VRML1-Modell in aktuellen 3D-Browsern und der prototypischen Java-Anwendung öffnen zu können, erfolgte noch eine weitere Konvertierung in das VRML2-Format. Dazu gibt es wiederum mehrere Alternativen, wobei das Programm `vrml1tovrml2`¹ von Silicon Graphics für das Modell der Streichenkirche ein sehr gutes Ergebnis liefert.

Durch die Integration eines quelloffenen und frei verwendbaren Toolkits auf Basis von Java3D zur Darstellung von VRML2 und X3D (aus dem Web3D-Konsortium betreuten Projekt Xj3D) in die prototypische Anwendung, können 3D-Modelle zu den jeweiligen Kulturerbe-Objekten als Multimedia-Objekt im GIS abgelegt und interaktiv angezeigt werden.

5.2.3 Potenzial

Multimediale Kulturerbe-Objekte lassen sich auf vielfältige Weise dreidimensional erfassen, archivieren und beispielsweise durch Einbindung eines VRML-Browsers in GIS betrachten.

Die Photogrammetrie in diesem Bereich wird seit dem 19. Jahrhundert als Architekturphotogrammetrie praktiziert. Die moderne Photogrammetrie ist nicht nur 3D-Digitalisierung mit ihren Schnittstellen zur Bildanalyse, 3D-Modellierung, Visualisierung, Animation, Virtuellen Realität bis hin zum Einsatz in Geoinformationssystemen, sondern greift nach GRÜN u. REMONDINO [2005] durchaus auch weiter im Sinne von sich daraus ergebenden sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Implikationen.

Laserscanning wird in den letzten Jahren als „Hype“ empfunden und kommt in den Projekten im Bereich des kulturellen Erbes sehr häufig zur Anwendung. Vor allem in der Kombination mit der Photogrammetrie sind beachtliche und anschauliche Ergebnisse zu erzielen.

Die plattformunabhängige Implementierung der prototypischen Anwendung in Java ermöglicht es, eine zukünftige Version als Web-Anwendung in Form eines Applets zu realisieren. Das große Volumen der Luftbilder stellt derzeit noch ein Problem dar, da so große Datenmengen über das Internet für den Be-

¹ Zum Download online im Internet: URL: <http://synapses.mcg.edu/tools/vrml2/vrml2.stm> (Stand: 10.12.2004)

trichter nicht in angemessener Zeit übertragbar sind und daher verlustbehaftete Kompressionen in Kauf genommen werden müssen.

Hard- und Software zur Bearbeitung der Daten müssen in ihrer Funktionalität und Leistungsfähigkeit noch verbessert werden und die Schnittstellen zwischen den einzelnen Schritten der Aufbereitung müssen je nach eingesetzten Programmen sorgsam gewählt sein. Das Angebot an Schnittstellen ist sehr unterschiedlich und schnelllebig. In Zukunft ist eine bessere Verfügbarkeit von Standards, beispielsweise VRML97 und X3D, wünschenswert.

Neuere Ansätze bieten einerseits 360°-Aufnahmetechniken mit Laserscannern und ermöglichen andererseits die direkte Kombination von Photogrammetrie und Laserscanning durch eine auf den Scanner aufgesetzte Digitalkamera. Die Kamera liefert in diesem Fall hochqualitative Aufnahmen, die sich dann direkt als Texturen verwenden lassen und über die aus der Punktwolke generierten, triangulierten Flächen (Mesh) gelegt werden können. Durch diesen weiteren Schritt der Automatisierung wird der zeit- aufwendige Prozess des manuellen bzw. halbautomatischen Erzeugens geometrischer Primitive sowie die Weiterbearbeitung für komplexere Formen und Texturen wesentlich erleichtert und beschleunigt. Eine weitergehende komplette Ausgestaltung des 3D-Modells der Streichenkirche mit Texturen ist beispielsweise für die Präsentation des Objektes im Tourismus oder für die Aufnahme in ein virtuelles Museum erforderlich.

5.3 Nachhaltige Nutzung im GIS- und Internetbasierten Heimat- und Geschichtskundeunterricht an Schulen des Achantals

Eine neue interessante Anwendergruppe für den Einsatz von GIS für kulturelles Erbe stellen die Schulen dar. Experteninterviews mit Lehrkräften in Schulen des Achantals im Jahr 2004 hatten zum Ziel einerseits zu untersuchen, ob und mit welcher Funktionalität die Integration von GIS an bayerischen Schulen – beispielhaft durchgeführt an Realschulen und Gymnasien des Landkreises Traunstein – bisher schon stattgefunden hat. Andererseits sollte für das Projekt „GIS für kulturelles Erbe in Schleching/Achantal“ das Interesse der Lehrkräfte an dieser Thematik eruiert werden.

5.3.1 Kulturelles Erbe an Schulen

In einem Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 10.03.1977 wird aufgeführt, dass „eine angemessene Nutzung und Erhaltung der reichen Zeugnisse der Kultur unserer Heimat (...) sich auf Dauer nur erreichen [lässt], wenn bereits in der Jugend Verständnis für den Wert und die Unersetzlichkeit dieses historischen Erbes geweckt wird. Die Schule kann und muss dazu einen wesentlichen Beitrag leisten“ [TREML 1984]. Die Beschäftigung mit kulturellem Erbe im Unterricht wird durch den Bericht der Kultusministerkonferenz vom 2.7.1993 „Zur Situation der Behandlung von Fragen des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege in der Schule“ und durch die „Empfehlung des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz zur Aufnahme von Denkmalschutz und Denkmalpflege in die offizielle Lehrerfortbildung“ vom 18.11.2002 nochmals aufgegriffen und betont.

Heimat prägt die Menschen und bedeutet Identität. Ohne das es bewusst wahrgenommen wird, werden Menschen geprägt durch die sie umgebende Landschaft und Kultur. Die Faktoren Landschaft, Kultur, Menschen und Geschichte definieren einen Raum, der durch lebendige Wissensaufnahme und durch konkrete Beispiele wie historische Bauten, Denkmäler, Archive, Ausgrabungsstätten und nicht zuletzt auch (Heimat-)museen erfahrbar wird. „In der Kombination von Heimatbindung und Weltoffenheit liegt der Wesenskern richtig verstandener Modernität. Und dies ist auch ein wichtiger Auftrag an die Schulen: Kindern und Jugendlichen diese Balance zu vermitteln, um sie fit zu machen für das 21. Jahrhundert“ [FRELLER 2003].

Das Thema der Bewusstmachung des kulturellen Erbes in den Schulen wurde in den vergangenen Jahren durch die Verfügbarkeit von neuen Medien, insbesondere Internet und CD-Rom neu belebt. Beispiels-

weise wurde in Österreich als Anreiz für die Schulen das Projekt „Kulturelles Erbe. Tradition mit Zukunft“ vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur gemeinsam mit KulturKontakt Austria, der österreichischen UNESCO-Kommission und dem Bundesdenkmalamt initiiert. Die Schulen können sich im fächerübergreifenden Projektunterricht mit Denkmälern und gebautem Erbe aller Art befassen. Die Schulaktion will Schülerinnen und Schüler, Lehrerinnen und Lehrer motivieren „sich aktiv mit Kulturerbe, einem wesentlichen Faktor von 'Identitätsbildung' zu befassen, den Kontext von 'Erinnerung' zu verstehen und ihre Umgebung eingehender zu erkunden - sich also mit der Frage "Kultur in der Zeit - Kultur als Erbe" auseinander zu setzen“ [Homepage des Österreichischen Schulportals schule.at¹].

Ein weiteres Beispiel stellt das Projekt „denkmal aktiv – Kulturerbe macht Schule“ dar, das im Rahmen der UNESCO-Initiative „Heritage in Young Hands“ von der Deutschen Stiftung Denkmalschutz ausgeschrieben wurde und das Ziel verfolgt, junge Menschen durch deutschlandweit 50 Schulprojekte für den Denkmalschutz zu begeistern. Sie sollen sich ein Schuljahr lang historischen Bauten und Stätten widmen und durch „eigenes Forschen und Entdecken (...) erfahren, dass Steine Geschichte(n) erzählen und historische Bauten einen wertvollen Bestandteil ihrer täglichen Erlebniswelt bilden“ [Homepage von denkmal aktiv Kulturerbe macht Schule²]. Auf internationaler Ebene wird von der EU-Kommission beispielsweise das Projekt „Hercule“ unterstützt, in dem Kinder in Schulen und Bibliotheken in Großbritannien, Portugal und Irland ihre eigene Website zu den Themen Kultur, kulturelles Erbe und Umwelt im kommunalen Umfeld entwickeln. Diese Websites werden unter Mithilfe von Bibliothekaren, Lehrern und Künstlern erarbeitet und fließen in gemeinsame interaktive Multimedia-Websites ein [s. Homepage von Hercule³].

Im Bayerischen Lehrplan wird bereits in der Grundschule großer Wert auf den örtlichen Bezug des historischen Lernens gelegt, da die Erfahrungen der Kinder in der Grundschule noch stark lokal oder regional geprägt sind. „Im Unterricht ist es schon lange Praxis, die Kinder beispielsweise über die Arbeit mit Quellen aller Art – Denkmälern, historischen Karten und Zeitzeugen – an das historische Lernen heranzuführen“ [FRELLER 2003].

In den Realschulen sind so genannte regionalgeschichtliche Unterrichtsvorhaben vorgesehen, die die Frage stellen, „was erinnert uns in unserer Heimat an ... die Steinzeit, die Kelten und Römer etc..“. Auch an den Gymnasien sind trotz der Kürzung der Lehrpläne noch stark heimat- und regionalgeschichtliche Themen in den Fächern Erdkunde, Sozialkunde und Geschichte verankert. Hier geht es unter anderem darum, dass in den Schulen ausgehend von erlebnisreichen Begegnungen geschichtliche Themen kennen gelernt werden sollen, ein differenziertes Geschichtsbewusstsein für die Einordnung der Ereignisse in der engeren Heimat in übergeordnete Zusammenhänge wichtig ist und im Besonderen in der Unter- und Mittelstufe durch Geschichtsunterricht außerhalb des Klassenzimmers das Interesse für Geschichte und auch für die Region geweckt werden soll [FRELLER 2003].

5.3.2 GIS an Schulen

Der Einsatz von GIS an Schulen geht einher mit dem Schlagwort „neue Medien“ und soll über die Verwendung moderner Medien wie Internet, Lernsoftware und Computer zur Motivation von Schülern und Lehrern sowie einer verbesserten Qualität des Unterrichts beitragen.

¹ Online im Internet. URL:

http://www.schule.at/index.php?url=news&news=&bereich=&suchtext=&news_id=2437 (Stand: 20.03.2005)

² Online im Internet. URL: http://www.denkmalschutz.de/kids/schulen/index_html?flash_or_js=flash (Stand: 20.03.2005)

³ Online im Internet. URL: <http://www.hercule.org.uk> (Stand: 20.03.2005)

Zahlreiche Initiativen, wie beispielsweise „Schulen ans Netz e.V.“¹ des Bundesministeriums für Bildung und der Telekom bieten über konkrete Online-Hilfen Unterstützung für Lehrerinnen und Lehrer bei der Arbeit mit den neuen Medien an. Immer mehr Internet-Dienste und -Plattformen werden speziell für die Belange von Schulen für Lehrende und Schüler gleichermaßen bereitgestellt. Nachdem eine Grundausstattung der Schulen mit einem Internetzugang nunmehr erfolgt ist, steht für die Schulen die interne Vernetzung und ein für den Schulalltag mit möglichst wenig Aufwand verbundenes IT-Management im Mittelpunkt.

GIS gewinnen im schulischen Bereich zunehmend an Bedeutung. Dies beruht auf dem gewachsenen Stellenwert von Geoinformationen in der Gesellschaft, ersten erfolgreich durchgeführten GIS-Projekten an Schulen und erneuerten Lehrplänen, die zusehends die methodische Arbeit mit Karten und GIS integrieren, wie beispielsweise seit 2002 in Baden-Württemberg [STEUDLE 2004]. Da GIS in erster Linie ein Arbeitsmittel darstellt, das für komplexe räumliche Analysen eingesetzt werden kann, erscheint es notwendig, eine Integration in einen methodisch-didaktisch aufbereiteten Rahmen vorzunehmen. Meist sind es engagierte Lehrer, die sich in die Problematik eingearbeitet haben und in Erfahrungsberichten und Fachzeitschriften hierzu Stellung beziehen.

Es gibt einige Ansätze von Schulbuchverlagen, GIS in den Unterricht zu integrieren. Beispielsweise durch das Anfügen von zusätzlichem Material auf einer Extra CD-Rom oder durch das Angebot von Programmen mit rudimentärer GIS Funktionalität, wobei eines der bekanntesten das DierckeGIS darstellt. Teilweise bieten die Verlage auch einige Internet Lernmodule an, die im Unterricht oder zur Prüfungsvorbereitung gebraucht werden.

Ähnlich wie „Community Mapping“ Projekte in Canada und den USA werden immer öfter Daten aus dem Umgebungsbereich der Schule, beispielsweise in der Gebietsgröße von mehreren Quadratkilometern, kostenlos an die Schulen abgegeben bzw. auf einem Internet Map Server bereitgestellt. Durch diese Community Mapping Projekte können die Schüler ihre eigene Umgebung erforschen, erfassen und auch verarbeiten und die Datenverfügbarkeit wird verbessert. Beispiele sind das Projekt „DIANE“² und die kostenlose Abgabe der amtlichen Geobasisdaten des Landesbetriebs Vermessung an Schulen in Baden-Württemberg [STEUDLE 2004]. International interessant ist auch das Projekt „GLOBE“³. Darin kooperieren Schulen weltweit und versuchen Daten, Unterrichtsbeispiele und Unterrichtsmaterial u. a. auch für GIS-Anwendungen lokal zusammen zu stellen, um es über das Internet allen anderen Mitgliedsschulen zugänglich zu machen.

Neue Lehr- und Lernkonzepte prägen die Unterrichtslandschaft. Der Frontalunterricht wird dabei vermieden und eher ein problem-orientiertes selbstständiges Lernen propagiert, wobei der Lehrer nur noch als Berater fungiert. Der Schüler erhält eine kurze Einführung in das Thema, dann erfolgt eine eigenständige Recherche der Schüler am Computer und danach der Vortrag der Schüler über das Thema. Diese Methode hat zum Ziel, den Schülern neben selbständigem Arbeiten Fertigkeiten im Umgang mit Computer und Internet zu vermitteln.

Weitere interessante Projekte zu GIS an Schulen stellen Anwendungen dar, die über eine interaktive Lernumgebung in Internet nicht nur Unterrichtsmaterialien und Daten, sondern zusätzlich die Funktionalität von GIS zur Verfügung stellen. Das Ziel ist hier, GIS nicht nur als digitalen Ersatz für den herkömmlichen Atlas zu benutzen, sondern in interaktiver Analyse Geodaten zu selektieren, Abstände zu messen und Berechnungen etc. durchzuführen. Eines der interessantesten Projekte ist das „EduGIS-portaal“⁴ in den Niederlanden bzw. das geplante Trainingscamp „GIS an Schulen“ der TU München im Nationalpark Bayerischer Wald [HEINDL, EICHINGER 2004].

¹ Online im Internet. URL: <http://www.schulen-ans-netz.de> (Stand: 20.03.2005)

² Online im Internet. URL: <http://www.ict holland.nl/diane/> (Stand: 20.03.2005)

³ Online im Internet. URL: <http://www.globe.gov> (Stand: 20.03.2005)

⁴ Online im Internet. URL: <http://edugis.geodan.nl> (Stand: 20.03.2005)

5.3.3 Anforderungen an den Aufbau eines GIS-gestützten lokalen Geschichtsunterrichts

Der Landkreis Traunstein ist mit fünf Gymnasien und vier Realschulen ausgestattet. Eine Kernaufgabe des Landkreises ist der Bau und der Unterhalt weiterführender Schulen. Dazu gehören die Realschulen in Traunstein, Traunreut, Trostberg und Marquartstein, das Annette-Kolb-Gymnasium, das Chiemgau-Gymnasium in Traunstein und das Hertzthaimer-Gymnasium in Trostberg. Die Kreisstadt Traunstein ist mit 17 Schulen und fast 10.000 Schülern die wichtigste Schulstadt der gesamten Region.

In der Untersuchung wurden in Experteninterviews an den fünf Gymnasien und vier Realschulen des Landkreises Traunstein Lehrer und Heimatpflegern befragt. Die Ergebnisse werden im Folgenden zusammengefasst dargestellt.

5.3.3.1 Technische Ausstattung

Die technische Ausstattung der untersuchten Schulen mit Neuen Medien liegt zwischen noch unzureichend und hoch. Probleme wurden vor allem in der Gewährleistung der Wartung, Reparatur und Pflege der Infrastruktur gesehen. Lehrer nutzten den Computer zu Hause für Unterrichtsvorbereitungen. Projektarbeiten am Computer bieten derzeit den höchsten Mehrwert für die Schüler, wurden aber oft nur in Eigeninitiative einzelner Lehrer durchgeführt.

In den Schulen des Landkreises Traunsteins gehörte GIS noch nicht zu den geläufigsten Arbeitsmitteln. Vier der neun Schulen schickten ihre Lehrkräfte zu Fortbildungen, damit sie sich ein Bild zur Einbindung von GIS in den Unterricht machen konnten. Bei der Erhebung hat sich gezeigt, dass ein großer Teil der Lehrkräfte Interesse an der Technik bekundeten, jedoch gegenüber der Einbindung in den Unterricht skeptisch waren. Hemmnisse bei der Verbreitung sind häufig auf Transparenzmangel und Zeitmangel zurückzuführen. Die Fortbildungen konnten ihre potenziell interessierten GIS-Nutzer nicht überzeugen, da sie aufgrund der Komplexität der Programmstruktur eines mit hoher Funktionalität ausgestatteten Desktop-GIS eher abschreckten. Je einfacher jedoch der Zugang zu den Informationen wird, umso mehr werden sie in Anspruch genommen.

