

Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde
und Geophysik im Bergbau

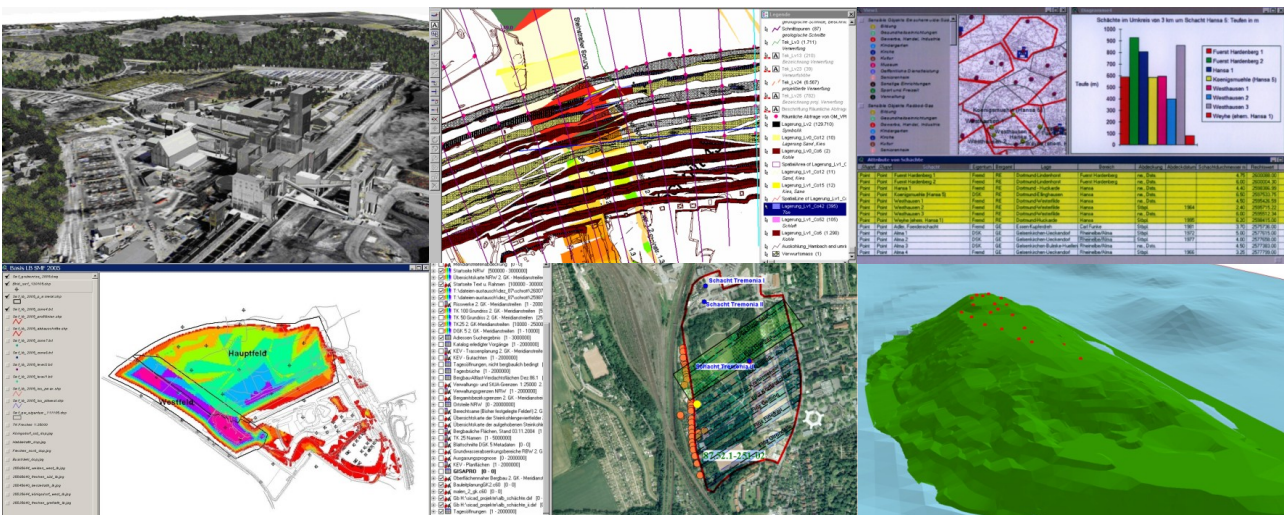
an der

Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

DIPLOMARBEIT

Geographische Informationssysteme im Bergbau

und deren Einsatzbereiche



vorgelegt von

Dipl.-Ing. cand.-Ing. Stefan Fuchs

betreut durch

Dr.-Ing. Ralf Schulte

Aachen

Oktober 2006

**Geographische Informationssysteme im Bergbau
und deren Einsatzbereiche**

Dem Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau
an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Preuße)

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieures

vorgelegt von Dipl.-Ing. cand.-Ing. Stefan Fuchs
aus Lennep

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden.

Aachen, 31.10.2006

Dipl.-Ing. cand.-Ing. Stefan Fuchs

Thema:

Geographische Informationssysteme im Bergbau und deren Einsatzbereiche

Arbeitsumfang:

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sind in einem ersten Arbeitsschritt ausgewählte Aspekte, wie die historische Entwicklung von Geographischen Informationssystemen (GIS) und der Einsatz von Metadaten, darzustellen. Weiterhin sind die nach aktuellem Stand der Entwicklung möglichen GIS-Systemarchitekturen sowie die wichtigsten Punkte in der Planung und Durchführung von GIS-Projekten zu beschreiben. Auf eine Erörterung von theoretischen Grundlagen, wie beispielsweise die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten von Raster- und Vektordaten, kann in der Arbeit verzichtet werden. Da der Markscheider im Bergbau aufgrund seiner Ausbildung für Geographische Informationssysteme verantwortlich ist, muss innerhalb der Diplomarbeit kein Bezug zum Markscheidewesen explizit hergestellt werden.

Danach sind an ausgewählten Beispielen die Anwendung von Geographischen Informationssystemen in der Wirtschaft, in den Behörden und in der Forschung vorzustellen.

Abschließend sind die Einsatzmöglichkeiten von Geographischen Informationssystemen im Bereich der Forschungstätigkeit des Institutes für Markscheidewesen theoretisch und praktisch aufzuzeigen.