Die Kenntnis über den lokalen, wie regionalen Natur- und Kulturraum beschränkte sich bei zwei Drittel der interviewten Pädagogen auf den Schulort, da die meisten von ihnen nicht in der unmittelbaren Umgebung aufgewachsen sind.

Die im Projekt GIS für kulturelles Erbe im Untersuchungsgebiet erhobenen Daten im Bereich der Denkmalpflege, der historischen Kulturlandschaft und der Siedlungsentwicklung können im Rahmen der bestehenden Lehrpläne eingesetzt werden.

Eine mögliche Verwendung war vor allem in den Unterrichtsfächern Erdkunde und Geschichte erkennbar. „Lupen in den Heimatraum“ werden im Gymnasium in der 5. und in der 10. (G8) bzw. 11. (G9) Jahrgangsstufe und in der Realschule in der 5. und 9. Klasse thematisch behandelt. Es handelt sich dabei vor allem um einen historischen Rückblick beispielsweise auf Siedlungsstruktur, Gewerbe und Verkehr, um den Schülern Vergangenes im Heimatraum aufzuzeigen. Beim Einsatz von GIS-gestützten Methoden würden sich die Lehrer neben dem Kartenmaterial auch weitere Sachinformationen zu den Objekten wünschen. Die Lehrkräfte zeigten Interesse an der Thematik des kulturellen Erbes für das Obere Achenental, halten aber die Ausdehnung des verfügbaren Gebiets auf mindestens die Größe eines Landkreises für erforderlich.

In den Experteninterviews zeigte sich, dass der Unterricht nicht die Technik eines GIS in den Vordergrund stellen sollte, sondern dass vielmehr durch die Präsentation von Karten über das Internet ein Einstieg in die neuen Medien praxis- und themenbezogen stattfinden könnte. Ein online-gestütztes GIS zur Analyse und teilweisen Selektion von Daten erschien am sinnvollsten, da hier durch gezieltes Abfragen der Anwendung der Unterricht sukzessive gesteuert werden könnte. Da das Fach Informatik erst in Jahrgangsstufe 8 vermittelt wird, und in den Jahrgangsstufen zuvor vor allem der sinnvolle Umgang mit

dem Internet anhand von Recherchen im Lehrplan behandelt werden müsste, wurde die selbst durchgeführte Arbeit der Schüler im Unterricht mit einem webbasierten GIS im Sinne der Lehrkräfte erst ab der 8. Jahrgangsstufe parallel zur Informatikausbildung für sinnvoll erachtet. Zuvor tendierten die Lehrkräfte auf eine lehrerzentrierte Ausrichtung des Unterrichts, in der GIS vornehmlich zur Unterrichtsvorbereitung oder der Präsentation von geeigneten Kartenmaterialien verwendet werden würde.

Neben der Besprechung und dem Einsatz interaktiver Karten am PC bietet die Erarbeitung eigener Karten durch die Schüler einen handlungsorientierten und damit schülerorientierten Zugang [vgl. KORBMACHER 1992]. Die Wahl der Unterrichtsform sollte in erster Linie auf die Bildung kleinerer Arbeitsgemeinschaften und Unterricht in Projektform fallen, da eigenes Erarbeiten zeitaufwendig ist und in Gruppen mit wenigen Schülern besser betreut werden kann. Eine besondere Rolle fällt bei der Umsetzung von GIS dem Fach Erdkunde zu, denn Karten bilden eine wichtige Grundlage zur Einordnung von Fachthemen in einen topografischen und geografischen Kontext. Darüber hinaus liegt die Beteiligung weiterer Fächer nahe. So bietet beispielsweise die Be- und Erarbeitung historischer Karten eine Zusammenarbeit mit dem Fach Geschichte an.

5.3.3.2 Kulturelles Erbe im lokalen Geschichtsunterricht

Die Untersuchung zielt auf die Fragestellung ab, ob ein GIS für kulturelles Erbe eingesetzt werden kann, um in verschiedenen Anwendungsbeispielen den Schülern im Unterricht ihren Heimatraum näher zu bringen.

An die Funktionalität werden folgende Anforderungen gestellt:

Ein GIS für kulturelles Erbe sollte ein System sein, das viele Auskunft- und Analysemöglichkeiten beinhaltet. Nach Meinung der Lehrkräfte müsste es im Vergleich zur Arbeit mit analogen Daten einfache Zugriffsmöglichkeiten auf digitale Daten bieten.

Durch die Erfassung der historischen Daten in einem temporalen GIS sollte der Benutzer die Auswahlmöglichkeit haben, Informationen über einen beliebigen Zeitraum abzufragen und diese zu verarbeiten. Von einem temporalen GIS wird erwartet, dass alle Verknüpfungen zwischen Objekten aufgezeigt werden können und eine Auskunft über Ereignisse für verschiedene Betrachtungszeitpunkte bzw. -zeiträume möglich ist. Eine klare, sich selbst erklärende, übersichtliche Bildschirmoberfläche ist für ein leichtes Navigieren notwendig. Für eine Ergebnispräsentation ist eine eindeutige und vollständige Informationsverarbeitung und Bildschirmpräsentation erforderlich. Des Weiteren sollte eine einfache Datenfortführung gewährleistet sein und das System günstig zu erwerben sein. Es wird erwartet, dass die Daten leicht zugänglich im Internet zur Verfügung gestellt werden.

Der Einsatz eines GIS für kulturelles Erbe im Unterricht unterliegt folgenden Anforderungen:

Die Konzeption der Anwendungsbeispiele soll sich nach der jeweiligen Jahrgangsstufe richten (eine Unterscheidung nach dem Schultyp wird als weniger wichtig erachtet). Die Unterrichtszeit in den unteren Jahrgangsstufen ist sehr beschränkt und soll sich vornehmlich mit der einfachen Interpretation von vorgegebenen Karten beschäftigen. Ab der fünften Klasse können die Schüler Orientierungsübungen anhand von Karten (beispielsweise Katasterkarten oder Topografische Karten) durchführen. Die Einführung der Schüler in die informationstechnische Bildung in der fünften Jahrgangsstufe erfolgt schrittweise und zunächst über das Lesen von Karten. Zu diesem Zwecke ist es wichtig, sie nicht zu überfordern, sondern sie in Hinblick auf die Technik zu begeistern. Kartendarstellungen in Form digital-animierter Präsentationen wären sinnvoll. Ein GIS mit einfachster Funktionalität ist ausreichend, um den Schülern einen Eindruck von der Welt eines GIS zu geben.

In den oberen Jahrgangsstufen kann GIS als Arbeitstechnik geübt werden und der Vorbereitung von eigenen mit den jeweiligen GIS-Funktionalitäten erstellbaren Projekten im Rahmen eines Unterrichtspro-

jektes dienen. Der Einsatz von umfangreicheren Desktop-GIS ist, wenn überhaupt, nur in der Oberstufe und in mehrwöchigen Projekten oder im Zuge einer Facharbeit leistbar.

Eine wichtige Voraussetzung für die fächer- und jahrgangsübergreifende Nutzung von GIS in der Schule ist ein abgestimmtes Vorgehen der Lehrkräfte. Durch eine Einführung in die Computerbedienung kann sichergestellt werden, dass die Schüler notwendige Grundkenntnisse zur Arbeit mit dem Computer besitzen. Mit zunehmender Jahrgangsstufe können anspruchsvollere Aufgaben gestellt werden, die dann immer stärker interdisziplinäre Verbindungen zwischen den Fächern beim Lernen erkennen lassen.

Folgende inhaltliche Fragestellungen sind für Übungen im Rahmen der Lehrpläne im Achtal denkbar:

Komplexere Analysen sind „besonders dann motivierend und niveauvoll, wenn die Schüler zu Entscheidungsfindungen bezüglich der Veränderung ihrer heimatlichen Landschaft angeregt werden“ [vgl. HERZIG 95].

- Kulturgeografische Entwicklung des Gebiets durch regional-geografische Bearbeitung des Kartenblattes bzw. eines Ausschnitts.
- Lokalisierung und Abfrage von Informationen zu Objekten des kulturellen Erbes (z. B. Denkmäler, Burgen, Kirchen)
- Betrachtung einzelner Geofaktoren (z. B. topografische Höhe):
Kartenausschnitte können hier bezüglich einer eng begrenzten Zielsetzung (z. B. Höhenverhältnisse/Relief) analysiert werden. Beispielsweise kann durch Lesen der Höhenangaben eine Aussage über die absolute Höhenlage, durch Vergleich verschiedener Gebiete der Karten eine Vorstellung relativer Höhenunterschiede gewonnen werden und eine Gliederung in reliefbedingte Landschaftsteile (z. B. Flusstal der Tiroler Ache) erfolgen.
- Siedlungsgeografie:
Anhaltspunkte zur Entwicklung- der Landschafts- und Siedlungsstruktur können beispielsweise kleinmaßstäbig aus der topografischen Karte bzw. großmaßstäbig aus den Katasterkarten entnommen werden, wie z. B. Siedlungsnamen und Siedlungsformen, historische oder heutige wirtschaftliche Nutzungsformen, Angaben über den früheren Besitzer (Flurnamen), unterschiedliche Grundrisse von Orts- bzw. Stadtteilen, die eventuell bestimmten Bauzeiten zugeordnet werden können. Besonders anschauliche Interpretationen lassen sich diesbezüglich mit mehreren Karten unterschiedlicher Zeitschnitte erzielen.
- Gewerbe:
Kulturlandschaftsveränderungen im Raum Schleching im Achtal durch die Kiesgewinnung: Re-kultivierung und Darstellung der auftretenden Konflikte.
- Landwirtschaft Südostbayerns:
Analyse des Rückgangs und Neuordnung der Bewirtschaftungsformen, beispielsweise der Almwirtschaft und des im Alpengebiets erschwerten Ackerbaus.
- Verkehr:
Lokalisierung alter Transportwege (Samerwege) über die Alpen, auf den Spuren der Kelten und zurückgehend auf die Römerzeit. Aufbereitung der Geschichte entlang der historischen Wege.

5.3.4 Lösungskonzept: GIS-Portal für den Schulunterricht

Für die Umsetzung von Geografischen Informationssystemen an Schulen bietet sich am ehesten eine online-gestütztes Informationssystem in Form eines GIS-Portals an.

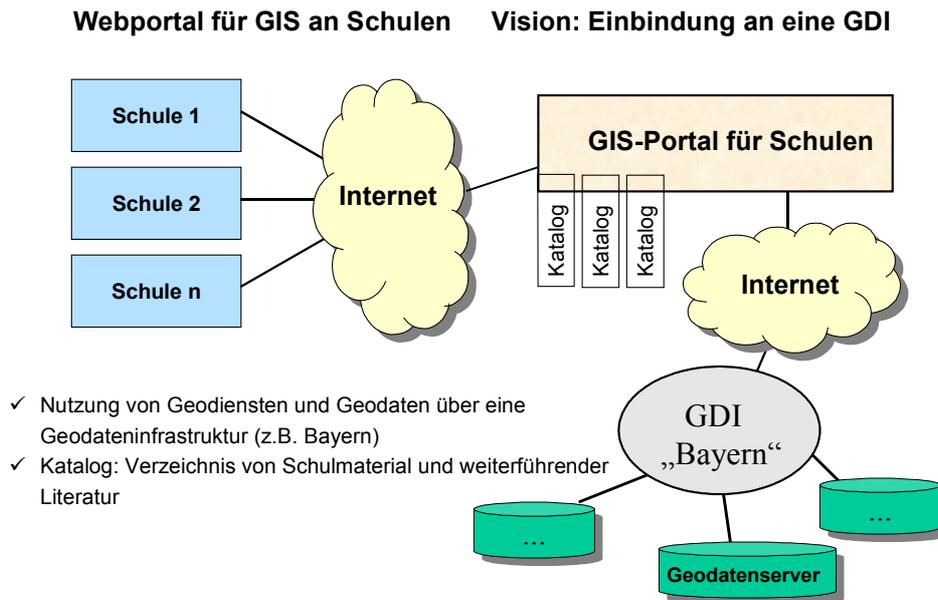


Abb. 5.13: GIS-Portal für Schulen,
Quelle: SCHILCHER, HEINDL, FISCHER 2004

Vorteile für die Schulen entstehen zum einen durch die geringeren Kosten für Software und Hardware, zum anderen durch den geringeren Aufwand in der Pflege und Aktualisierung der Datenbestände, die zentral beim Datenanbieter erfolgen könnten. Der Zugang zu Geodaten und Geodiensten sollte über die Einbindung an eine Geodateninfrastruktur ermöglicht werden.

5.3.5 Potenzial

Vierorts sind Lehrer auch als Heimatpfleger tätig und in besonderer Weise engagiert, ihren Beitrag zu leisten, in dem sie Schüler anleiten, Geschichts- und Heimatbewusstsein zu entwickeln, die sie später aus dem Wissen der Vergangenheit heraus aktiv für die Gestaltung ihrer Zukunft einsetzen können.

Während sich die Diskussion um GIS an Schulen lebhaft gestaltet, erfolgt die Umsetzung von GIS im Unterricht nur mühsam und mit einigen Schwierigkeiten

Die Aufwertung der naturwissenschaftlichen Fächer und der Informatik stellt eine wichtige Ergänzung dar, wenn auf den Grundlagen der bereitgestellten GIS-Techniken Wissen zum kulturellen Erbe erarbeitet werden soll.

Durch den Einsatz von multimedia-basierten digitalen Lernmitteln können Exkursionen, Projekt- und Studientage vorbereitet und die gemachten Erfahrungen im Anschluss bei der Nachbereitung mit weiteren Fragestellungen zu den Objekten vertieft werden. So lassen sich das Leben der Kelten und Römer am besten an konkreten Funden aufzeigen oder die Kennzeichen mittelalterlicher Burgen und Städte an Beispielen aus der Umgebung analysieren. Da ein GIS vor allem raum-zeitliche Zusammenhänge bewusst machen soll, ist die Verbindung mit der Dimension Raum (präsent im Fach Erdkunde) und der Dimension Zeit (präsent im Fach Geschichte) herzustellen. Mit der Heimatkunde besteht die Gelegenheit, dem Schüler mit Hilfe lokal- und regionalgeschichtlicher Themen unmittelbar berührende Vorstellung von geschichtlichen Sachverhalten zu vermitteln.

Mit dem Einsatz moderner Medien und digitaler Karten bzw. GIS im Unterricht betreten sowohl die Schüler als auch der Lehrer Neuland. Die Wahl der Themen und Anwendungsbeispiele bedeutet eine Herausforderung für die Beteiligten und wird durch die benötigte Abstimmung zwischen den Fächern zu einem interdisziplinären und nachhaltigen Lernen beitragen.

Kapitel 6 Zusammenfassung und Ausblick

In den vergangenen Jahrzehnten lässt sich ein regelrechter Boom im Umgang mit der „Geschichte“ erleben. Städte und Dörfer besinnen sich auf ihre Entstehung und alte Traditionen - sie begehen historische Jahrestage, veranstalten mittelalterliche Stadtfeste und restaurieren ihre Altstädte und historischen Dorfplätze. Es herrscht Konjunktur bei der Einrichtung von Museen und der Errichtung von Denkmälern. Trotz all dieser Aktivitäten und Bemühungen in der Bevölkerung und der Tourismuswirtschaft, die lokalen Sehenswürdigkeiten und Bräuche zu leben bzw. zu vermarkten, scheint das Interesse der planerischen und behördlichen Fachkreise in Deutschland an Geoinformationssystemen zur flächendeckenden digitalen Dokumentation von kulturellem Erbe vergleichsweise gering. Einzelne Bundesländer haben eine Vorreiterrolle mit durchgreifenden und viel versprechenden Projekten eingenommen, wie beispielsweise Nordrhein-Westfalen und Sachsen mit Einsatz der webbasierten OpenGIS-Technologie sowie Bayern beispielsweise mit dem Online-Zugang zu georeferenzierten, historischen Karten. Andere beschäftigen sich noch mit organisatorischen Problemen oder sehen geringen Handlungsbedarf wegen fehlender gesetzlicher Verankerung bzw. geringer finanzieller Mittel. Traditionell sehen sich die Denkmalschutzbeauftragten in der Rolle, alle erhaltenswerten Kulturgüter vor allem auf der Basis geltender Gesetze unter Schutz zu stellen und ihren Sachverstand gemeinsam mit anderen Fachexperten in Planungsprojekten oder beispielsweise in Umweltverträglichkeitsstudien einzubringen.

Die rasanten Entwicklungen im Kulturerbe-Sektor - nicht zuletzt aufgrund der Verfügbarkeit von zunehmend ausgereiften Technologien - bringen die Neubewertung der gesellschaftlichen Rolle von öffentlichen Einrichtungen und gestiegene Anforderungen der Nutzer an den Einsatz neuer Technologien mit sich.

Als heute eine der ausgereiftesten Softwareentwicklungs-Technologie sind objektorientierte Sprachen und Methoden in der Geoinformatik und ihren Anwendungsgebieten unverzichtbar geworden. Insgesamt kommt dem Modellierungsprozess im GIS-Bereich vor allem bei umfangreichen, komplexen oder neuen Anwendungen, wie beispielsweise dem temporalen GIS für kulturelles Erbe, eine zentrale Bedeutung zu. Die konzeptionelle, systemneutrale Modellierung ermöglicht die Beschreibung von Daten unabhängig von einer proprietären GIS- oder Datenbankumgebung. Vor allem Klassendiagramme sind aufgrund der leicht realisierbaren datenorientierten Strukturierung in Klassen für die Modellierung der Geobjekte geeignet.