Dazu sind folgende Teilaufgaben zu erarbeiten:

- Grundlagen: Ausgewählte Aspekte moderner GIS-Technologie (historische Entwicklung von Geographischen Informationssystemen, GIS-Architektur und Metadatenkonzept, Abgrenzung zur klassischen Kartographie)
- Grundlagen: Wichtige Punkte bei Planung und Durchführung von GIS-Projekten
- Vorstellung einzelner Geographischer Informationssysteme in Wirtschaft, in Behörden und in der Forschung
- Theoretische Darstellung der wirtschaftlichen Betrachtungen des Einsatzes eines Geographischen Informationssystems anhand eines Beispiels
- Theoretische Erörterung möglicher Einsatzbereiche Geographischer Informationssysteme im Rahmen der am Institut aktuell durchgeführten Projektarbeiten beziehungsweise deren Unterstützung/Erweiterung durch GIS-Technologie sowie möglicher Schnittstellenprogrammierungen zu verwendeten Planungsprogrammen für den Bergbau.

Zielsetzung und Vorgehensweise

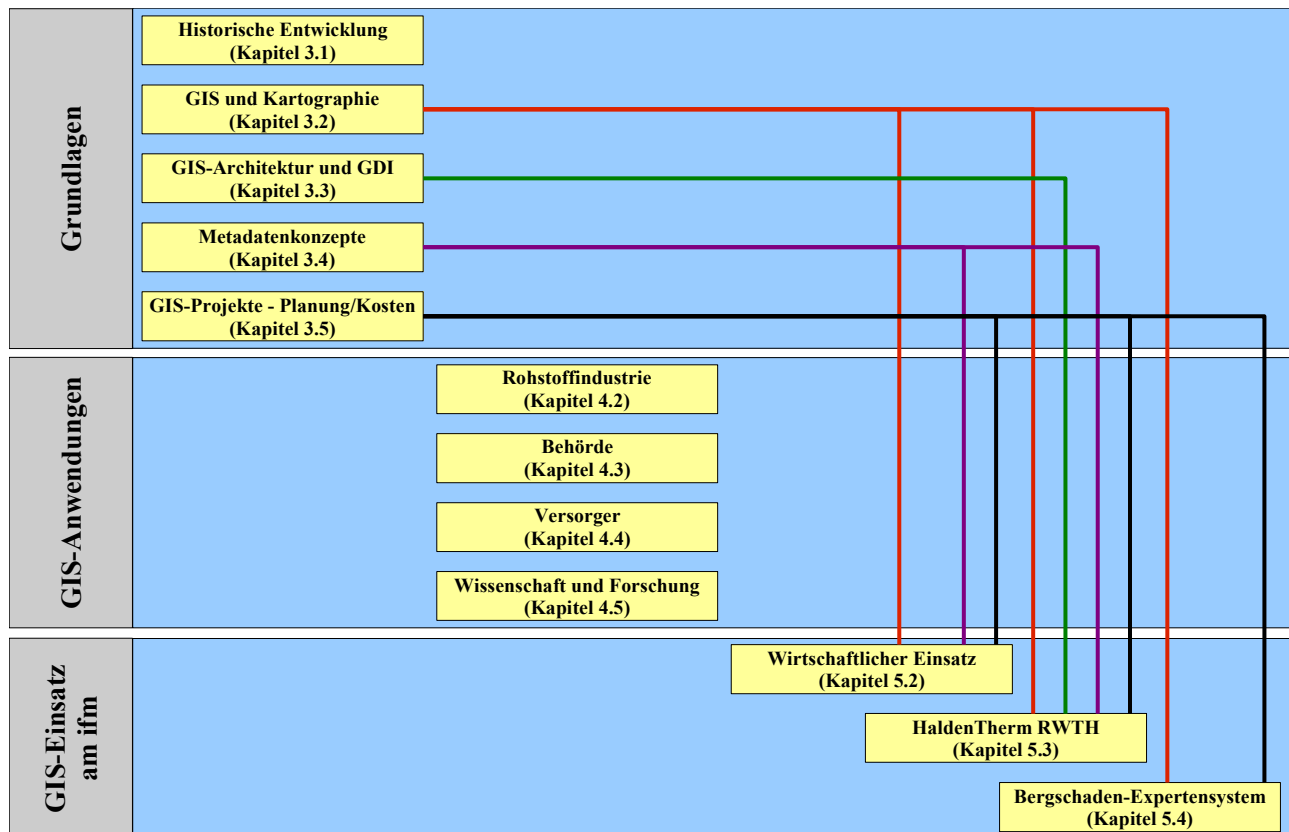
Die vorliegende Arbeit setzt sich, basierend auf grundlegenden Betrachtungen von Geographischen Informationssystemen und deren wirtschaftlicher Anwendungen, mit dem heutigen Einsatz dieser Software und artverwandter Produkte auseinander. Dabei liegt der Fokus auf der Rohstoffindustrie sowie auf ausgewählten Beispielen für die Anwendung bei Behörden und Institutionen der Wissenschaft und Forschung.

Die Grundlagenkapitel liefern unter anderem einen Überblick über die historische Entwicklung von Geographischen Informationssystemen sowie über den aktuellen Stand der Technik (GIS-Architektur/Geodateninfrastruktur - GDI). Weitere Grundlagen im Bereich der Metadaten, des wirtschaftlichen Einsatzes von Geographischen Informationssystemen und der thematischen Trennung von Kartographie und Informationstechnik werden nicht nur dargelegt, sondern im begrenzten Rahmen der vorliegenden Arbeit weiterentwickelt.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse einer Untersuchung über den Einsatz von Geographischen Informationssystemen im Bereich der Rohstoffindustrie vorgestellt. Dazu wurden für einen repräsentativen Überblick die Unternehmen *RWE Power AG*, *Quarzw Werke GmbH*, *Minegas GmbH*, *Deutsche Steinkohle AG* und *E.ON Ruhrgas AG* besucht und anhand ausgesuchter betrieblicher Anwendungen der Einsatz von Geographischen Informationssystemen analysiert. Ergänzt wird diese Untersuchung durch die Darstellung des GIS-Einsatzes bei der *Bezirksregierung Arnsberg* sowie Institutionen der Wissenschaft und Forschung wie dem *Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme* und dem *Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrologie an der RWTH Aachen*.

Die Arbeit zeigt abschließend an drei Beispielen die Einbindung von Geographischen Informationssystemen in den laufenden Betrieb des *Instituts für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau (ifm)* an der *RWTH Aachen* auf. Am Beispiel des Einsatzes von Geographischen Informationssystemen innerhalb bergrechtlicher Genehmigungsverfahren werden die wirtschaftlichen Rationalisierungspotentiale dieser Software dargestellt. Des Weiteren werden die Möglichkeiten dieser Technologie im Rahmen der Projektarbeit für den Informationsaustausch innerhalb einer interdisziplinär aufgestellten Forschungsgemeinschaft, für das Generieren von neuem Wissen aus vorhandenen Daten und für die Präsentation der Ergebnisse des geplanten F & E-Vorhabens *HaldenTherm RWTH* aufgezeigt. Bei diesem Forschungsprojekt soll ein System zur thermischen Nutzung von Haldenschwelbränden des Steinkohlenbergbaus entwickelt werden. Die

theoretische Beschreibung der Anknüpfung eines Geographischen Informationssystems an das vom Institut im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg entwickelte Bergschaden-Expertensystem *SAB* zeigt schließlich die Möglichkeiten für einen zukünftigen Einsatz solcher Systeme im Markscheidewesen auf. Die Abbildung stellt die zuvor beschriebene Struktur sowie die Verknüpfungen innerhalb der einzelnen Kapitel der vorliegenden Arbeit bildlich dar.



Um die zuvor beschriebenen Ziele wissenschaftlich zu erarbeiten,

- werden in Kapitel 2 ausgewählte grundlegende Themen erläutert und weiterentwickelt wie zum Beispiel durch eine neue Definition des Begriffes des Geographischen Informationssystems sowie die wirtschaftlichen Grundlagen für den Einsatz und Aufbau eines Geographischen Informationssystems beschrieben,
- wird in Kapitel 3 an ausgewählten Beispielen der Einsatz von Geographischen Informationssystemen in der Rohstoffindustrie, bei Behörden und Einrichtungen der Wissenschaft und Forschung dargestellt und
- werden in Kapitel 4 der Einsatz von Geographischen Informationssystemen innerhalb der Projektarbeit am Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau an der RWTH Aachen beschrieben und Konzepte für deren Einsatz entwickelt.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme.....	3
2.2 Geographische Informationssysteme und Kartographie.....	12
2.2.1 Grenzen der Kartographie.....	12
2.2.2 Normalisierung und objektorientierte Programmierung.....	19
2.2.3 Geographische Informationssysteme.....	24
2.3 Moderne GIS-Architektur und Geodateninfrastruktur.....	30
2.3.1 Allgemeine Aspekte.....	30
2.3.2 ESRI-GIS-Architekturen.....	36
2.4 Metadatenkonzepte.....	43
2.4.1 Generierung von neuem Wissen aus vorhandenen Daten.....	43
2.4.2 Metadaten.....	47
2.5 GIS-Projekte.....	56
2.5.1 Allgemeine Aspekte.....	56
2.5.2 Planung von GIS-Projekten.....	56
2.5.3 Kosten von GIS-Projekten.....	63
3 Einsatz von GIS-Anwendungen.....	67
3.1 Allgemeine Aspekte.....	67
3.1.1 Eingrenzung des Themenbereiches.....	67
3.2 Einsatz in der Rohstoffindustrie.....	68
3.2.1 RWE Power AG (Braunkohle/Tagebau).....	68
3.2.2 Quarzwerke GmbH (Sand- und Erdenindustrie/Tagebau).....	75
3.2.3 Minegas GmbH (Grubengas/Bohrlochbergbau).....	80
3.2.4 Deutsche Steinkohle AG (Steinkohle/Tiefbau).....	84
3.3 Einsatz bei Behörden.....	94
3.3.1 Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8.....	94
3.4 Einsatz bei Versorgern.....	100
3.4.1 E.ON Ruhrgas AG (Erdgas).....	100
3.5 Einsatz in Wissenschaft und Forschung.....	107
3.5.1 Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme.....	107
3.5.2 Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrologie (RWTH Aachen).....	110
3.5.3 Institut für Markscheidewesen (RWTH Aachen).....	113