Die Verwendung von Beschreibungssprachen und Methoden zur Modellierung wird durch stetig neue und weiter entwickelte Standards der Normierungs- bzw. Standardisierungsgremien unterstützt. Mit der Verfügbarkeit objektrelationaler Datenbanksysteme, welche die Bildung von komplexen Datentypen bzw. Objekten ermöglichen, lassen sich auch OO-Modellierungskonzepte und die objektbasierten Datenmodelle einfacher und ohne größere Umformung direkt in die Systeme umsetzen.

Die Unsicherheit von Daten und Analysen in einem GIS ist zunehmend zum Forschungsgegenstand geworden. Im aufgezeigten Modellierungsbeispiel können durch die Verwendung eines Unsicherheitsmodells Regeln aufgestellt werden, die es ermöglichen, fließende Übergänge von historischen Daten besser zu berücksichtigen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte durch prototypische Entwicklungen die Machbarkeit für die Erfassung und Dokumentation wertvoller historischer und aktueller Geoinformationen eines ländlichen Raumes auf der Basis von amtlichen Daten (z. B. Uraufnahmen der Flurkarte, Topografischen Karten, Orthobildern) sowie weiteren behördlichen Fachdaten (z. B. Daten über Denkmäler und histo-

rische Kulturlandschaftselemente) und Informationen aus privaten Sammlungen ortsansässiger Bürger (historische Orte und Sehenswürdigkeiten) in einem Geoinformationssystem aufgezeigt werden.

Der Nutzen eines GIS für kulturelles Erbe ist vor allem für örtliche oder regionale Planer, geschichtlich interessierte Bürger sowie die Gemeinden gegeben.

Durch die Digitalisierung der geometrischen und semantischen Inhalte historischer Karten erfolgt eine Wertsteigerung und die Möglichkeit zu Kombinations- und Analysemethoden in einem GIS. So ist dabei nicht nur eine quantitative und qualitative Bestimmung von Veränderungen in der Kulturlandschaft, sondern zugleich eine lagebezogene Zuordnung möglich. Die großmaßstäbige Betrachtungsweise bietet darüber hinaus den Vorteil, dass sie nicht nur für weiträumigere regionale Planungen wichtige Aussagen liefern kann, sondern auch Hintergrundinformation über die Entwicklungen bis in kleinste Strukturen und Formen der gemeindlichen Planung enthält. In Dorferneuerungsverfahren, in denen in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege die historischen Siedlungsstrukturen oft noch in analoger Form erforscht und kartiert werden, könnte die gleichzeitige Erfassung in einem GIS die reproduzierbare und vereinfachte Überlagerung und Zusammenschau mit den Elementen der historischen Kulturlandschaft, den Kulturerbe-Objekten und anderer gemeindlichen Planungsgrundlagen ermöglichen.

Multimediale Kulturerbe-Objekte lassen sich auf vielfältige Weise dreidimensional erfassen, archivieren und beispielsweise durch Einbindung eines VRML-Browsers in GIS betrachten. Laserscanning wird in den letzten Jahren als „Hype“ empfunden und kommt in den Projekten im Bereich des kulturellen Erbes sehr häufig zur Anwendung. Neuere Ansätze bieten einerseits 360°-Aufnahmetechniken für Laserscanner und ermöglichen andererseits die direkte Kombination von Photogrammetrie und Laserscanning durch eine auf den Scanner aufgesetzte Digitalkamera.

Eine Nutzung im Tourismus erfordert eine spezielle Aufbereitung der Informationen für die speziellen Anforderungen der Tourismusbranche. Dies könnte durch die mögliche Einbindung in Touristik-Online-Portale unter der Rubrik Sehenswürdigkeiten und Geschichte der Urlaubsregion verbunden mit Mapping- und Routing-Funktionen einhergehen.

Mit dem Einsatz moderner Medien und GIS können im Kulturerbe-Sektor neue Anwendergruppen hinzu gewonnen werden. Nutznießer sind beispielsweise die Schulen durch die Erschließung interessanter Lernmaterialien mit regionalem Bezug für den Internet- und GIS-basierten Geschichtsunterricht. Dabei setzt die Nutzung der neuen GIS-Technologien eine geeignete Schulung und Motivation der Lehrer voraus, die sich trotz der begrenzten Unterrichtszeit auf neue Lehr- und Lernkonzepte einlassen müssen.

Die zunehmende Erschließung durch Digitalisierung und Vernetzung der Daten des kulturellen Erbes macht den Einsatz der Internet-Technologien für die Verbreitung der Informationen unentbehrlich. Auch im GIS-Bereich sind diese aufgrund der Vorteile des einfachen Zugriffs über Web-Services stark im Kommen. Komplexere zeitliche Anfragen sind derzeit über standardisierte Operationen der OGC Web-Services noch nicht möglich. Die nächsten Schritte der Forschung zur Kommunikation zwischen GIS „sind im Bereich der semantischen Interoperabilität und der semantischen Transformationen zu erwarten“. Dies sind Voraussetzungen, damit „GIS ihre wertvollen Daten ohne Verzögerung und Hindernisse der ganzen Gesellschaft zur Verfügung stellen können“ [CAROSIO 2005]. Sie werden damit zukünftig auch ihren Beitrag zur Verbreitung von Informationen zum kulturellen Erbe leisten.

Obwohl die Integration der Dimension Zeit in GIS seit vielen Jahren ein vieldiskutiertes Thema in der GIS-Forschung ist, fehlt es noch an Standardlösungen zur umfassenden Behandlung von komplexen Raum-Zeit-Fragestellungen in der GIS-Praxis. Gründe hierfür sind sicherlich die unterschiedlichen Anforderungen der Anwendergruppen und die Vielzahl der vorgeschlagenen Ansätze, die aus der GIS-Fachwelt in die Diskussion eingebracht werden. Die entstandenen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte basieren häufig auf projektspezifischen Konzepten und Datenmodellen, die aufgrund des Mangels an Standardwerkzeugen durch die Kopplung und Integration von externen Simulationsmodellen mit GIS sowie von Visualisierungssystemen zur Analyse von temporalen Phänomenen realisiert wurden.

Ein bezüglich Datenerfassung, Datenhaltung, Analyse und Visualisierung in der gleichen Weise umfassendes „4D-GIS“ wird auch mittelfristig für den Praxiseinsatz nicht zu erwarten sein. Wenige wissenschaftliche Arbeiten gibt es beispielsweise über die Untersuchung von zeitabhängigen Veränderungen topologischer Beziehungen objektbasierter Daten in Geoinformationssystemen. Raum-zeitliche Analysen sollten wesentlich stärker unter dem Gesichtspunkt einer ganzheitlichen Betrachtung der Objekte mit ihren fachlichen Attributen, ihrer Geometrie und Topologie möglich sein. Weiterführende Arbeiten sind notwendig, beispielsweise die Implementierung mehrdimensionaler Indexverfahren für leistungsfähigere Zugriffe auf große Mengen temporaler und unsicherer Geodaten, die Entwicklung und Standardisierung einer geeigneten raum-zeitlichen Abfragesprache in GIS oder die Nutzung von service-orientierten Architekturen für den Zugriff auf verteilte raum-zeitliche Daten.

Die Modellierung der Dimension Zeit und die Entwicklung flexibler und effizienter temporaler 3D-Geoinformationssysteme stellt aufgrund stetig neuer Technologien, z. B. im Bereich der Datenbanksysteme, des Internets sowie der Weiterentwicklung der verfügbaren Hard- und Software ein ewig junges und gleichermaßen anspruchsvolles Thema für die GIS-Welt dar.

Auch wenn traditionell der Bereich des kulturellen Erbes nicht als Initiator für technische Innovationen gesehen wird, steht jedoch gerade dieser in den nächsten Jahren durch aktuell geförderte Programme und vorgelegte Studien der UNESCO sowie der EU im Blickpunkt der Öffentlichkeit. In den kommenden Jahren besteht ein immenser Bedarf an wirtschaftlichen Methoden zur Digitalisierung und langfristigen Sicherung kulturellen Erbes in einem weiten Feld an Objekten, Disziplinen und Technologien. Sehr bedeutend für den praktischen Einsatz wird daher in Zukunft die Weiterentwicklung von leistungsfähigen Informationssystemen, die Vernetzung digitaler Archive und Untersuchungen der Wertschöpfungskette digitaler Dienstleistungen im gesamten Kulturerbe-Sektor sein.

Literaturverzeichnis

- [ALLEN 1983] **Allen, J.F.:** *Maintaining Knowledge about Temporal Intervals*. In: *Communications of the Association of Computing Machinery*, Jg. 1983, H. 11, S. 832-843.
- [ALLEN, HAYES 1989] **Allen, J.F.; Hayes, P.J.:** *Moments and points in an interval-based temporal logic*. In: *Computational Intelligence*, H. 4, S. 225-238.
- [BARTELME 1989] **Bartelme, N.:** *GIS-Technologie, Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen*. Berlin, Heidelberg (Springer) 1989.
- [BARTELME 2000] **Bartelme, N.:** *Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen*. Berlin, Heidelberg (Springer) 2000.
- [BAUER 1995] **Bauer, W.:** *Konzeption und Genauigkeitsuntersuchungen von Koordinatentransformationen für das forstliche Geo-Informationssystem der Bayerischen Staatsforstverwaltung*. Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Diplomarbeit 1995. Als Manuskript gedruckt.
- [BAUMGARTEN 1996] **Baumgarten, B.:** *Petri-Netze Grundlagen und Anwendungen* Heidelberg, Berlin, Oxford (Spektrum Akademischer Verlag) 1996.
- [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (Hrsg.) 2001] **Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege** (Hrsg.): *Denkmalpflegerischer Erhebungsbogen zur Dorferneuerungsplanung in Schleching*. Unveröffentlicht. Als Manuskript gedruckt.
- [BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.) 2001] **Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten** (Hrsg.): *Historische Kulturlandschaft*. München 2001. (= Materialien zur Ländlichen Entwicklung. 39)
- [BELLER, GIBLIN, LE u. a. 1991] **Beller, A.; Giblin, T.; Le, K.V.:** *A Temporal GIS Prototype for Global Change Research*. In: *GIS - Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen*, 2. Jg. (1991), S. 752-765.
- [BENDER, BÖHMER, JENS 2002] **Bender, O.; Böhrer, H.J.; Jens, D.:** *Spatial Decision Support im Naturschutz auf Basis diachronischer Informationssysteme*. Aus: Strobl, J.; Blaschke, Th.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002*. Heidelberg 2002. S. 20-29.
- [BENDER, JENS 2001] **Bender, O.; Jens, D.:** *Ein katasterbasiertes GIS zur Erfassung und Interpretation der Landschaftsentwicklung - dargestellt am drei Gemarkungen auf der Nördlichen Frankenalb (Bayern)*. Aus: Strobl, J.; Blaschke, Th.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2001*. Heidelberg 2001. S. 31-36.
- [BILL (Hrsg.) 1997] **Bill, R.** (Hrsg.): *Zeit als weitere Dimension in Geo-Informationssystemen. Tagungsband zum Workshop vom 29. bis 30. September 1997 an der Universität Rostock*. Rostock 1997.
- [BILL 1999] **Bill, R.:** *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd. 1, Hardware, Software und Daten*. Heidelberg (Wichmann) 1999.
- [BILL 1999a] **Bill, R.:** *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd. 2, Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen*. Heidelberg (Wichmann) 1999.
- [BILL, ZEHNER 2001] **Bill, R.; Zehner, M.L.:** *Lexikon der Geoinformatik*. Heidelberg (Wichmann) 2001.
- [BLASCHKE 1997] **Blaschke, T.:** *Unschärfe und GIS: "Exakte" Planung mit unscharfen Daten?* Aus: Schrenk, M. (Hrsg.): *Computergestützte Raumplanung. Beiträge zum Symposium CORP '97. Band 1*. Wien 1997. S. 39-50.
- [BÖHLER, MÜLLER, WEIS 1999] **Böhler, W.; Müller, H.; Weis, N.:** *Bearbeitung historischer Karten mit digitaler Bildverarbeitung*. Aus: Ebeling, D. (Hrsg.): *Historisch-thematische Kartographie. Konzepte, Methoden, Anwendungen*. Bielefeld (Verlag für Regionalgeschichte) 1999. S. 126-136.

- [BONHAG 1985] **Bonhag, A.:** *Landkreis Traunstein. Geschichte - Zeugnisse - Informationen.* München 1985. (= Manz Heimatgeschichtliche Hefte)
- [BOOCH 1991] **Booch, G.:** *Object-Oriented Design with Applications.* California, USA (Benjamin/Cummings Publishing Company) 1991.
- [BOOCH, RUMBAUGH, JACOBSEN 1998] **Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobsen I.:** *The Unified Modeling Language User Guide.* Amsterdam (ADDISON-WESLEY LONGMAN) 1998.
- [BRÜGGE, DUTOIT 2004] **Brügge, B.; Dutoit, A. H.:** *Objektorientierte Softwaretechnik mit UML, Entwurfsmustern und Java.* München (Pearson Education Deutschland GmbH) 2004.
- [BUND 1998] **Bund, B.:** *Der Wandel der Kulturlandschaft Nordschwarzwald seit der 2. Hälfte des 19. Jhds. historische Raum-Zeit-Analyse mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS).* Freiburg i. Br. 1998. (= Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg: Abteilung Betriebswirtschaft. 204)
- [BUNDESAMT FÜR KOMMUNIKATION (Hrsg.) 2003] **Brenner, S.; Nyffeler, B.; Schuppisser, K.:** *5. Bericht der Koordinationsgruppe Informationsgesellschaft (KIG) an den Bundesrat Juni 2003* Online im Internet. URL: <http://www.admin.ch/ch/d/egov/gv/berichte/3e.pdf> (Stand: 01.02.2005)
- [BURGGRAAFF 1992] **Burggraaff, P.:** *Kulturlandschaftswandel am Unteren Niederrhein seit 1150.* Köln 1992. (= Geschichtlicher Atlas der Rheinlande. Beiheft IV/7)
- [BURGGRAAFF 1996] **Burggraaff, P.:** *Der Begriff "Kulturlandschaft" und die Aufgaben der "Kulturlandschaftspflege" aus der Sicht der Angewandten historischen Geographie.* In: *Natur- und Landschaftskunde*, Jg. 1996, H. 32, S. 10-12.
- [BURGGRAAFF 2000] **Burggraaff, P.:** *Fachgutachten zur Kulturlandschaftspflege in Nordrhein-Westfalen. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen.* Aus: Geographische Kommission für Westfalen (Hrsg.): *Siedlung und Landschaft in Westfalen.* Münster (Ardey-Verlag) 2000. (=Schriftenreihe der Geographischen Kommission für Westfalen. 27) S. 1-291.
- [BURGGRAAFF, KLEEFELD 2002] **Burggraaff, P.; Kleefeld, K.-D.:** *Der Kulturlandschaftsbegriff in Gesetzen und Konventionen - ein Praxisbericht.* In: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Jg. 2002, H. 6, S. 16-25.
- [BURKHARDT 1999] **Burkhardt, R.:** *UML Unified Modeling Language. Objektorientierte Modellierung für die Praxis.* Bonn (Addison-Wesley) 1999.
- [CALUWE, TRÉ, BORDOGNA (Hrsg.) 2004] **Caluwe, R. de; Tré, G. de; Bordogna, G. (Hrsg.):** *Spatio-Temporal Databases. Flexible Querying and Reasoning.* Berlin, Heidelberg, New York (Springer) 2004.
- [CANNATACI, RIVENC, ZAMMIT u. a. 2003] **Cannataci, J.A.; Rivenc, R.; Zammit, N.P.:** *E-Heritage: The Future for Integrated Applications Cultural Heritage.* Aus: Altan, M.O. (Hrsg.): *Proceedings of the XIXth International Symposium CIPA 2003, Antalya.. New Perspectives To Save Cultural Heritage.* Istanbul 2003. S. 81-36.
- [CAROSIO 2005] **Carosio, A.:** *Interoperabilität in GIS. Anforderungen, Strategien, Lösungsansätze.* Aus: Carosio, A. (Hrsg.): *Interoperabilität für die breite Nutzung von Geoinformationen. Weiterbildungstagung 17. und 18. März 2005.* Zürich 2005. S. 1.1-1.12.
- [CAROSIO, KUTTERER (Hrsg.) 2001] **Carosio, A.; Kutterer, H. (Hrsg.):** *First Interational Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Proceedings.* Zürich 2001.
- [CASPARY 1992] **Caspary, W.:** *Qualitätsmerkmale von Geo-Daten.* In: *zfv Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 117. Jg. (1992), H. 7, S. 360-367.
- [CASPARY 1993] **Caspary, W.:** *Qualitätsaspekte bei Geoinformationssystemen.* In: *zfv Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 118. Jg. (1993), H. 8/9, S. 444-450.
- [CLARAMUNT, THÉRIAULT 1995] **Claramunt, Ch.; Thériault M.:** *Managing Time in GIS. An Event-Oriented Approach.* Aus: Clifford, J.; Tuzhilin, A. (Hrsg.): *Recent Advances in Temporal Databases. Proceedings of the International Workshop on Temporal Databases, Zurich, 17.-18. September 1995.* Berlin, Heidelberg, New York (Springer) 1995. S. 23-42.