Inhaltsverzeichnis

4 GIS-Einsatz am Institut für Markscheidewesen.....	114
4.1 Allgemeine Aspekte.....	114
4.1.1 Eingrenzung des Themenbereiches.....	114
4.2 Konzept für den wirtschaftlichen GIS-Einsatz.....	116
4.2.1 Manuelle Anfertigung von Antragsunterlagen mit Hilfe von CAD-Software.	116
4.2.2 GIS-Einsatz zur Erschließung von Rationalisierungspotentialen.....	119
4.3 Geographische Informationssysteme in der Forschung.....	124
4.3.1 GIS-Einsatz im F & E-Vorhaben HaldenTherm RWTH.....	124
4.3.2 GIS-Erweiterung für dreidimensionale Analysen.....	125
4.4 GIS-Ankopplung an das Bergschaden-Expertensystem SAB.....	128
5 Zusammenfassung.....	130
6 Quellenverzeichnis.....	135
7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	143
7.1 Abbildungsverzeichnis.....	143
7.2 Tabellenverzeichnis.....	147

1 Einleitung

Der Einsatz von Geographischen Informationssystemen und somit deren Bedeutung in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens nahm in den letzten Jahrzehnten ständig zu. Ein Ende dieses Trends ist nicht abzusehen. Im vergangenen Jahr bekam die Geoinformationsbranche durch die neuesten Produkte der amerikanischen Firma *Google*, den die Kartendiensten *Google Map* (Februar 2005) und *Google Earth* (Oktober 2005), wieder einen entscheidenden Impuls. Innovative Entwicklungen dieser Art verändern den Markt für Geographische Informationstechnologie hin zu Anwendungen mit großer Massenwirksamkeit. Ähnliche Produkte der Firmen *Microsoft*, *Yahoo* und *Amazon* sollen in naher Zukunft ebenfalls frei im Internet verfügbar sein [SOUTSCHEK 06 (a)]¹.

Daneben wird auch in die Forschung im Bereich der Verwendung von Rasterdaten investiert. So basieren die neusten Navigationssysteme für Fußgänger nicht auf den üblichen Vektordaten, sondern auf der Auswertung von Rasterdatenbeständen über die *Kürzeste-Wege-Analyse* [WALTER/KADA/CHEN 06 (a)].

Neben dem Begriff „Geographisches Informationssystem“ haben sich im deutschsprachigen Raum die Synonyme „Geo-Informationssystem“ und „GIS“ etabliert. Alle diese Bezeichnungen sind nicht selbsterklärend. Die englische Umschreibung für solche Anwendungen „spatial information system“ (raumbezogenes Informationssystem – RIS) hat sich nicht durchgesetzt. Ausgehend von diesem Begriff kann eine erste Definition dieser Software gegeben werden. Es handelt sich in erster Linie um Informationssysteme für raumbezogene Daten.

Die historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme ist eng mit der rasanten Entwicklung in den Bereichen Computertechnik und Informatik verbunden. Erst die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Computer ermöglichte die ersten Datenbanken und Programme zur Bearbeitung von großen Menge Daten.

Geographische Informationssysteme haben in den letzten 20 Jahren in vielen Bereichen der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Forschung Einzug gehalten. Auch bei den verschiedenen Behörden, angefangen von den städtischen Ämtern bis zu den Bundesministerien in Berlin, wird eine Vielzahl von GIS-Anwendungen genutzt.