- [CLAXTON 1995] **Claxton, J.B.:** *Future enhancements to GIS: Implications for archaeological theory.* Aus: Lock, G; Stancic, Z. (Hrsg.): *Archeology and Geographical Information Systems. A European Perspective.* London (Taylor & Francis Ltd.) 1995. S. 335-348.
- [CLIFFORD, TUZHILIN (Hrsg.) 1995] **Clifford, J.; Tuzhilin, A.** (Hrsg.): *Recent Advances in Temporal Databases. Proceedings of the International Workshop on Temporal Databases, Zurich, 17.-18. September 1995.* Berlin, Heidelberg, New York (Springer) 1995.
- [DEUTSCHE UNESCO KOMMISSION e.V. 2005] **Deutsche UNESCO Kommission e.V.:** *Übereinkommen zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt.* Online im Internet: URL=http://www.unesco.de/c_bibliothek/welterbekonvention.htm (Stand 01.02.2005)
- [DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 1988] **Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz:** *Das Dorf im Wandel - Denkmalpflege im ländlichen Raum. Schlusserkklärung.* Online im Internet: URL=<http://www.nationalkomitee.de/appelle/180588.htm> (Stand: 01.02.2005)
- [DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 2005] **Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz:** Online im Internet: URL=<http://www.nationalkomitee.de> (Stand: 01.01.2005)
- [DIX 2000] **Dix, A.:** *Beiträge der Geographie zur Kulturlandschaftspflege. Ein Überblick zur aktuellen Situation in Deutschland.* In: *Berichte zur deutschen Landeskunde*, Jg. 2000, H. 74, S. 283- 302.
- [DOAG E.V. (Hrsg.) 2000] **DOAG - Deutsche ORACLE-Anwendergruppe** (Hrsg.): *Vortragsband zur 13. Jahrestagung der DOAG-Konferenz Fellbach 2000* Stuttgart 2000.
- [DONAUBAUER 2004] **Donaubauer, A.:** *Interoperable Nutzung verteilter Geodatenbanken mittels standardisierter Geo Web Services.* Technische Universität München, Diss. 2004. Als Manuskript gedruckt.
- [DYRESON, SNODGRASS 1993] **Dyreson, C.E. und Snodgrass, R.:** *Valid-time Indeterminacy.* Aus: *Proceedings of the 9th International Conference on Data Engineering*, 1993, S. 335-343.
- [EGENHOFER, GOLLEDGE (Hrsg.) 1994] **Egenhofer, M.J.; Golledge, R.G. 1994** (Hrsg.): *Time in Geographic Space. Report on the Specialist Meeting of Research Initiative 10.* National Center for Geographic Information and Analysis, Report 94-9, Online im Internet: URL=<http://www.spatial.maine.edu/~max/NCGIA94-9.pdf> (Stand: 01.02.05)
- [ESRI 1998] **Environmental Systems Research Institute:** *ESRI Shapefile Technical Description.* Online im Internet. URL: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> (Stand: 01.02.2005)
- [ESRI 2000] **Environmental Systems Research Institute:** *ESRI and Oracle. Solutions for GIS and Spatial Data Management.* Online im Internet. URL: http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/esri_and_oracle.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ESRI 2002] **Environmental Systems Research Institute:** *Raster Data in ArcSDE 8.2. An ESRI White Paper.* Online im Internet. URL: http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/arc82_raster.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ESRI 2002a] **Environmental Systems Research Institute:** *Building Applications with MapObjects-Java.* Redlands, California (ESRI Press) 2002.
- [ESRI 2002b] **Environmental Systems Research Institute:** *Understanding ArcSDE.* ArcGIS Digital Books. Redlands, California (ESRI Press) 2002.
- [ESRI 2003] **Environmental Systems Research Institute:** *ArcSDE Configuration and Tuning Guide for Oracle.* Online im Internet. URL: http://downloads.esri.com/support/downloads/sde_/config_tuning_guide_oracle.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ESRI 2003a] **Environmental Systems Research Institute:** *Building a Geodatabase* ArcGIS Digital Books. Redlands, California (ESRI Press) 2003.
- [ESRI 2003b] **Environmental Systems Research Institute:** *Managing ArcSDE Services.* ArcGIS Digital Books. Redlands, California (ESRI Press) 2003.

- [ESRI 2004] **Environmental Systems Research Institute**: *Neuerungen in ArcView 9.0*. Online im Internet. URL: http://esri-germany.de/downloads/papers/neuerungen_arcview_9.pdf (Stand: 01.02.2005)
Als Manuskript gedruckt.
- [EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.) 2002] **European Commission** (Hrsg.): *The DigiCULT Report. Technological Landscapes for Tomorrow's Cultural Economy, Unlocking the Value of Cultural Heritage, Full Report* Luxemburg (Office for Official Publications of the European Communities) 2002.
- [FICHTINGER 2004] **Fichtinger, A.**: *Methodische Untersuchungen über die Verwendbarkeit von historischen und aktuellen großmaßstäbigen Karten für GIS-gestützte raum-zeitliche Analysen in der Kulturlandschaftsforschung. Dargestellt am Beispiel der Gemeinde Schleching im Achtental*. Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften; Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Diplomarbeit 2004. Als Manuskript gedruckt.
- [FISHER 1996] **Fischer, P.**: *Boolean and Fuzzy Regions*. Aus: Burrough, P. A.; Frank, A. U. (Hrsg.): *Geographic objects with indertiminate boundaries*. London (Taylor & Francis) 1996. S. 87-94.
- [FLACKE, KRAUS 2003] **Flacke, W.; Kraus, B.**: *Koordinatensysteme in ArcGIS. Praxis der Transformationen und Projektionen*. Norden, Halmstad (Points Verlag) 2003.
- [FOWLER, SCOTT 2000] **Fowler, M.; Scott, K.**: *UML konzentriert. Eine sturkturierte Einführung in die Standard-Objektmodellierungssprache*. München (Addison-Wesley) 2000.
- [FRANK 1998] **Frank, A.M.**: *Different Types of "Times" in GIS*. Aus: Egenhofer, M.J.; Golledge, R.G. (Hrsg): *Spatial and temporal reasoning in Geographic Information Systems*. New York, Oxford (Oxford University Press) 1998. S. 40-62.
- [FRELLER 2003] **Freller, K.**: *Heimat und Schule. Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Karl Freller, anlässlich der Tagung der mittelfränkischen Heimatpfleger am 21. März 2003 in Ansbach*. Online im Internet. URL: http://www.km.bayern.de/km/asps/archiv/21_03_heimat_und_schule.pdf (Stand: 02.01.2005)
- [FREUND 2005] **Freund, J.**: *"Zeit im GIS". Historienverwaltung im Liegenschaftskataster am Beispiel ALKIS*. Aus: Schilcher, M. (Hrsg.): *Tagungsband 10. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme, 2.-4. März 05*. München 2005.
- [GARCIA-MOLINA, ULLMAN, WIDOM 2002] **Garcia-Molina, H.; Ullman, J.D.; Widom, J.**: *Database Systems. The Complete Book*. Prentice Hall 2002.
- [GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN (Hrsg.) 2000] **Geographische Kommission für Westfalen** (Hrsg.): *Siedlung und Landschaft in Westfalen*. Münster (Ardey-Verlag) 2000.
(= Schriftenreihe der Geographischen Kommission für Westfalen. 27)
- [GIELSDORF 2005] **Gielsdorf, F.**: *Ausgleichssysteme und raumbezogene Informationssysteme*. Berlin. Habil.-Schr. 2005. Als Manuskript gedruckt.
- [GLEMSER 2000] **Glemser, M.**: *Zur Berücksichtigung der geometrischen Objektunsicherheit in der Geoinformatik*. Stuttgart. Diss. 2000. Als Manuskript gedruckt.
- [GLÜCK, MAGEL (Hrsg.) 2000] **Glück, A.; Magel, H.** (Hrsg.): *Neue Wege in der Kommunalpolitik*. München (Verlagsgruppe Jehle Rehm) 2000.
- [GNÄGI, KELLER 2001] **Gnägi, H.R.; Keller, S.F.**: *Austausch und Verwaltung unscharfer Geodaten mit der modellbasierten Methode*. Aus: Strobl, J.; Blaschke, Th.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2001*. Heidelberg 2001.
- [GNÄGI, SPÄNI 2002] **Gnägi, H.-R.; Späni, B.**: *Systemunabhängige Daten- und Anwendungsmodellierung*. Aus: Bill, R.; Seuß, R.; Schilcher, M. (Hrsg.): *Kommunale Geo-Informationssysteme*. Heidelberg (Wichmann) 2002.
- [GOODCHILD 1992] **Goodchild, M.F.**: *Geographical information science*. In: *International Journal of Geographic Information Systems*, 6. Jg. (1992), H. 1, S. 31-45.

- [GRAHAM 2002] **Graham, B.**: *Heritage as Knowledge: Capital or Culture?* In: *Urban Studies*, 39. Jg. (2002), H. 5-6, S. 1003-1017.
- [GRAHAM, ASHWORTH, TUNBRIDGE 2000] **Graham, B.; Ashworth, G. J.; Tunbridge, J. E.**: *A geography of heritage: power, culture and economy*. London 2000.
- [GRÖGER 2000] **Gröger, G.**: *Modellierung raumbezogener Objekte und Datenintegrität in GIS*. Heidelberg (Wichmann) 2000.
- [GRÜN, REMONDINO 2005] **Grün, A.; Remondino, F.**: *Die Rückkehr der Buddhas. Photogrammetrie und kulturelles Erbe in Bamiyan, Afghanistan*. In: *pfg Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 9. Jg. (2005), H. 1, S. 57-68.
- [GÜNTHER 1985] **Günther, Th. F.**: *Landnutzungsänderungen in einem alpinen Tourismusort. Ein integraler Ansatz zur Erfassung von Wechselbeziehungen zwischen raumwirksamen sozioökonomischen Prozessen und dem Naturhaushalt, dargestellt am Beispiel Davos*. Bern 1985. (= Schlussbericht zum Schweizerischen MAB-Programm 13)
- [GUNZELMANN 1987] **Gunzelmann, Th.**: *Die Erhaltung der historischen Kulturlandschaft. Angewandte Historische Geographie des ländlichen Raumes mit Beispielen aus Franken*. Bamberg 1987. (= Bamberger Wirtschaftsgeographische Arbeiten. 4)
- [GUNZELMANN 2001] **Gunzelmann, Th.**: *Die Erfassung der historischen Kulturlandschaft*. Aus: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Historische Kulturlandschaft*. München 2001. (=Materialien zur Ländlichen Entwicklung. 39) S. 15-32.
- [HANSEN 1995] **Hansen, K.P.**: *Kultur und Kulturwissenschaft* Tübingen, Basel (Francke) 1995.
- [HARRIS 2002] **Harris, T.M.**: *GIS in Archaeology*. Aus: Knowles, A.K. (Hrsg.): *Past Time, Past Place. GIS for History*. Redlands, California (ESRI Press) 2002. S. 131-143.
- [HARRIS, LOCK 1995] **Harris, T.M.; Lock, G.R.**: *Toward an evaluation of GIS in European archaeology*. Aus: Lock, G; Stancic, Z. (Hrsg.): *Archeology and Geographical Information Systems. A European Perspective*. London (Taylor & Francis Ltd.) 1995. S. 349-365.
- [HARTMANN, SEUß, ZIMMERMANN 2000] **Hartmann, J.; Seuß, R.; Zimmermann, K.**: *Pilothafte Realisierung des ALKIS/ATKIS-Datenmodells zur Abbildung bestehender und zukünftiger Anforderungen der Geodatenhaltung in der Hessischen Kataster- und Vermessungsverwaltung*. Darmstadt, Schriftenreihe der Fachrichtung Vermessungswesen der Technischen Universität Darmstadt 2000.
- [HÄUBER, SCHÜTZ 2001] **Häuber, C.; Schütz, F.X.**: *The Analysis of Persistent Structures: A Functionality of the Archaeological Information System FORTVNA*. Aus: Strobl, J.; Blaschke, Th.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2001*. Heidelberg 2001.
- [HÄUBER, SCHÜTZ 2001a] **Häuber, C.; Schütz, F.X.**: *Reconstructing Ancient Rome, using Remote Sensing and GIS-Technology. The Archaeological Information System Fortvna*. Aus: Jürgens, C. (Hrsg.): *2nd International Symposium Remote Sensing of Urban Areas*. Regensburg 2001. (=Regensburger geographische Schriften. 35) S. 283-294.
- [HAZELTON 1991] **Hazelton, N. W. J.**: *Integrated Time, Dynamic Modelling and Geographical Information Systems Development of four-dimensional GIS* Melbourne, Habil.-Schr. 1991. Als Manuskript gedruckt.
- [HEINDL, EICHINGER 2004] **Heindl, S.; Eichinger, A.**: *Etablierung des Nationalparks Bayerischer Wald als Trainingsgebiet für GIS an Schulen*. Aus: Schilcher, M. (Hrsg.): *Tagungsband 9. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme, 10.-12. März 04*. München 2004.
- [HEINEN, KLEEFELD, KNIEPS 2004] **Heinen, N.; Kleefeld, K.-D.; Knieps, E.**: *Kulturelles Erbe in der UVP*. In: *UVP-report*, 18. Jg. (2004), H. 2+3, S. 64.
- [HERZIG 1992] **Herzig, R.**: *Amtliche topographische Karten – in der Schule vielseitig nutzbar*. Aus: Hüttermann H. (Hrsg.): *Beiträge zur Kartennutzung in der Schule*. Trier 1995. (=Materialien zur Didaktik der Geographie. 17) S. 13-23.

- [HILLMANN 1994] **Hillmann, V.:** *Objektorientierte Programmierung mit C++*. München (Markt&Technik Buch- und Software-Verlag GmbH) 1994.
- [HOCHHÄUSLER 2003] **Hochhäusler, T.:** *Implementierung eines Geoinformationssytemes in Visual Basic and Java auf Basis einer objektrelationalen Oracle-Datenbank*. Technische Universität München, Institut für Informatik, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Abschlussarbeit 2003. Als Manuskript gedruckt.
- [HOSSE 2005] **Hosse, K.:** *Zeit in GIS*. Aus: Schilcher, M. (Hrsg.): *Tagungsband 10. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme, 2.-4. März 05*. München 2005.
- [HOSSE, ROSCHLAUB 1998] **Hosse, K.; Roschlaub, R. 1998:** *Modellierung in Geoinformationssystemen für Relationale DB- Systeme*. Aus: Freeden, W. (Hrsg.): *Progress in Geodetic Science at GW 98 - Geodätische Woche 1998 in Kaiserslautern*. Aachen (Shaker Verlag) 1998.
- [HOSSE, SCHILCHER 2003] **Hosse, K.; Schilcher, M.:** *Temporal GIS for analysis and visualisation of cultural heritage*. Aus: Altan, M.O. (Hrsg.): *Proceedings of the XIXth International Symposium CIPA 2003, Antalya. New Perspectives To Save Cultural Heritage*. Istanbul 2003. S. 40-45.
- [HUBER 2002] **Huber, U.:** *Das Referenz-Geoinformationssystem "Nationalpark Bayerischer Wald", eine fachübergreifende Forschungsplattform für die Geoinformatik*. Technische Universität München, Diss. 2002. Als Manuskript gedruckt.
- [ICCROM (Hrsg.) 1983] **ICCROM (Hrsg.):** *The Unesco, ICCROM & ICOMOS. International Meeting of Coordinators of Training in Architectural Conservation*. Rom 1983.
- [ICOMOS (Hrsg.) 1964] **ICOMOS (Hrsg.):** *The Venice Charter/La charte de Venise. 1964 -1994. Paris* Online im Internet: URL=http://www.icomos.org/docs/venice_charter.html (letzte Änderung: 12.01.1996)
- [IMFELD 2000] **Imfeld, St.:** *Time, Points and Space - Towards a Better Analysis of Wildlife Data in GIS*. Universität Zürich, Diss. 2000. Als Manuskript gedruckt.
- [INST 1998] **Institut zur Erforschung und Förderung österreichischer und internationaler Literaturprozesse:** *Kulturwissenschaften und Europa oder die Realität der Virtualität. Kulturbegriffe*. Online im Internet: URL=<http://www.inst.at/ausstellung/kultbeg.htm#Hansentxt> (Stand: 01.02.2005)
- [IRLACHER, RIHL, BIRNER 2003] **Irlacher, F; Rihl, H., Birner, H.:** *Schleching am Geigelstein. Die Dorfgemeinde im Tal der Tiroler Ache. Fotografische Erinnerungen von gestern und heute*. Horb am Neckar. (Geiger) 2003.
- [ISO (Hrsg.) 1988] **ISO (Hrsg.):** *ISO 8601:1988(E) Data elements and interchange formats. Information interchange. Representation of dates and times*. o.O. (International Organization for Standardization) 1988.
- [ISO (Hrsg.) 2004] **ISO (Hrsg.):** *ISO 19125-2: Geographic Information - Simple feature access, Part 2: SQL option*. o.O. (International Organization for Standardization) 2004.
- [ISO/IEC (Hrsg.) 1997] **ISO/IEC (Hrsg.):** *ISO/IEC 14772-1. Information technology - Computer graphics and image processing - The Virtual Reality Modeling Language - Part 1: Functional specification and UTF-8 encoding*. o.O. (International Organization for Standardization) 1997.
- [ISO/IEC (Hrsg.) 2003] **ISO/IEC (Hrsg.):** *ISO/IEC 13249-3: ISO International Standard: Database Language SQL - Multimedia and Application Packages, Part 3: Spatial*. o.O. (International Organization for Standardization) 2003.
- [ISO/IEC (Hrsg.) 2004] **ISO/IEC Hrsg.):** *ISO/IEC 19775-2. Information technology - Computer graphics and image processing - Extensible 3D (X3D) - Part 2: Scene Access Interface (SAI)*. o.O. (International Organization for Standardization) 2004.
- [ISO/TC211 (Hrsg.) 2000] **ISO/TC211 (Hrsg.):** *ISO/DIS 19108: Geographic information. Temporal schema*. o.O. (International Organization for Standardization) 2000.
- [ISO/TC211 (Hrsg.) 2003] **ISO/TC211 (Hrsg.):** *ISO 19107: Geographic Information - Spatial Schema*. o.O. (International Organization for Standardization) 2003.
- [JACOBSON, CHRISTERSON, JONSSON u. a. 1992] **Jacobsen, I.; Christerson, M.; Jonsson, P. :** *Object-Oriented Software Engineering*. o.O. (Addison-Wesley) 1992.

- [JÄGER 1987] **Jäger, H.**: *Entwicklungsprobleme europäischer Kulturlandschaften. Eine Einführung.* Darmstadt 1987.
- [JAROSCH 2002] **Jarosch, M.**: *Ein Spaziergang in Raum und Zeit. Historisches Informationssystem - Instrument und Methodik.* In: *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, Jg. 2002, H. 22, S. 61-75.
- [JÄSCHKE, MÜLLER 1999] **Jäschke, U; Müller, M.**: *Zur Problematik der Anpassung historischer Karten an moderne Koordinatensysteme.* Aus: Ebeling, D. (Hrsg.): *Historisch-thematische Kartographie. Konzepte, Methoden, Anwendungen.* Bielefeld (Verlag für Regionalgeschichte) 1999. S. 150-166.
- [JENSEN, CLIFFORD, GADIA u. a. 1992] **Jensen, C.S., Clifford, J., Gadia, S.K.** : *A glossary of temporal database concepts.* In: *ACM SIGMOD Records*, 21. Jg. (1992), H. 3, S. 35-43.
- [JOB 1999] **Job, H.**: *Der Wandel der historischen Kulturlandschaft und sein Stellenwert in der Raumordnung. Eine historisch-, aktual- und prognostisch-geographische Betrachtung traditioneller Weinbau-Steillagen und ihres bestimmenden Strukturmerkmals Rebterrasse, diskutiert am Beispiel rheinland-pfälzischer Weinbaulandschaften.* Flensburg 1999. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde. 248)
- [JOOS 2001] **Joos, G.**: *Modellierung von Unschärfe in GIS.* Aus: Carosio, A.; Kutterer, H. (Hrsg.): *First Interational Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Proceedings.* Zürich 2001. S. 133-137.
- [KÄFER 1992] **Käfer, W.**: *Geschichts- und Versionenmodellierung komplexer Objekte.* Karlsruhe, Diss. 1992. Als Manuskript gedruckt.
- [KALB, SCHNEIDER, SPECHT 2003] **Kalb, M.; Schneider, K.; Specht, G.**: *T-XPath: Ein zeitliches Modell für XML-Datenbanken.* Aus: Weikum, G.; Schöning, H.; Rahm, E. (Hrsg.): *BTW 2003: Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web. 10. BTW-Konferenz 26.-28. Februar 2003.* Leipzig (Bonner Köllen Verlag) 2003. (=GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings. 26) S. 157-166.
- [KEMPER, EICKLER 2004] **Kemper, A; Eickler, A.**: *Datenbanksysteme.* München, Wien (Oldenbourg) 2004.
- [KLEEFELD 2004] **Kleefeld, K.-D.**: *Leistungsbild zur Erfassung von Kulturgütern.* In: *UVP-report*, 18. Jg. (2004), H. 2+3, S. 79-85.
- [KNOWLES (Hrsg.) 2002] **Knowles, A.K.** (Hrsg.): *Past Time, Past Place. GIS for History.* Redlands, California (ESRI Press) 2002.
- [KORBMACHER 1992] **Korbmacher, K.**: *Eine didaktische Konzeption handlungsorientierten Lernens.* Online im Internet: URL=<http://www.luk-korbmacher.de/Schule/Buwi/texte/lernen/hand.htm> (Stand: 05.02.2005)
- [KRAUS 2001] **Kraus, K.**: *Laser-Scanning - Ein Paradigma-Wechsel in der Photogrammetrie.* Aus: Seyfert E. (Hrsg.): 21. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF, Konstanz, 2001 (= Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung. 10) S. 13 - 22
- [KROEBER, KLUCKHOHN 1952] **Kroeber, A.L.; Kluckhohn, C.K.M.**: *Culture: A critical review of concepts and definitions. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Vol. 47, No. 1* Cambridge (Peabody Museum of Archaeology and Ethnology) 1952.
- [KROIß, WOJTECH 2004] **Kroiß, R.; Wojtech, R.**: *Visualisierung von 3D-Objekten in einem Java-basierten Geoinformationssystem für kulturelles Erbe.* Technische Universität München, Institut für Informatik und Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Systementwicklungsprojekt. Als Manuskript gedruckt.
- [KUTTERER 2001] **Kutterer, H.**: *Uncertainty assessment in geodetic data analysis.* Aus: Carosio, A.; Kutterer, H. (Hrsg.): *First Interational Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Proceedings.* Zürich 2001. S. 7-12.
- [LAMBERS 2004] **Lambers, K.**: *The geoglyphs of Palpa (Peru): documentation, analysis, and interpretation.* Zürich, Diss. 2004. Als Manuskript gedruckt.

- [LAMBERS, SAUERBIER 2003] **Lambers, K.; Sauerbier, M.:** *A data model for a GIS-based analysis of the Nasca lines at Palpa (Peru)*. Aus: Altan, M.O. (Hrsg.): *Proceedings of the XIXth International Symposium CIPA 2003, Antalya. New Perspectives To Save Cultural Heritage*. Istanbul 2003. S. 713-718.
- [LANGE 1999] **Lange, E.:** *Von der analogen zur GIS-gestützten 3D-Visualisierung bei der Planung von Landschaften*. In: *GIS - Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen*, Jg. 1999, H. 2, S. 29-37.
- [LANGE 2002] **Lange, N. de:** *Geoinformatik in Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg (Springer) 2002.
- [LANGE 2002a] **Lange, B.:** *Die Kulturlandschaftsanalyse als Baustein des Kulturlandschaftskatasters Rheinland. Vorgehensweise und Analysemöglichkeiten*. Aus: Rheinischer Verein für Denkmalpflege und Landschaftsschutz (RVDL) (Hrsg.): *Rheinisches Kulturlandschaftskataster. Tagungsbericht zur 11. Fachtagung 25./26. Oktober 2001 in Heinsberg*. Köln 2002. (=Beiträge zur Landesentwicklung. 55) S. 73-84.
- [LANGRAN 1992] **Langran, G.:** *Time in Geographic Information Systems*. London (Taylor & Francis Ltd.) 1992.
- [LITSCHKO 1999] **LITSCHKO, Th.** (Hrsg.): *Raumzeitliche Datenbanken als Basis für GIS-Anwendungen in der Geschichtswissenschaft*. Aus: Ebeling, D. (Hrsg.): *Historisch-thematische Kartographie. Konzepte, Methoden, Anwendungen*. Bielefeld (Verlag für Regionalgeschichte) 1999. S. 167-180.
- [LOCK, STANCIC (Hrsg.) 1995] **Lock, G; Stancic, Z.** (Hrsg.): *Archeology and Geographical Information Systems. A European Perspective*. London (Taylor & Francis Ltd.) 1995.
- [LOTHER 2003] **Lothar, G.:** *Konzeptionelle Aspekte eines landesweiten Fachgeoinformationssystems für die Bestandsdokumentation forstlicher Geodaten*. Technische Universität München, Diss. 2003. Als Manuskript gedruckt.
- [MAGEL 1986] **Magel, H.:** *Dorferneuerung in Bayern. Chance und Verpflichtung für die Heimatpflege*. In: *Schönere Heimat*, Jg. 1986, H. 3, S. 415-420.
- [MAGEL 1988] **Magel, H.:** *Wie können wir die Zukunft unseres Dorfes sichern? Das Dorf ist eine kleine Welt, in der die große ihre Probe hält*. In: *Schönere Heimat*, Jg. 1988, H. 3, S. 403-410.
- [MAGEL 2004] **Magel, H.:** *Kommunen und Landentwicklung vor neuen Herausforderungen*. In: *Flächenmanagement und Bodenordnung. Zeitschrift für Liegenschaftswesen, Planung und Vermessung (FUB)*, Jg. 2004, H. 3, S. 123-129.
- [MEINEL, NEUMANN 2003] **Meinel, G.; Neumann, K.:** *Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1970. Methodik und Ergebnisse eines Langzeit-Monitorings*. In: *pfg Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 7. Jg. (2003), H. 5, S. 409-422.
- [MERKLI 1993] **Merkli, CH.:** *Die zweite Schlacht von Sempach. Kulturlandschaftswandelforschung auf dem Weg zu Aktualität und Bevölkerungsnähe*. In: *Regio Basiliensis*, 34. Jg. (1993), H. 1, S. 25-30.
- [MYRACH 1997] **Myrach, T.:** *Information zu Zeitaspekten betrieblicher Informationssysteme im Internet*. In: *Wirtschaftsinformatik*, Jg. 1997.
- [NAVATHE, AHMED 1988] **Navathe, S.B.; Ahmed, R.:** *TSQL: A language interface for history databases*. In: *Information Sciences*, H. 49, S. 109-121.
- [NEUDECKER 2002] **Neudecker, A.:** *Aspekte des Kulturlandschaftswandels des Hotzenwaldes seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert. Eine GIS-gestützte Auswertung historischer Karten der Banne Egg und Hornberg*. In: *Regio Basiliensis*, 43. Jg. (2002), H. 1, S. 67-78.
- [NEUER 1998] **Neuer, B.S.:** *Mit GIS gegen das Vergessen? Spuren in der Landschaft - zu ihrer Inventarisierung mit GIS-Anwendung. Ein Fallbeispiel aus dem Mittleren Schwarzwald*. In: *Kulturlandschaft*, Jg. 1998, H. 1, S. 32-36.
- [OGC (Hrsg.) 1999] **Open Geospatial Consortium** (Hrsg.): *Open GIS Simple Features Spezifikation for SQL, Revision 1.1*. OpenGIS Project Document 99-049, Mai 1999. Online im Internet: URL=<http://www.opengeospatial.org/docs/99-049.pdf> (Stand: 01.02.2005)

- [OMG 2000] **Object Management Group**: *UML Resource Page*. Online im Internet: URL=<http://www.uml.org/> (Stand: 01.02.2005).
- [ONGYERTH 1996] **Ongyerth, G.**: *Denkmalpflege und Geographie. Zur Neubewertung geographischer Methoden*. In: *Berichte zur deutschen Landeskunde*, Jg. 1996, H. 70, S. 115-131.
- [ONGYERTH 2001] **Ongyerth, G.**: *Der denkmalpflegerische Erhebungsbogen zur Dorferneuerung. Bearbeitungstechnik und methodische Anleitung*. Aus: Petzet, M. (Hrsg.): *Denkmalpflege und Dorferneuerung. Der denkmalpflegerische Erhebungsbogen zur Dorferneuerung*. München (Karl M. Lipp) 1999. (=Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege. 93) S. 77-114.
- [ORACLE (Hrsg.) 2002] **Lee, G.**: *Simple Strategies for Complex Data: Oracle9i Object-Relational Technology*. Oracle Technical White Paper, Mai 2002. Online im Internet: URL=http://www.oracle.com/technology/products/oracle9i/pdf/simple_strat_for_complex_rel2.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ORACLE (Hrsg.) 2002a] **Sharma, J.**: *Oracle Spatial*. Oracle Technical White Paper, Mai 2002. Online im Internet: URL=http://www.oracle.com/technology/products/spatial/pdf/9iR2_spatial_twp.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ORACLE (Hrsg.) 2003] **Lee, G.**: *SQL 2003 Standard Support in Oracle Database 10g*. Oracle Technical White Paper, Februar 2003. Online im Internet: URL=http://www.oracle.com/technology/products/database/application_development/pdf/SQL_2003_TWP.pdf (Stand 01.02.2005)
- [ORACLE (Hrsg.) 2003a] **Farley, J.; Xie, J.**: *Oracle Database 10g. Managing Geographic Raster Data Using GeoRaster*. Oracle Technical White Paper, Dezember 2003. Online im Internet: URL=http://www.oracle.com/technology/products/spatial/pdf/10g_georaster_twp.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ORACLE (Hrsg.) 2004] **Qian, L.**: *Oracle Database 10g. Developing Spatial Applications Using Oracle Spatial and MapViewer*. Oracle Technical White Paper, Februar 2004. Online im Internet: URL=http://www.oracle.com/technology/products/mapviewer/pdf/mapviewer_spatial_wp.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 2003] **Österreichische Akademie der Wissenschaften - Kommission für Kulturwissenschaften und Theatergeschichte**: *5. Internationaler Kongress des Forschungsprogramms Orte des Gedächtnisses. Repräsentation, Fabrikation, Vermarktung*. Wien, 6. - 8. November 2003 Online im Internet: URL=http://www.oeaw.ac.at/kkt/2003/kongress_2003.pdf (Stand: 01.02.2005)
- [OTT (Hrsg.) 1997] **Ott, E.** (Hrsg.): *Zukunft der Kulturlandschaften. Aufgaben und Konzepte nachhaltiger regionaler Entwicklungen*. Frankfurt am Main 1997. (= Kommune und Umwelt. 5)
- [OTT, SWIACZNY 2000] **Ott, Th.; Swiacny, F.**: *Modellierung raumzeitlicher Prozesse in Geographischen Informationssystemen*. Aus: Rosner, H.-J. (Hrsg.): *GIS in der Geographie II. Ergebnisse der Jahrestagung des Arbeitskreises GIS 25./26 Februar*. Tübingen 2000. (=Kleinere Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität Tübingen. 25) S. 19-37.
- [OTT, SWIACZNY 2001] **Ott, Th.; Swiacny, F.**: *Time-Integrative Geographic Information Systems. Management and Analysis of Spatio-Temporal Data*. Berlin, Heidelberg (Springer) 2001.
- [OTTEN 2004] **Otten, T.**: *Zehn Jahre Arbeitsgemeinschaft "Kulturelles Erbe in der UVP". Der lange Weg der Emanzipation eines Schutzguts im Planungsalltag*. In: *UVP-report*, 18. Jg. (2004), H. 2+3, S. 65-66.
- [PAN 2004] **Pan, A.**: *Katalogisierung der Kulturgüter in Südtirol. Präsentation am 18.10.04 in Berlin*. Online im Internet: URL=http://www.museumsbund.de/fgdoku/dmbdoku_termine/dmbokt2004/beitraege/pan_%20KKS_20041018_Projektpr%E4sentation.pdf.
- [PÁPAY 1997] **Pápay, G.**: *Die Zeitproblematik aus der Sicht der raumbezogenen historischen Informationssysteme und der Geschichtskartographie*. Aus: Bill, R. (Hrsg.): *Zeit als weitere Dimension in Geo-Informationssystemen. Tagungsband zum Workshop vom 29. bis 30. September 1997 an der Universität Rostock*. Rostock 1997.

- [PATIAS 2004] **Patias, P.:** *35 Years of CIPA*. Aus: Altan, M.O. (Hrsg.): *Proceedings of XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Türkei*. Istanbul 2004. (=Internationales Archiv für Photogrammetrie, Fernerkundung und Raumbezogene Informationssysteme. XXXV, B)
- [PETTERLECHNER 2000] **Petterlechner, T.:** *Bestandsaufnahme und Anforderungsanalyse für ein grenzüberschreitendes historisches Geoinformationssystem*. Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Diplomarbeit 2000. Als Manuskript gedruckt.
- [PETZET (Hrsg.) 1999] **Petzet, M. (Hrsg.):** *Denkmalpflege und Dorferneuerung. Der denkmalpflegerische Erhebungsbogen zur Dorferneuerung*. München (Karl M. Lipp) 1999. (=Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege. 93)
- [PEUQUET 1999] **Peuquet, D.J.:** *Time in GIS and geographical databases*. Aus: Longley P, Goodchild M, Maguire D, u. a. (Hrsg.): *Geographical Information Systems. Management Issues and Applications*. USA (John Wiley & Sons, Inc) 1999.
- [PEUQUET 2002] **Peuquet, D.J.:** *Representations of Space and Time* New York, London (The Guilford Press) 2002.
- [PLABST 2001] **Plabst, S.:** *Entwicklung eines objektrelationalen Datenmodells für ein kulturhistorisches Geoinformationssystem*. Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Diplomarbeit 2000. Als Manuskript gedruckt.
- [PLÖGER 1998] **Plöger, R.:** *GIS-Anwendungen in der Historischen Geographie*. Aus: Asmus, J.; Porada, H.T.; Schleinert, D. (Hrsg.): *Geographische und historische Beiträge zur Landeskunde Pommerns. Eginhard Wegner zum 80. Geburtstag*. Schwerin 1998. S. 195-202.
- [PLÖGER 2003] **Plöger, R.:** *Inventarisierung der Kulturlandschaft mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS). Methodische Untersuchungen für historisch-geographische Forschungsaufgaben und für ein Kulturlandschaftskataster*. Bonn. Diss. 2003. Online im Internet: URL=http://hss.ulb.uni-bonn.de/ulb_bonn/diss_online/phil_fak/2003/ploeger_rolf/0156.pdf (Stand: 20.08.2004)
- [PRIVAT 1996] **Privat, C.:** *Einsatz von Geo-Informationssystemen bei kulturlandschaftlichen Fragestellungen*. Aus: Landschaftsverband Rheinland (LVR) (Hrsg.): *Kulturlandschaftspflege im Rheinland. Kulturlandschaftliche Untersuchung "Hückeswagen". Werkstattbericht 1994*. Köln 1996. (=Beiträge zur Landesentwicklung. 51) S. 54-60.
- [QUATRANI 1998] **Quatrani, T.:** *Visual Modeling with Rational Rose*. London (Addison Wesley) 1998.
- [RIHL 2003] **Rihl, H.:** *Die Geschichte von Schleching*. Online im Internet. URL: <http://www.schleching.de/geschichte2.htm> (Stand: 01.02.2005).
- [ROSNER 2000] **Rosner, H.-J.:** *Quantitative Analyse von Landnutzungsänderungen: 300 Jahre Kulturlandschaftsentwicklung im Schönbuch. Eine Projektskizze*. Aus: Rosner, H.-J. (Hrsg.): *GIS in der Geographie II. Ergebnisse der Jahrestagung des Arbeitskreises GIS 25./26 Februar*. Tübingen 2000. (=Kleinere Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität Tübingen. 25) S. 71-79.
- [RUMBAUGH, BLAHA, PREMERALI 1991] **Rumbaugh, J.R.; Blaha, M.R.; Premerali, W.:** *Object-Oriented Modelling and Design*. New Jersey (Prentice Hall) 1991.
- [SAHLINS 1995] **Sahlins, M.:** *Introduction*. Aus: World Commission on Culture and Development (Hrsg.): *Our Creative Diversity. Report of the World Commission on Culture and Development*. o.O. (UNESCO PUBLISHING) 1995.
- [SCHÄFER, WEBER 2004] **Schäfer, Th.; Weber, Th.:** *Von der Punktwolke zum CAD*. Aus: Ingensand, H. (Hrsg.): *Ingenieurvermessung 2004, 14th International Conference on Engineering Surveying, 16. März 04*. Zürich 2004.
- [SCHENK 2002] **Schenk, W.:** *Wir brauchen ein Kulturlandschaftskataster!* Aus: Rheinischer Verein für Denkmalpflege und Landschaftsschutz (RVDL) (Hrsg.): *Rheinisches Kulturlandschaftskataster. Tagungsbericht zur 11. Fachtagung 25./26. Oktober 2001 in Heinsberg*. Köln 2002. (=Beiträge zur Landesentwicklung. 55) S. 9-15.