¹ Verweis auf das Quellenverzeichnis (Kapitel 6)

Einleitung

Parallel zu dieser Entwicklung änderte sich auch die Definition eines Geographischen Informationssystems. So standen am Anfang die Kartographie und deren klassische Werkzeuge im Mittelpunkt verschiedener Definitionen. Ein Geographisches Informationssystem war damit ein System zur Unterstützung der Entscheidungsfindung, das raumbezogene Daten in eine Problemlösungsumgebung integriert. Damit wäre auch ein Karteikastensystem ein Geographisches Informationssystem. Erst *Bill* und *Fritsch* fassten den Begriff eines Geographischen Informationssystems enger und schränkten diesen auf rechnergestützte Systeme ein. Danach ist ein Geographisches Informationssystem ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden [BILL 99 (a)].

Erst in den letzten Jahren wird, nach der Euphorie der Anfangsjahre, deren Einsatz in allen Bereichen kritischen Fragen unterworfen. Vor allem die Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Software, bezogen auf ihren betrieblichen Nutzen, und die datentechnische Wartung stehen dabei immer wieder im Blickpunkt. Heute hat sich die Definition eines Geographischen Informationssystems von der Kartographie gelöst und basiert auf Begriffen der Informationstechnologie und der Betriebswirtschaft.

„Ein Informationssystem ist eine themenbezogene, geordnete Zusammenstellung von Informationen und Funktionen über die Realwelt zur prozessoptimierten Arbeit. Ein Geographisches Informationssystem (GIS) ist ein auf raumbezogene Fragestellungen spezialisiertes, dem Stand der Technik entsprechendes digitales Informationssystem“ [KLEMMER 04 (a)].

Geoinformationen können, richtig eingesetzt, allerdings erhebliche betriebliche Einspar- und Rationalisierungspotentiale erschließen und somit erheblichen betriebswirtschaftlichen Nutzen generieren.

2 Grundlagen

2.1 Historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme

Der Ursprung der Geographischen Informationssysteme liegt in der Kartographie. Allerdings wird in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt, dass ihre heutige Definition als betriebliches Rationalisierungsinstrument sich nicht mehr aus der Kartographie oder deren Weiterentwicklung, sondern aus der modernen Informationstechnologie ableitet.

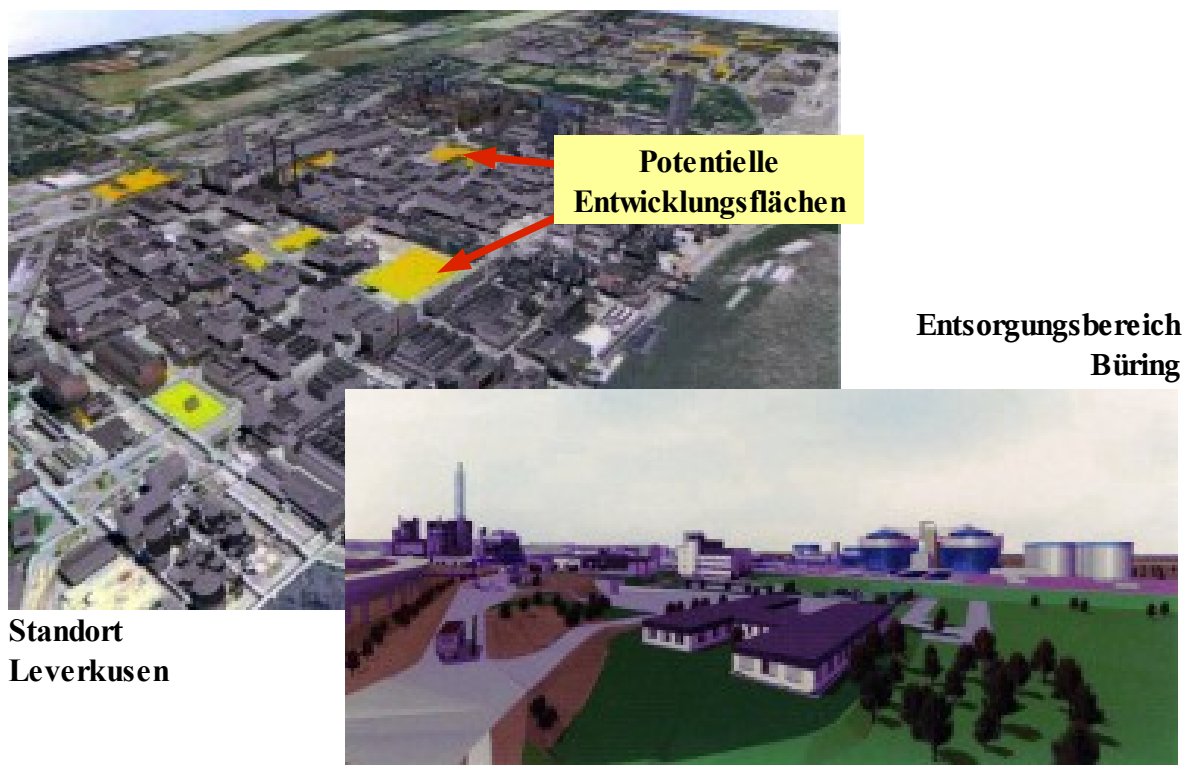
Die Idee der unabhängigen Datenebenen (Layer- oder Folientechnik) wurde bereits im Jahre 1927 von Hettner, Professor am Lehrstuhl für Geographie an der Universität Heidelberg, in der Theorie entwickelt. Fast 35 Jahre danach konnten diese Ideen zum ersten Mal vom *Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis* und der *Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich* unabhängig voneinander durch die ersten Anwendungen der digitalen Bildverarbeitung (Rasterdatentechnik) umgesetzt werden [www.laum.uni-hannover.de].

Die Möglichkeit, Vektordaten und Vektorgraphiken mit Computern zu bearbeiten, führte nach einer Entwicklungsphase von fast 20 Jahren Anfang der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts zu den ersten graphischen EDV-Anwendungen. Im Jahre 1963 wurde in Kanada das erste großräumige rechnergestützte „raumbezogene Informationssystem“ eingerichtet und prägte durch seinen Namen *CGIS* derartige Programme [FRITSCH 06 (a)]. Bis zu diesem Zeitpunkt herrschten analoge geographische sowie raumbezogene Informationssysteme vor, abgesehen von wenigen EDV-gestützten Systemen im Experimentierstadium. So entwickelte das *Massachusetts Institut of Technology (MIT)* zum Beispiel ein einfaches Geländemodell auf Basis von Vektordaten und in Form eines Drahtmodelles. Durch diese Entwicklung wurde der Weg für die schnelle Verbreitung der Geographischen Informationssysteme geebnet. Daneben liefen in diesem Zeitraum auf den wenigen Großrechnern auch die ersten Verarbeitungsroutinen für Rasterdaten, die als Grundlage für die ersten digitalen Geländemodelle (DGM) dienten. Im darauf folgenden Jahrzehnt entwickelten viele staatliche Einrichtungen weltweit ihre eigenen Landesinformationssysteme. Die Bundesrepublik Deutschland entwickelte das Konzept für die *Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK)* [BILL 99 (a)]. Die Umsetzung dieses Konzeptes ist heute eine der Grundlagen für das *Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS)* der Arbeitsge-

Grundlagen

meinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) [www.adv-online.de].

Die Jahre zwischen 1980 und 1990 brachten den Geographischen Informationssystemen in Form von Netz-, Raum- und Umweltinformationssystemen nicht nur bei staatlichen Einrichtungen sondern auch in der Wirtschaft auf breiter Front den Durchbruch. Vorreiter dieser Bewegung waren die großen Versorgungs-/Entsorgungskonzerne, die in den Geographischen Informationssystemen ein optimales Werkzeug für den Betrieb und die Überwachung ihrer kilometerlangen Strom-, Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen sahen. Auch andere Industriezweige entdeckten diese Anwendung zur Verwaltung ihrer raumbezogenen Daten, so zum Beispiel der Bergbau (Infrastruktur- und Abbauplanung im Tagebaubetrieb) oder die Chemieindustrie, die über Geographische Informationssysteme Infrastrukturmaßnahmen planten. Gerade letztgenannte bauten seit den 80er Jahren ihre Informationssysteme bis zu Perfektion im 3-D-Format immer weiter aus [RIEKS/SCHALKUCHE 05 (a)].



**Standort
Leverkusen**

Abbildung 1: Potentielle Entwicklungsflächen auf Basis eines 3-D-Standortmodells

In diesen Zeitraum fällt auch der Aufbau vieler staatlicher und halbstaatlicher Informationssysteme, die bis heute eine wesentliche Basis für die deutschen Verwaltungen sind.

Historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme

Die folgende Aufzählung enthält die wichtigsten dieser Systementwicklungen:

- *Bodeninformationssystem (BIS)*
- *Geologisches Informationssystem (GEOLIS)*
- *Landschaftsinformationssystem (LANIS)*
- *Ökologisches Informationssystem (OELIS)*
- *Statistisches Informationssystem zur Bodennutzung (STABIS)*
- *Umweltplanungs- und Informationssystem (UMPLIS)*

Wie in dem davorliegenden Jahrzehnt nahmen staatliche Institutionen dabei durch den weiteren Ausbau der Informationssysteme eine Vorreiterrolle ein. So wurde in Einrichtungen des Bundes der *Graphische Interaktive Arbeitsplatz (GIAP)* fertig gestellt und mit der Umsetzung des Konzeptes für das *Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS)* begonnen. Durch *ATKIS* können Kunden der Landesvermessungsämter auf die Topographie der Bundesrepublik Deutschland in Form von nutzungsorientierten digitalen Erdoberflächenmodellen zugreifen. Somit bildet *ATKIS* die öffentlich-rechtliche Datenbasis für die rechnergestützte Verarbeitungstechnologie.