- [SCHENK 2002a] **Schenk, W.:** "Landschaft" und "Kulturlandschaft" - "getönte" Leitbegriffe für aktuelle Konzepte geographischer Forschung und räumlicher Planung. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Jg. 2002, H. 6, S. 6-13.
- [SCHEU 1999] **Scheu, M.:** *Geo-Informationssysteme (GIS) mit großmaßstäbigem Anwendungsbezug*. Berlin, Habil.-schr. 1999. Als Manuskript gedruckt.
- [SCHEUGENPFLUG 1999] **Scheugenpflug, S.:** *Raum-Zeit-Analysen in Geoinformationssystemen am Beispiel des Referenz-GIS "Nationalpark Bayerischer Wald"*. Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Diplomarbeit 1999. Als Manuskript gedruckt.
- [SCHILCHER 2002] **Schilcher, M.:** *Einführung in Geodatenbanken. Vorlesung Geoinformatik I, Grundlagen Geoinformationssysteme für Vermessungsingenieure und Geographen*. TU München, Fachgebiet Geoinformationssysteme, 2002. Als Manuskript gedruckt.
- [SCHILCHER 2004] **Schilcher, M.:** *Grundlagen GIS. Vorlesung für Hörer des Wissenschaftszentrums Weihenstephan*. TU München, Fachgebiet Geoinformationssysteme, 2004. Als Manuskript gedruckt.
- [SCHILCHER 2004a] **Schilcher, M.:** *Modellierung und Datenmodelle. Vorlesung Geoinformatik I, Grundlagen Geoinformationssysteme für Vermessungsingenieure und Geographen*. TU München, Fachgebiet Geoinformationssysteme, 2004. Als Manuskript gedruckt.
- [SCHILCHER, AUMANN 2001] **Schilcher, M.; Aumann, G.:** *Fortschritt in der GIS-Entwicklung durch mehr interdisziplinäre Zusammenarbeit*. Aus: Bayerisches Staatsministerium der Finanzen, Abteilung Vermessung, Informations- und Kommunikationstechnik (Hrsg.): *200 Jahre Bayerische Vermessungsverwaltung - Es ist ein Maß in allen Dingen*. München 2001.
- [SCHILCHER, HEINDL, FISCHER 2004] **Schilcher, M.; Heindl, S., Fischer, F.:** *GIS-Portal für Schulen*. Interner Foliensatz Fachgebiet Geoinformationssysteme der TU München.
- [SCHILCHER, HOSSE 2001] **Schilcher, M.; Hosse, K.:** *Interoperable web-based geoportal for geo-spatial data and geoprocessing services*. Aus: Li, L. (Hrsg.): *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, 6-10 August, Beijing, China*. Beijing, China 2001.
- [SCHILCHER, ROSCHLAUB 1999] **Schilcher, M.; Roschlaub, R. 1999:** *Fortführung und Wiederverwendbarkeit von 3D-Stadtmodellen durch Kombination von GIS und Photogrammetrie*. Aus: Heipke, C.; Mayer, H. (Hrsg.): *Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Heinrich Ebner zum 60. Geburtstag*. München 1999.
- [SCHILCHER, RÜCKERT, DONAUBAUER 2002] **Schilcher, M.; Rückert, E.; Donaubaue, A.:** *Nutzung von Geodaten mit OGC-Standards*. Aus: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Hrsg.): Frankfurt a.M. (Verlag des BKG) 2002. (=Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie. 22)
- [SCHRÖDER 1981] **Schröder, U.E.:** *Spezielle Relativitätstheorie*. Frankfurt/Main (Harri Deutsch, Thun) 1981.
- [SCHRÖDER 2005] **Schröder, A.:** *Historische Karten in der Bayerischen Landesbibliothek online - Erschließung und Suche mit GIS*. Aus: Schilcher, M. (Hrsg.): *Tagungsband 10. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme, 2.-4. März 05*. München 2005.
- [SMIATEK, SCHOENENMEYER 1999] **Smiatek, G.; Schoenenmeyer, T.:** *GIS-Unterstützung für das multiskalige atmosphärische Modell MCCM*. In: *GIS*, Jg. 1999, H. 4, S. 12-17.
- [SNODGRASS (Hrsg.)1995] **Snodgrass, R.T.:** *The TSQL2 Temporal Query Language*. Boston u. a. (Kluwer Academic Pub.) 1995.
- [SNODGRASS 1998] **Snodgrass, R.:** *Managing Temporal Data*. Online im Internet: URL=<http://www.dbpd.com/vault/9810snod.html> (Stand 01.02.2005).
- [SNODGRASS, AHN 1985] **Snodgrass, R.; Ahn, I.:** *A Taxonomy of Time in Databases*. Aus: Shamkant B. Navathe (Hrsg.): *Proceedings of ACM SIGMOD International conference on Management of Data, May 28-31, Austin, USA*. o.O. 1985.
- [SOO, SNODGRASS 1995] **Soo, M.D.; Snodgrass, T.:** *Temporal Data Types*. Aus: Snodgrass, R.T. (Hrsg.): *The TSQL2 Temporal Query Language*. Boston u. a. (Kluwer Academic Pub.) 1995.

- [SOYEZ 2003] **Soyez, D.:** *Kulturlandschaftspflege: Wessen Kultur? Welche Landschaft? Was für eine Pflege?* In: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Jg. 2003, H. 2, S. 30-39.
- [SPERBER 1996] **Sperber, D.:** *Explaining Culture. A Naturalistic Approach*. Oxford (Blackwell) 1996.
- [STEUDLE 2004] **Stuedle, G.:** *GIS an Schulen - raus aus den Kinderschuhen?! - der Landesbetrieb Vermessung Baden-Württemberg plaudert aus der Schule*. Aus: Schilcher, M. (Hrsg.): *Tagungsband 9. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme, 10.-12. März 04*. München 2004.
- [STONEBREAKER, MOORE 1999] **Stonebraker, M.; Moore, D.:** *Objektrelationale Datenbanken. Die nächste große Welle*. München (Hanser) 1999.
- [TREML 1984] **Treml, M.:** *Denkmalschutz und Kulturlandschaftspflege als Themenbereiche in der Schule*. Aus: Treml, M. (Hrsg.): *Akademie für Lehrerfortbildung Dillingen: Fortbildung von Lehrern aller Schularten in Fragen des Denkmalschutzes und der Kulturlandschaftspflege. Ein Modellversuch*. München 1984. S. 65-82.
- [UNESCO (Hrsg.) 1972] **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization** (UNESCO): *Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage - 1972, Paris, I, Art. 1-3* Online im Internet:
URL=http://portal.unesco.org/culture/admin/ev.php?URL_ID=8453&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201&reload=1104619281 (Stand: 01.02.2005)
- [UNESCO (Hrsg.) 2003] **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization** (UNESCO): *Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage*, Paris 2003.
- [VETTER 2001] **Vetter, L.:** *Kulturlandschaften digital - Entwicklung eines EDV-gestützten Kulturlandschaftselementkatasters (KLEKs) für Mecklenburg-Vorpommern*. Aus: Zölitz-Möller, R. (Hrsg.): *Historische Geographie und Kulturlandschaftsforschung. Beiträge zum Gedenkkolloquium für Dr. Eginhard Wegner am 4. Mai 2001 in Greifswald*. Greifswald 2001. (=Greifswalder Geographische Arbeiten. 22) S. 99-109.
- [VOZIKIS, HARING, VOZIKIS u. a. 2004] **Vozikis, G., Haring, A., Vozikis E.:** *Laser Scanning: A New Method for Recording and Documentation in Archaeology*. Aus: FIG Working Week 2004, The Olympic Spirit in Surveying: *Proceedings Technical Papers*. Athen 2004. Paper ID WSA1.4.
- [WACHOWICZ 1999] **Wachowicz, M.:** *Object-Oriented Design for Temporal GIS*. London (Taylor & Francis) 1999.
- [WAGNER 1938] **Wagner, H.:** *Allgemeine Erdkunde. Band 1: Mathematische Geographie nebst Einführung in die geographische Wissenschaft*. Hannover 1938.
- [WAGNER 1999] **Wagner, J. M.:** *Schutz der Kulturlandschaft. Erfassung, Bewertung und Sicherung schutzwürdiger Gebiete und Objekte im Rahmen des Aufgabenbereiches von Naturschutz- und Landschaftspflege*. Saarbrücker Geographische Arbeiten, Universität Saarland, Fachrichtung Geographie, Methodenstudie 1999.
- [WEISER 1996] **Weiser, Ch. K.:** *Kulturlandschaftlicher Beitrag Hückeswagen*. Aus: Landschaftsverband Rheinland (LVR) (Hrsg.): *Kulturlandschaftspflege im Rheinland. Kulturlandschaftliche Untersuchung "Hückeswagen". Werkstattbericht 1994*. Köln 1996. (=Beiträge zur Landesentwicklung. 51) S. 13-53.
- [WIEGANDT 1997] **Wiegandt, C.:** *Natürliches und kulturelles Erbe - Hintergründe zum Entwicklungsszenario der Europäischen Union*. Aus: Ott, E. (Hrsg.): *Zukunft der Kulturlandschaften. Aufgaben und Konzepte nachhaltiger regionaler Entwicklungen*. Frankfurt am Main 1997. (=Kommune und Umwelt. 5) S. 34-38.
- [WITSCHAS 2002] **Witschas, S.:** *Erinnerung an die Zukunft - sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel*. In: *Kartographische Nachrichten*, 52. Jg. (2002), H. 3, S. 111-117.
- [WÖBSE 1999] **Wöbse, H.H.:** *"Kulturlandschaft" und "historische Kulturlandschaft"*. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, Jg. 1999, H. 5/6, S. 269-278.
- [WORBOYS 1992] **Worboys, M.F.:** *Object-Oriented Models of Spatiotemporal Information*. Aus: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (Hrsg.): *Proceedings of GIS/LIS '92 Annual Conference, San Jose, California, USA*. Bethesda, MA, USA 1992. S. 825-834.

- [WORBOYS 1994] **Worboys, M.F.:** *A unified model for spatial and temporal information.* In: *The Computer Journal*, 37. Jg. (1994), H. 1, S. 26-34.
- [ZADEH 1965] **Zadeh, L.A.:** *Fuzzy sets.* In: *Information and Control*, 8. Jg. (1965), S. 338-353.
- [ZIEGLER 1976] **Ziegler, Th.:** *Die Entstehung des Bayerischen Katasterwerks.* München 1976. (= Sonderheft des DVW Bayern)
- [ZIEGLER 1993]] **Ziegler, Th.:** *Der König ließ messen sein Land.* München 1993. (= Sonderheft des DVW Bayern)
- [ZIPF, KRÜGER 2001] **Zipf, A.; Krüger, S.:** *Flexible Modellierung und Verwaltung temporaler 3D-Geodaten.* In: *GIS - Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen*, Jg. 2001, H. 12, S. 20-27..
- [ZIPF, MALAKA 1999] **Zipf, A.; Rainer, M.:** *Durch Raum und Zeit. Deep Map - das historische Tourismusinformationssystem für Heidelberg.* In: *GeoBIT*, Jg. 1999, H. 5, S. 30-32.
- [ZSCHOCKE, BLOME, FLEISCHMANN 2004] **Zschocke, N.; Blome, G.; Fleischmann, M.:** *Cultural Heritage. Kulturvermittlung mit digitalen Medien.* Online im Internet: URL=<http://netzspannung.org/media-art/topics/cultural-heritage/> (Stand: 30.08.2004).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Stufenmodell zur Wertsteigerung und Sicherung des Zugangs zu kulturellem Erbe, Quelle: SALZBURG RESEARCH 2001 in EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.) 2002.....	1
Abb. 1.2:	Themenüberblick zur Arbeit.....	3
Abb. 2.1:	Entwicklung einer GIS-Anwendung für kulturelles Erbes.....	13
Abb. 2.2:	Ansätze der Datenhaltung für GIS Quelle: verändert nach SCHILCHER 2004.....	14
Abb. 2.3:	Neue Nutzergruppen für GIS für kulturelles Erbe.....	22
Abb. 2.4:	Taxonomie temporaler GIS, Quelle ergänzt nach SCHILCHER 2004 und LOTHER 2003.....	25
Abb. 2.5:	Topologische Beziehungen zwischen Zeitpunkt und Zeitspanne, Quelle nach BARTELME 2000.....	27
Abb. 2.6:	Topologische Beziehungen zwischen zwei Zeitspannen, Quelle: nach ALLEN 1983 u. BARTELME 2000.....	27
Abb. 2.7:	Beispiel für eine sublineare Ordnung.....	28
Abb. 2.8:	Beispiel für eine verzweigende Ordnung.....	28
Abb. 2.9:	Gliederung der Zeitlinie eines Ereignisses zur Integration in ein GIS, Quelle: nach HUBER 2002.....	29
Abb. 2.10:	Beispiel für den Zusammenhang von Kalendern und der Basisuhr.....	30
Abb. 2.11:	Der geografische Datenquader Quelle: nach BILL (Hrsg.) 1997.....	30
Abb. 2.12:	4D GIS Feature Typen, Quelle: SCHEUGENPFLUG 1999.....	31
Abb. 2.13:	Snapshot-Modell, Quelle: FICHTINGER 2004.....	31
Abb. 2.14:	Vektor-Update-Modell, Quelle nach FICHTINGER 2004.....	32
Abb. 2.15:	Space-Time-Composite-Modell, Quelle nach FICHTINGER 2004, LANGRAN 1992.....	33
Abb. 2.16:	Raum-Zeit-Pfad von drei Entitäten, Quelle: Wachowicz 1999.....	33
Abb. 2.17:	Valid und transaction time in temporalen Datenbanken, Quelle: nach WORBOYS 1994.....	37
Abb. 2.18:	Zeitliche Entwicklung von Datenbank-Modellen mit temporalen Erweiterungen.....	38
Abb. 2.19:	Zeitliche Anforderungen verschiedener GIS-Anwendungen, Quelle: nach Bill 1999.....	42
Abb. 2.20:	Eigener objektorientierter Lösungsansatz für Test und Implementierung.....	49
Abb. 2.21:	Lage des Untersuchungsgebiets Oberes Achantal.....	49
Abb. 3.1:	Modellierungsprozess von der realen Welt in eine Geodatenbank, Quelle: HOSSE, SCHILCHER 2003.....	54
Abb. 3.2:	Eine Klasse im UML-Klassendiagramm.....	56
Abb. 3.3:	Eine Assoziation im UML-Klassendiagramm.....	57
Abb. 3.4:	Aggregation und Komposition im UML-Klassendiagramm.....	57