Diese *Geobasis-Informationssysteme* bestehen hauptsächlich aus den folgenden Produkten [BRAND/KAISER/SCHNITZHOFER/STRAUB 05 (a)]:

- *Digitale Topographische Karte (DTK)*
- *Digitales Orthophoto (DOP)*
- *Digitales Landschaftmodell (DLM)*
- *Digitales Geländemodell (DGM)*

Das letzte Jahrzehnt vor der Jahrtausendwende brachte neben den immer leistungsfähigeren *Personal Computern* auch die ersten Desktop-Lösungen für Geographische Informationssysteme, die bis zu diesem Zeitpunkt nur auf Großrechnern liefen. Auch die weitere Verbreitung von Geodaten (englisch *spatial data*) und das immer leistungsfähigere Internet unterstützten den rasanten Aufstieg der Geographischen Informationssysteme zur wichtigen Anwendung in staatlichen Einrichtungen, in Wirtschaft und in Wissenschaft. Nun konnten auch kleinere Ingenieurgesellschaften diese Art von Anwendungssoftware einsetzen und taten dies auch. In diesem Jahrzehnt setzte sich auch ein neuer Typ von Geographischen Informationssystemen durch, das so genannte hybride System. Dieses kann

Grundlagen

erst durch die Kombinationen von Raster- und Vektordaten das volle Potential von raumbegrenzten Daten ausschöpfen. Weiterhin wurde diese Entwicklung durch die immer leistungsfähigere Photogrammetrie, zum Beispiel durch die 3-D-Objektrekonstruktion unterstützt (Abbildung 3) [www.geoinformatik.uni-rostock.de].

Daneben sind für viele Programme nun auch Zusatzmodule erhältlich, mit denen beispielsweise GPS-Daten eingelesen und verarbeitet oder dreidimensionale Datenanalysen per Knopfdruck durchgeführt werden können [LIEBIG/MUMMENTHEY 05 (a)]. Zudem werden die ersten Versuche unternommen, internationale Standards vor allem für Dateiformate zu implementieren, so zum Beispiel auf europäischer (CEM) und internationaler Ebene (ISO).