Abb. 3.5:	Vererbung im UML-Klassendiagramm.....	58
Abb. 3.6:	UML-Klassendiagramm für kulturelles Erbe in einem temporalen GIS.....	59
Abb. 3.7:	Daten zur historischen Kulturlandschaft werden in „KULTURELEMENT“-Objekten erfasst.....	60
Abb. 3.8:	Die Objektklasse Stichworte.....	60
Abb. 3.9:	Die Objektklasse ORTSANGABE mit den Bestandteilen Flurstücksnummer und Adresse..	61
Abb. 3.10:	Die Klassen zur Speicherung von Bildern, Virtual Reality-Szenen etc.....	61
Abb. 3.11:	Das Geometrieobjekt RAUM.....	62
Abb. 3.12:	Geometrie Klassenhierarchie nach der OpenGIS Simple Features Specification, Quelle: OGC (Hrsg.) 1999.....	63
Abb. 3.13:	Klassen zur Speicherung von historischen und aktuellen Karten.....	65
Abb. 3.14:	Verschiedene Möglichkeiten der Geschichte von Objekten, Quelle: ergänzt nach KÄFER 1992.....	66
Abb. 3.15:	Modellierungsraum für temporale Strukturen.....	67
Abb. 3.16:	Datumsangabe in ZEITPUNKT und ZEITSPANNE.....	67
Abb. 3.17:	Versionierung eines Kulturerbe-Objektes.....	68
Abb. 3.18:	UML-Diagramm zum Zusammenhang der Unsicherheitsbegriffe, Quelle: GLEMSER 2000.....	70
Abb. 3.19:	Historische Zeitaussagen mit Zugehörigkeitsfunktion aus der Fuzzy-Mengen Theorie.....	72
Abb. 3.20:	Zeitmodell mit Unsicherheitsbereich.....	72
Abb. 4.1:	Gesamt-Systemkonzept für die OO-Implementierung in Java und einem ORDBMS.....	75
Abb. 4.2:	Ausgewählte Schnittstellen für Zugriffe auf die Spatial DataBase Engine.....	84
Abb. 4.3:	Die Benutzeroberfläche des erstellten Geoinformationssystems.....	86
Abb. 4.4:	Mögliche Anfrageoptionen in der Benutzeroberfläche.....	86
Abb. 4.5:	Auswertung von Zeitspannen, Quelle: HOCHHÄUSLER 2003.....	88
Abb. 4.6:	Beispiele aus der bebilderten Denkmalliste des Landkreises, Quelle: Landratsamt Traunstein 2001	92
Abb. 4.7:	Auszug aus dem historisches digitalen Lexikon von HELMUT BIRNER.....	92
Abb. 5.1:	Bairische Landtafeln von Apian, Amman, Wolf, Maßstab 1:144.000 Quelle: Bayerisches Staatsarchiv Online.....	95
Abb. 5.2:	Carte de la Bavière von Aubert, L. K7 aus dem Jahre 1806, veröffentlicht 1900 im Maßstab 1:100.000, Quelle: Bayerisches Staatsarchiv Online.....	95
Abb. 5.3:	Vorhandene Datenquellen für die flächenhafte Auswertung, Quelle: FICHTINGER 2004.....	96
Abb. 5.4:	Stufen der raum-zeitlichen Analyse, Quelle: FICHTINGER 2004.....	97
Abb. 5.5:	Temporale Kartenserie auf Basis von vektorisierten Zeitschnitten, Quelle: nach FICHTINGER 2004.....	98

Abb. 5.6: Entwicklung der Flächenanteile der Nutzungsarten 1810-2003, Quelle: FICHTINGER 2004.....	98
Abb. 5.7: Kulturlandschaftswandelkarte 1941-2003, Quelle: FICHTINGER 2004.....	99
Abb. 5.8: Fehlende raum-zeitliche Reliabilität.....	100
Abb. 5.9: Ablaufschema von der Laserscanaufnahme bis zur Darstellung in einer Virtual Reality- Umgebung.....	102
Abb. 5.10: Einzelscan vor der Registration.....	102
Abb. 5.11: In Cyclone erstelltes 3D-Modell der Kirche.....	103
Abb. 5.12: 3D-Virtual-Reality-Modell der Streichenkirche im integrierten 3D-Browser.....	104
Abb. 5.13: GIS-Portal für Schulen, Quelle: SCHILCHER, HEINDL, FISCHER 2004.....	111

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Ermittelte, verfügbare Daten aus der Bestandsaufnahme für ein GIS für kulturelles Erbe im Oberen Achantal (Auszug, s. auch Anhang A).....	19
Tab. 2.2:	Beispiele für raum-zeitliche Abfragen im GIS für kulturelles Erbe.....	21
Tab. 2.3:	Zeit als weitere Dimension in GIS	30
Tab. 2.4:	Vor- und Nachteile des Snapshot-Modells, Quelle: nach SCHEUGENPFLUG 1999; PEUQUET 1999.....	32
Tab. 2.5:	Vor- und Nachteile des Space-Time-Composite-Modells, Quelle: FICHTINGER nach SCHEUGENPFLUG 1999 und OTT, SWIACZNY 2001.....	33
Tab. 2.6:	Grundlegende Modelle für temporale GIS (TGIS), Quelle: vgl. Scheugenpflug 1999 und Ott, Swiaczny 2001.....	34
Tab. 2.7:	Qualitätsmerkmale nach ISO 19113 Quelle: nach FICHTINGER 2004, BARTELME 2000 und ISO/TC 211 2000.....	35
Tab. 2.8:	Build-In-Funktionen temporaler Datentypen in TSQL2, Quelle: SOO, SNODGRASS 1995	40
Tab. 2.9:	Arithmetische Operatoren temporaler Datentypen in TSQL2, Quelle: SOO, SNODGRASS 1995.....	40
Tab. 2.10:	Vergleichsoperatoren für Zeitspannen (s. CLARAMUNT, Thériault 1995 nach NAVATHE, AHMED 1988 und ALLEN, HAYES 1989)	40
Tab. 2.11:	Visualisierung raum-zeitlicher Prozesse, Quelle: nach PÁPAY 1997 und OTT, SWIACZNY 2001.....	41
Tab. 2.12:	Kulturlandschaftliche Gliederungsebenen, Quelle: nach PLÖGER 2003.....	45
Tab. 3.1:	Auszug aus den spezifizierten Methoden der Geometrieobjekte POINT und CURVE in SFSQL und SQL/MM, Quelle: OGC (Hrsg.) 1999 und ISO/IEC (Hrsg.) 2003.....	64
Tab. 3.2:	Fälle der Unsicherheitsangaben zu einer Zeitspanne	73

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Die folgenden Begriffe werden unter Verwendung des GIS-Glossars des Fachgebiets Geoinformationssysteme der TU München¹ und des Geoinformatik-Services der Universität Rostock² erläutert.

3-Tier-Architecture	Aufbau eines Informationssystems, das aus drei Ebenen besteht. Die unterste Ebene wird Datenebene genannt, und in ihr befindet sich meistens ein Datenbanksystem. Die mittlere Ebene ist die Vermittlungsschicht, auf die die oberste Ebene, die Präsentationsebene aufsetzt. Die Vermittlungsschicht versteckt somit die direkten Datenbankschnittstellen vor den eigentlichen Anwendungen und kann z. B. dazu dienen, Modelle zusammenzuführen, die nicht direkt integrierbar sind. Als Beispiel einer solchen Architektur sei hier das ESRI-GIS mit der Datenbank Oracle, der Vermittlungsebene ArcSDE und der Präsentation ArcGIS genannt.
ADT	<u>A</u> bstrakter Datentyp (engl. Abstract data type)
ANSI	<u>A</u> merican <u>N</u> ational <u>S</u> tandards <u>I</u> nstitute
API	<u>A</u> pplication <u>P</u> rogramming <u>I</u> nterface
Attribut	Bestandteil eines <i>Objektes</i> , der die zum <i>Objekt</i> gehörigen Eigenschaften / Daten enthält.
Aufzeichnungszeit	(engl. database time, transaction time); Zeitangabe, zu der eine Aussage in ein Datenbanksystem gespeichert wird.
Beobachtungszeit:	Siehe <i>Erhebungszeit</i>
Bitemporales Modell:	Temporales Datenmodell auf Basis der voneinander unabhängigen Aufzeichnungs- und Gültigkeitszeit.
BLOB	<u>B</u> inary <u>L</u> arge <u>O</u> bject; Datentyp, dessen Inhalt von einem Datenbanksystem nicht interpretiert, sondern nur binär gespeichert wird
Chronon	In Bezug auf das (Uhren-)Maßsystem die kleinste sinnvoll zu unterscheidende Zeiteinheit.
CIPA	<u>I</u> nternational <u>C</u> ommittee for <u>A</u> rchitectural <u>P</u> hotogrammetry (CIPA): CIPA ist ein internationalen Komitee und wurde 1968 von <i>ICOMOS</i> gegründet in Zusammenarbeit mit <i>ISPRS</i> . Die Hauptaufgabe besteht in der Verbesserung von allen Methoden zur Vermessung und Dokumentation von Kulturerbe-Objekten.
Datenbankzeit	Siehe <i>Aufzeichnungszeit</i>
Datenintegration	Die komplette Übernahme eines fremden Datenbestandes in die eigene Datenbank. Hier kann es zu Problemen mit der Aktualität der Daten kommen, da die Aktualisierung zunächst im externen Datenbestand erfolgt, und diese über entsprechende Verfahren dann an die eigene Datenbank angebracht werden muss. Die Anpassung des fremden Datenmodells an das eigene ist oftmals mit großem Aufwand verbunden. Eine Alternative stellt die verteilte Datenhaltung dar.
Datenmodell	Ergebnis einer Modellierung. Das Datenmodell legt fest, welche Daten wie gespeichert werden müssen, um einen Ausschnitt der realen Welt ausreichend zu beschreiben.
DBMS	<u>D</u> aten <u>b</u> ank- <u>M</u> anagement <u>s</u> ystem
DDL	<u>D</u> ata <u>D</u> efinition <u>L</u> anguage: Sprache zur Definition eines Datenmodells in einer Datenbank. Z. B. in <i>SQL</i> eine „CREATE“-Anweisung.
Denkmalliste	Nachrichtliches Verzeichnis, das vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege im Benehmen mit den Kommunen fortgeführt wird.
Denkmalpflegerischer Erhebungsbogen	Technisches Instrument zur denkmalpflegerisch-städtebaulichen Ortsbeschreibung, Fachbeitrag der Denkmalpflege zur denkmalkundlichen Grobanalyse, als fachliche Planungshilfe und kommunale Arbeitshilfe.

¹ Online im Internet. URL: <http://www.gis1.bv.tum.de/Aktuelles/GIS-Glossar/GIS-Glossar.htm> (Stand: 01.02.2005)

² Online im Internet. URL: <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/lexikon.asp> (Stand: 01.02.2005)

Desktop-GIS	Desktop-GIS sind Einzelplatzsysteme, deren Funktionsspektrum eingeschränkt ist und nicht den Umfang von High-End-GIS erreichen. Sie werden oftmals im Bereich der Datenerfassung verwendet oder aber in der projektbezogenen Datenverwaltung und -analyse eher kleinerer Datenmengen. Sie sind nicht für den Multi-userbetrieb ausgestattet und meist nach geringer Einarbeitungszeit bedienbar.
DML	<u>D</u> ata <u>M</u> anipulation <u>L</u> anguage: Sprache zur Manipulation der in einer Datenbank gespeicherten Daten. Z. B. in <i>SQL</i> eine „INSERT“-, „UPDATE“-, „DELETE“-Anweisung.
DRL	<u>D</u> ata <u>R</u> etrieval <u>L</u> anguage: Sprache zur Auskunft von in einer Datenbank gespeicherten Daten. Z. B. in <i>SQL</i> eine „SELECT“-Anweisung.
Entität	Ein individuelles unterscheidbares Exemplar von Elementen der realen Welt oder der Vorstellungswelt. Entitäten werden auch in Entitätsklassen zusammengefasst (z. B. ein bestimmtes Haus aus der Klasse Häuser) und können auf <i>Objektklassen</i> abstrahiert abgebildet werden. Entitäten entstehen durch Abstraktion und werden in einer Datenbank repräsentiert. Bestandteil der Entitäten-Relationenmodelle.
Erhebungszeit	(engl. measure time); Zeitangabe, zu der eine Aussage zu einem Ereignis festgestellt wird.
Extraditionsplan, Uraufnahme	Historische Vermessungsunterlage; Ergebnis der amtlichen Landesaufnahme von Bayern 1808-1856 auf der Grundlage der Verordnung zum Steuerprovisorium von 1808-1812 sowie des Steuergesetzes von 1828; rund 25.000 Uraufnahme – bzw. Extraditionspläne 1:5.000 sowie Ortsblätter 1:2.500; parzellenscharfe und im Grundsteuerkataster kommentierte Momentaufnahme der Siedlung, Wirtschafts- und Sozialstrukturen in Bayern vor dem allgemeinen Einsetzen der Technisierung der Landtechnik, der Zunahme außerlandwirtschaftlich tätiger Landbevölkerung und der Flurbereinigung.
FGDC	<u>F</u> ederal <u>G</u> eographic <u>D</u> ata <u>C</u> ommittee
Fortführungszeit	(engl. update time); Zeitangabe, an dem ein Objekt sich verändert und fortgeführt wird.
Funktion	Block in einem Programm, der über einen eigenen Namen angesprochen werden kann. Beim Aufruf wird eine Parameterliste übergeben, die auch leer sein kann. Im Gegensatz zur <i>Prozedur</i> besitzt die Funktion einen Rückgabewert.
GIS	<u>G</u> eografisches <u>I</u> nformationssystem bzw. <u>G</u> eo <u>i</u> nformationssystem
Granulat	Bezugsmaß für die durch die <i>Granularität</i> definierten Zeitabschnitte.
Granularität	Einteilung einer linearen Zeitachse oder eines Ausschnittes einer linearen Zeitachse. Der Ausgangspunkt wie auch die Länge werden im <i>Chronons</i> der zugrunde liegenden Uhr angegeben.
Gültigkeitszeit	(engl. valid time, world time, event time); Zeitangabe in der realen Welt, zu der eine Aussage als wahr angesehen wird, z. B. ein zugeordnetes Ereignis stattgefunden hat.
High-End-GIS	Bezeichnung für leistungsstarke GIS, die über eine deutlich überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit und Ausstattung verfügen. Wesentliche Faktoren sind eine integrierte Datenhaltung in einem Datenbank-Managementsystem, ein modularer Aufbau und die Erweiterbarkeit des Systems sowie eine Client-Server-Architektur. Üblicherweise werden diese Systeme im professionellen Bereich (z. B. Netzinformationssysteme, kommunale GIS) eingesetzt.
ICOMOS	<u>I</u> nternational <u>C</u> ouncil <u>o</u> n <u>M</u> onuments and <u>S</u> ites
ISO	<u>I</u> nternational <u>S</u> tandardisation <u>O</u> rganisation
ISPRS	<u>I</u> nternational <u>S</u> ociety of <u>P</u> hotogrammetry and <u>R</u> emote <u>S</u> ensing
JDBC	Bezeichnung einer von SunSoft entwickelten generischen Datenbankschnittstelle für SQL-Statements, die von einer speziellen Datenbankarchitektur unabhängig ist. Der Begriff JDBC bezeichnet vorgefertigte Java-Klassen, die in der Programmiersprache Java für Datenbankzugriffe verwendet werden. JDBC wird von allen großen Datenbankanbietern unterstützt. Damit ist es möglich, auf vergleichsweise einfache und effektive Art aus Applets oder Applikationen heraus auf externe Datenbanken zuzugreifen.

Kapselung	Begriff aus der Theorie der Objektorientierung. Die Kapselung dient zur Beschränkung des Zugriffs auf die Bestandteile eines Objektes. So kann nur auf die bei der Instanzierung des Objekts mittels Zugriffsschutz explizit freigegebenen Schnittstellen zugegriffen werden.
Kollektionswertige Attribute	Datenwert eines Objektes (Attribut), das aus mehreren elementaren Datentypen aufgebaut ist. Dabei kann es sich sowohl um eine <i>Objekt-</i> oder <i>Tabellenklasse</i> handeln.
Kulturlandschaft	Im Gegensatz zur Naturlandschaft durch menschliche Einflussnahme, insbesondere durch Wirtschaftstätigkeit beeinflusste Teile der Erdoberfläche.
Methode	Bestandteil eines <i>Objektes</i> , der dessen Funktionalität / Schnittstellen enthält. Die Methode stellt eine spezielle Form der <i>Funktion</i> oder <i>Prozedur</i> dar.
Nested Table	Datenstruktur in Oracle, die zur Speicherung der <i>kollektionswertigen Attribute</i> dient. Wird als Schlüsselwort bei der Erzeugung von Tabellen verwendet, um den Speicherort dieser Kollektionen anzugeben.
Objekt	Ein Objekt ist innerhalb der Theorie der Objektorientierung eine eigenständige Einheit, bestehend aus internen Daten (Attributen) und dem dazugehörigen, funktionspezifischen Verhalten (<i>Methoden</i>).
Objektklasse	Begriff aus der Theorie der Objektorientierung. Eine Objektklasse ist eine Zusammenfassung von Attributen und Methoden, wobei diese unterschiedliche Zugriffsrechte besitzen können. In einer Objektklasse werden Objekte mit gleichen Eigenschaften zusammengefasst.
Objekttabelle	Spezielle Datenstruktur in Oracle, in der <i>Objekte</i> einer vorher generierten <i>Objektklasse</i> gespeichert werden. Stellt sich als Tabelle dar, und kann mittels <i>SQL</i> wie eine Tabelle behandelt werden. Primärschlüssel dieser Tabelle ist der Objektidentifikator (<i>OID</i>).
OCI	<u>Oracle Call Interface</u> , Datenbankschnittstelle für externe Anwendungen
ODBC	<u>Open DataBase Connectivity</u> : Bezeichnung einer standardisierten Datenbankanwendungsschnittstelle (<i>API</i>) der Datenbankabfragesprache <i>SQL</i> .
OGC	<u>Open Geospatial Consortium</u>
OODBMS	<u>Objekt-orientiertes Datenbank-Managementssystem</u>
ORDBMS	<u>Objekt-relationales Datenbank-Managementssystem</u>
Polymorphismus	Unter Polymorphismus versteht man innerhalb der Theorie der Objektorientierung das unterschiedliche Verhalten von <i>Objekten</i> , abhängig vom Kontext, in dem auf das Objekt zugegriffen wird.
Primärschlüssel	Begriff aus der Theorie der relationalen Datenbanken. Bei einem Primärschlüssel handelt es sich um ein oder mehrere Attribute eines Tupels in einer <i>Relation</i> , durch die dieses Tupel innerhalb der <i>Relation</i> eindeutig identifiziert werden kann.
Prozedur	Block in einem Programm, der über einen eigenen Namen angesprochen werden kann. Beim Aufruf wird eine Parameterliste übergeben, die auch leer sein kann. Im Gegensatz zur <i>Funktion</i> besitzt die Prozedur keinen Rückgabewert.
RDBMS	<u>Relationales Datenbank-Managementssystem</u>
Regressive Forschung (retrogressiv, retrospektiv)	In der Geografie eine auf die Vergangenheit bezogene Forschung; dabei dient die retrogressive Forschung der (gedanklichen) Rekonstruktion älterer kulturlandschaftlicher Zustände, während die retrospektive Forschung bemüht ist, den heutigen Zustand entwicklungsgeschichtlich (genetisch) zu erklären.
Relation	Begriff aus der Theorie der relationalen Datenbanken. Eine Relation stellt eine Ansammlung von einzelnen Tupeln / Datensätzen mit gleichen Attributen dar. Eine Relation wird in einem <i>RDBMS</i> als Tabelle dargestellt.
Spaltenobjekt	Komplexer Datentyp, der in einer Tabellenspalte als Attribut Verwendung findet. Hierbei werden entweder selbst definierte Objekt- oder Tabellenklassen verwendet.
SQL	<u>Structured Query Language</u> : Sprachstandard zur Benutzung von <i>RDBMS</i> . 1986 verabschiedet von der ANSI-Kommission (American National Standards Institute)
SQL2	<u>Structured Query Language 2</u> ; 1992 verabschiedet von der ANSI-Kommission (American National Standards Institute)
SQL3	<u>Structured Query Language 3</u> ; 1999 verabschiedeter ISO-Standard

Tabellenklasse	Spezielle Datenstruktur von Oracle. Wird für den Aufbau von Nested Tables also von kollektionswertigen Attributen in einer Tabelle oder einer Objektklasse verwendet. Dabei dient eine vorher kreierte Objektklasse als Ausgangspunkt.
TFW	TIFF World File: Dateiformat das eine Georeferenzierung von TIFF-Rasterdaten ermöglicht.
TIFF	Tagged Image File Format: Dateiformat für Rasterdaten
Temporale Datenbank	Spezielle Form einer Datenbank, die zeitlich bestimmte Ereignisse erfassen und speichern kann. Hierbei wird zwischen der <i>Gültigkeitszeit</i> (valid time) und der <i>Datenbankzeit</i> (transaction time) unterschieden.
TGIS	Temporales Geoinformationssystem: Ein TGIS (oft auch als 4D-GIS bezeichnet) unterstützt die Verwaltung und Analyse zeitlicher Veränderungen von Geoobjekten und weist Funktionen zur Datenerfassung, -verwaltung, -analyse und -visualisierung nicht nur räumlicher sondern ebenso zeitlicher Daten auf.
TK 25	Topografische Karte 1:25 000
Transaktion	Spezieller Vorgang in einer Datenbank, der atomar ist, also nur vollständig oder gar nicht erfolgt, die Datenbank von einem konsistenten Zustand direkt in einen anderen konsistenten Zustand überführt, isoliert von anderen Vorgängen erfolgt, und dauerhaft ist. Nach diesen Prinzipien spricht man auch von ACID-Transaktionen (atomicity, consistency, isolation, durability).
Type	Datenstruktur in Oracle, die sowohl <i>Objekt-</i> als auch <i>Tabellenklassen</i> aufnehmen kann. Die Realisierung kann sowohl als <i>Spaltenobjekt</i> oder als <i>Objekttabelle</i> realisiert werden. In dem Oracle eigenen Vokabular wird hier von einer Typklasse gesprochen, im Gegensatz zur Objektklasse aus der Theorie der Objektorientierung.
Überladen	Dies bezeichnet die Verwendung verschiedener <i>Funktionen</i> oder <i>Prozeduren</i> mit gleichen Namen in einem Programm. Die Unterscheidung zwischen den einzelnen Programmblöcken erfolgt durch die Verwendung unterschiedlicher Parameterlisten bei der Übergabe. Geeignetes Mittel um <i>Polymorphismus</i> zu realisieren.
UML	Unified Markup Language. Quasistandard im objektorientierten Design. Wird vor allem in CASE-Tools zur schnellen Softwareentwicklung verwendet, da sich aus einem UML-Diagramm mit der entsprechenden Software der Framework für eine Software-Applikation in verschiedenen Programmiersprachen automatisch herleiten lässt.
XML	eXtensible Markup Language
Vererbung	Begriff aus der Theorie der <i>Objektorientierung</i> . Bei der Vererbung wird eine neu zu erzeugende <i>Objektklasse</i> aus einer „Super-Klasse“ abgeleitet. Diese „Sub-Klasse“ übernimmt dadurch alle Attribute und Methoden der Super-Klasse und kann diese um neue Bestandteile erweitern.
VRML	Virtual Reality Modeling Language; eine Beschreibungssprache für 3D-Szenen. Mit ihr können u. a. Ausleuchtungen, Geometrien, Animationen und Interaktionsmöglichkeiten der 3D-Szenen beschrieben werden.
Zeitdauer	(engl. interval); die Differenz von Anfangs- und Endpunkt einer Zeitspanne in <i>Chronons</i> . Bei konstanter <i>Granularität</i> kann die <i>Zeitdauer</i> auch in <i>Granulaten</i> gerechnet werden.
Zeitpunkt	(engl. instant): ein durch Abbildung eines natürlichen Zeitpunktes t gewonnener Abschnitt der Zeitachse (entsprechend der zugrunde liegenden <i>Granularität</i>).
Zeitspanne	(engl. period); eine <i>Zeitspanne</i> wird bestimmt durch einen Anfangszeitpunkt t_1 und Endzeitpunkt t_2 .
Zeitstempel	(engl. time stamp); <i>Zeitpunkt</i> oder <i>-spanne</i> , die für jede Version eines Objektes gespeichert werden.

Anhang

Anhang A Objektartenkataloge

Objektartenkatalog zur historischen Kulturlandschaft [vgl. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.) 2001], in **fett** gekennzeichnet sind die Elemente, die im Projektgebiet erhoben wurden.

Funktionsbereich	punkthaft	linienhaft	flächenhaft
Siedlung	Häuser, Erdkeller, Felsenkeller, Brunnen , Hüll, Weeth (Dorfteich), Backhäuser , Flachsbrechhäuser	Kellergassen, Reihensiedlungen, Scheunenzeilen, Dorfetter, Zäune	Wüstungsstandorte (nieder-gegangene Almen), historische Siedlungsformen, Dorfplätze , Anger, Siedlungskomplexe (z. B. Moorkolonisation, Donaumoo)
Landwirtschaft	Höfe , Feldscheunen, Schafställe, Forsthäuser , Waldarbeiterhütten, Jagdhäuser , Viehtränke , Flachsrosten, Lesesteinhäufen, Einzelbaum , Schattenbaum , Fischteich, Schneitelbaum , Kopfweiden, Mergel-, Kalkgruben, jagdliche Relikte	Jagdschutzmauer, Lesesteinmauer -wall und -riegel, Stufenrain Anwand, Ackerberg, Kulturwechselstufe, Hag, Korbweidenkulturen	historische Flurfom, Ackerterrassen, Obst- Gemüse-Baum-gärten , Baumfelder, Nieder- und Mittelwald, historischer Weinberg, Wiesengewässerungssystem , Hutweiden, Hutwald, Ötzen, Schachten, Tratten, Wachholderheiden, Almen
Gewerbe	Mühle , Mühlteich , Wehr, Meilerplatz, Pinge, Steinbruch , Stauwehr, Kalk- Gipsöfen , Glashüttenstandort, Ziegeleien, Schacht, Floßteich, Eisweier	Mühlgraben , Torfkanal, Grabenpingen, Halden- und Pingenzüge, Gräben der bergbaulichen Wasserwirtschaft, Floßbach, Floßgraben , Floßtrift	Bleiche, Torfstich , Grubenfelder, Halden
Verkehr	Furt, Bahnhof, Haltestelle, Bahnwärterhaus Bahnübergang, Meilenstein, Brücke , Schleuse	Hohlweg, Feldweg, Wagengeleis), Schmugglerweg, Samerweg, Chaussee, Sommerweg, Altstrasse, Kirchsteig, Treidel und Leinpfad, Hochwassersteg , Kanal, Viehtriftweg	Triftsystem historischer Flugplatz, historische Hafenanlage
Erholung	Tanzplatz, Feierplatz, Sommerkeller, Pavillon, Ruheplatz, Aussichtspunkt, Baumkranz	Maille-Bahn, Wandelallee, Früher Wanderweg	historische Gartenanlage, Schrebergartenanlage
Religion, Staat, Militär	Grenzstein , Gerichtsbaum , Gedenkbaum , Zollstätte , Wegkreuz , Kalvarienberg, Kreuzberg, Heilige Bäume, Kultort, Bunker	Kirchweg , Wacht , Prozessionsweg, Kreuzweg, Wallfahrtsweg, Landwehr, Allee, Deich, Schanze,	Residenzanlagen (inkl. Wald, Park und Gartenanlagen), Verteidigungssystem , Friedhof (christlich, jüdisch), Klosterlandschaft
assoziative Kulturlandschaft	Sichtbezüge, Raumbildungen, immaterielle historische Stätten wie Schlachtfelder, Galgenberge oder Maler und Dichterstätten		

Anhang B **Verwendete Java-Klassen aus MapObjects**

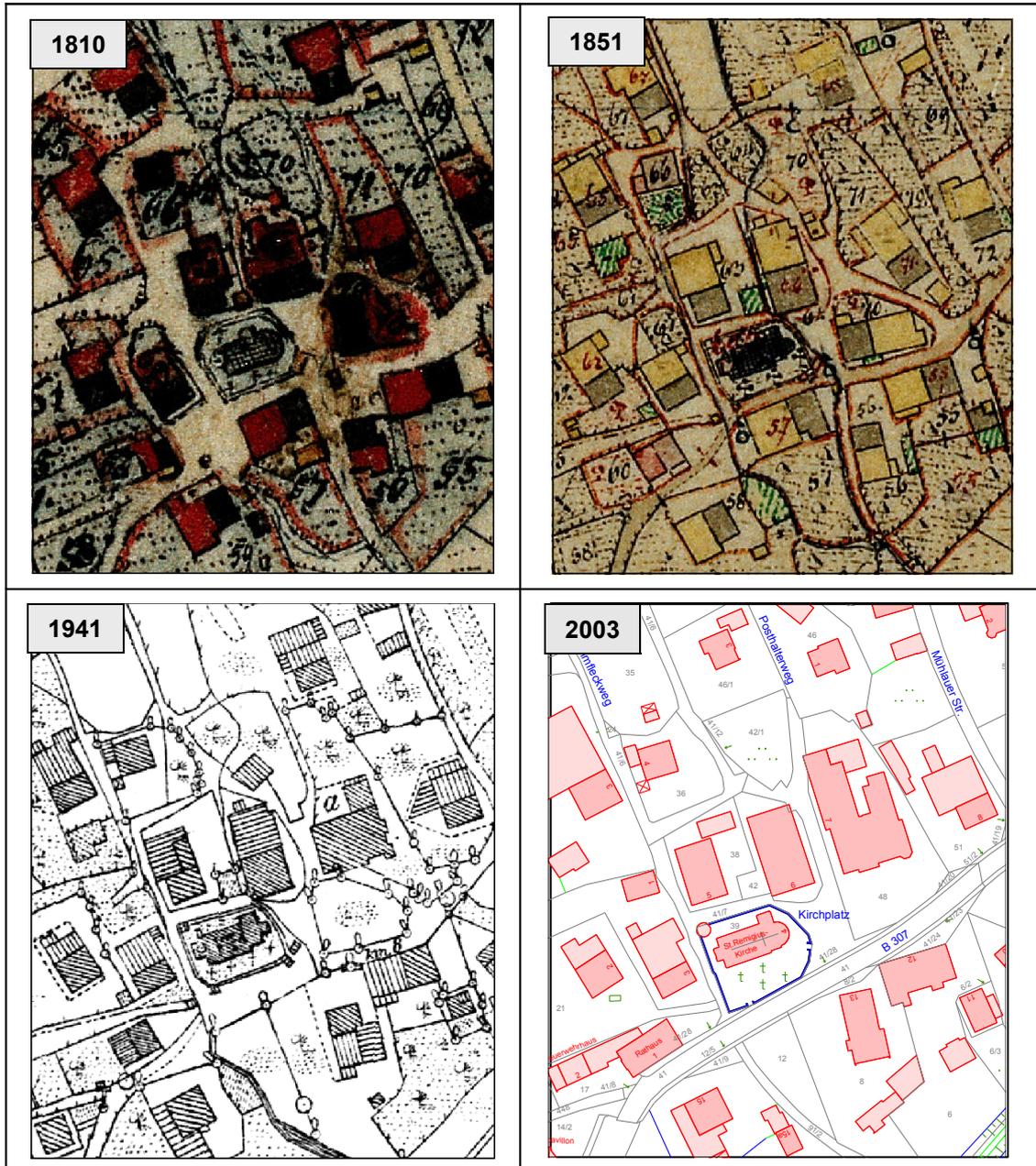
- Werkzeuge für Pan- bzw. Scroll- Operationen.
- Verschneidungen von frei definierbaren geometrischen Bereichen mit mehreren übereinander liegenden Kartenebenen (Layer-Intersection).
- Zoom- und UnZoom- Funktionen für Maßstabsänderungen und eine ZoomTo-Option, um (nicht übereinander liegende) Kartenebenen getrennt voneinander zu visualisieren.
- Visualisierung von Raster- und Vektordaten, die in verschiedenen kartografischen Bezugssystemen vorliegen und in unterschiedlichen Datenquellen (Datenbanken sowie Raster- oder Vektordateien) gespeichert sind.
- Selektionen von vektorbasierten Objekten mit Hilfe von punktförmigen, rechteckigen oder polygonförmigen Auswahlbereichen bzw. Suchmasken. Dabei kann (optional im Programmcode) festgelegt werden, welche Art der Selektion vorgenommen werden soll: Die Selektionsmenge kann innerhalb der Suchmaske sein, außerhalb des Suchbereichs einschließlich dem jeweiligen Randbereich, außerhalb des Bereichs ohne den Randbereich etc.
- Grafische Hervorhebung (Highlighting) von vektorbasierten Objekten mit einer benutzerdefinierbaren Farbe.
- Koordinatentransformationen um verschiedene Bezugssysteme zu konvertieren - dabei können auch die Koordinaten des Mauszeigers in das jeweilige kartografische Bezugssystem umgerechnet werden.
- Überlagerungen von übereinander liegenden vektorbasierten Kartenebenen mit Hilfe von Prioritäten. Jede Kartenebene erhält bezüglich ihrer grafischen Darstellung eine bestimmte Priorität.
- Jede Kartenebene kann einzeln (entweder vom Benutzer oder programmgesteuert) ein- oder ausgeblendet werden.
- Alle grafischen Elemente von vektorbasierten Karten können hinsichtlich ihrer Ausprägung (Linienstärke, Farbe, Punktgröße etc.) benutzerspezifisch angepasst werden.
- Suchfunktionen für vektorbasierte Daten nach thematischen oder kartografischen Kriterien. Beispielsweise können alle Objekte mit einer bestimmten Ausprägung (Denkmal, Kirche etc.) oder alle Objekte in einem bestimmten räumlichen Bereich heraus gefiltert werden. Die entsprechenden Objekte können dann automatisch im aktuellen Kartenausschnitt visualisiert werden.
- Visualisierung einer Übersichtskarte, die den gewählten Bereich außerhalb des aktuellen Kartenfensers zeigt. Innerhalb der Übersichtskarte markiert ein kleiner rechteckiger Bereich den jeweiligen Kartenausschnitt.
- Identifikation von Vektorobjekten - dabei werden Einzelobjekte durch ein punktförmiges Selektionswerkzeug ausgewählt und anschließend können die entsprechenden Objektdetails (bzw. beliebige Detailinformationen) angezeigt werden.

Anhang C Vier ausgewählte Zeitschnitte aus den Katasterwerken

Im jeweils gleich gewählten Ausschnitt aus dem Blattschnitt SO XX 27 mit Dorfkern Schleching wird die unterschiedliche Zeichnungsweise in den Kartenwerken sichtbar.

Quelle: FICHTINGER 2004, Flurkarten 1810, 1851 und 1941, DFK 2003,

© Bayerische Vermessungsverwaltung, Bayerisches Hauptstaatsarchiv



Anhang D Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Karin Elisabeth Hosse, geb. Guggemos
Geburtsdatum: 15.05.1972
Geburtsort: Buchloe
Familienstand: verheiratet
Staatsangehörigkeit: deutsch

Ausbildung und berufliche Tätigkeit:

09/1999 – 08/2005 Wissenschaftliche Assistentin am Fachgebiet Geoinformationssysteme der Technischen Universität München
09/1997 – 08/1999 Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Projektleiterin am Runden Tisch GIS der Technischen Universität München
10/1992 – 08/1997 Studium des Vermessungswesens an der Technische Universität München, Diplomingenieurin für Vermessungswesen, Vertiefungsrichtung Ingenieurvermessung und Geoinformationssysteme
09/1982 - 06/1992 Maristenkolleg Mindelheim, Naturwissenschaftliches Gymnasium, Allgemeine Hochschulreife

Preise und Forschungsförderung:

1998 Gerhard-Eichhorn-Preis des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW) für die Diplomarbeit „Modellierung eines kommunalen GIS auf der Basis einer relationalen Datenbank“
10/2002 – 09/2003 Forschungsförderung der Dr.-Ing. Leonhard-Lorenz-Stiftung