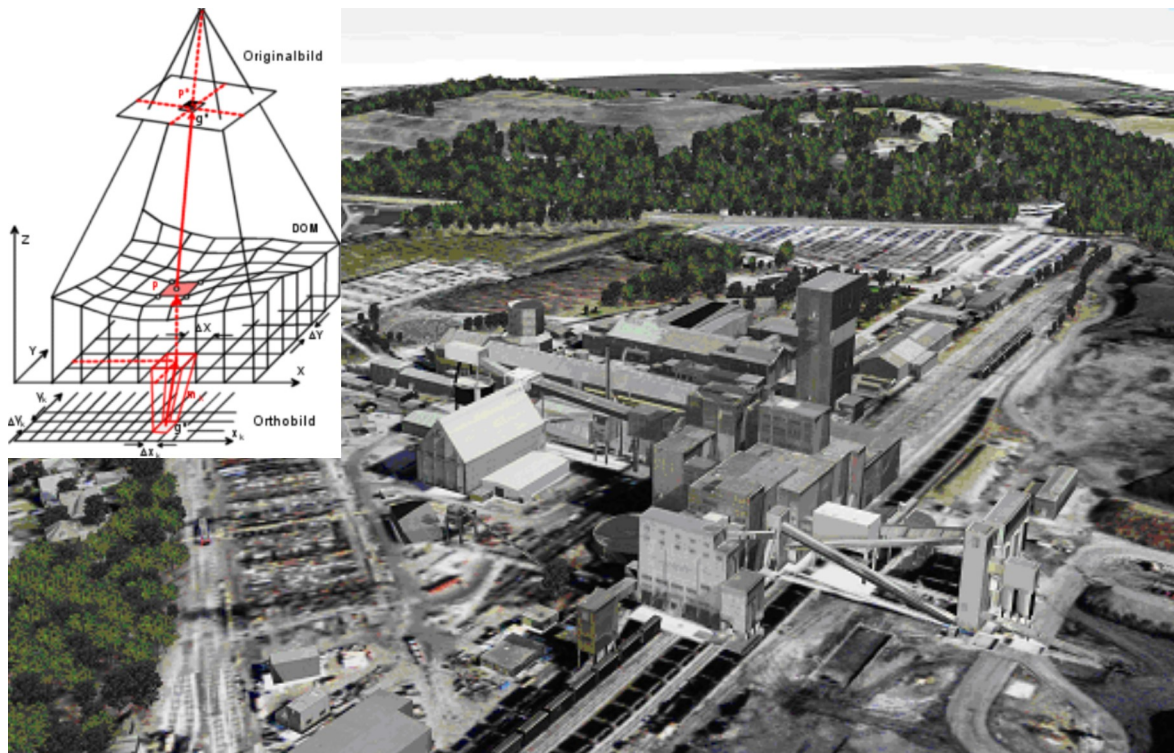


Abbildung 2: 3-D-Visualisierung des Bergwerks Ost auf der Grundlage von photographischen Daten [DSK-Bildmaterial]

Zusätzlich entstanden die ersten freiwilligen Zusammenschlüsse großer Softwarehersteller, wissenschaftlicher Institutionen und nichtstaatlicher Einrichtungen, um international einheitliche Standards und Schnittstellen zu entwickeln. Eine dieser Organisationen ist das *Open Geospatial Consortium (OGC)* [BILL 99 (a)].

In den letzten Jahren entwickelten sich Geographische Informationssysteme zu Standard-

werkzeugen in Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft. Neben den etablierten Produkten von namhaften Herstellern wie *ESRI* und *Intergraph* entwickelten sich unabhängig davon *Open Source* Produkte und *Freie Software (Freeware)*. *Open Source* Produkte werden nach der Definition der *Open Source Initiative* über drei wesentliche Elemente innerhalb ihrer Lizenzverträge charakterisiert. Zum einen müssen die Programmcodes in einer für den Anwender lesbaren Form vorliegen. Weiterhin ist das Kopieren und Verbreiten der Software erlaubt und schließlich darf die Software verändert und auch verändert weitergegeben werden [www.opensource.org]. Diese Software und deren veränderte Derivate müssen nicht kostenfrei abgegeben werden. *Freeware-Software* dagegen ist kostenlos. Die Quellcodes müssen allerdings nicht weitergegeben werden. Es ist abhängig vom jeweiligen Produkt, ob der Programmcode verändert und weitergegeben werden darf. Eines der bekanntesten unter den *Open Source* GIS-Softwareprodukten ist das *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS)*. Es ist das derzeit weltweit größte *Open Source* Projekt aus der Sparte der Geographischen Informationssysteme. *GRASS* ist ein hybrides System zur Bearbeitung und Analyse von Raster- und Vektordaten mit integrierten Bildverarbeitungs- und Visualisierungswerkzeugen. Es existieren über 300 verschiedene Module, um Raster, Vektor- und Punktdaten zu bearbeiten. Da *GRASS* unter *GNU General Public License* (eine weltweit geltende Lizenz, die die Verbreitung von Software-Quellcodes garantiert) veröffentlicht ist, stehen die Software-Quellen allen Anwendern zur Verfügung [www.grass-verein.de].

Ein weiterer Trend ist die Entwicklung von für sich allein stehenden Desktop-Lösungen bis hin zu betriebs- beziehungsweise konzernweiten auf Servern basierenden Systemen. Dabei werden über das Intranet/Internet Daten auf den Servern abgefragt und auf dem ortsgebunden Rechner verarbeitet. Es handelt sich somit um eine Art interaktive Karte, die mit den implementierten Analysewerkzeugen als Grundlage für die Bearbeitung einfacher Aufgaben ausreicht. Die Nutzung von Intranet-/Internetlösungen, gekoppelt mit Geodatenserver(n) für große Gruppen von Anwendern mit verschiedenen Schnittstellen und Systemvoraussetzungen, verhindert die redundante Geodatenhaltung, die sich zwangsweise bei zeitgleicher Nutzung von Desktop-Anwendungslösungen ergibt. Ein weiterer Vorteil einer Anwendung, die auf Servertechnologie basiert, ist die Vorhaltung von Metadaten. Diese Art der Datenbeschreibung wird im Allgemeinen bei Einzelplatzlösungen selten geführt

und kann nachträglich nur sehr schwer nachgetragen werden. Durch die Entwicklung neuer GIS-Architekturen ergeben sich so neue Strukturen innerhalb der täglichen Projektarbeit.

Wo vorher nur ein Anwender die Datenerfassung, Datenorganisation und Analyse durchführte, müssen bei der zuvor beschriebenen Server-Systemarchitektur Fachanwender für raumbezogene Daten, Bereitsteller von Diensten (zum Beispiel Subroutinen für Analysen), Datenbankadministratoren und Betriebssystemspezialisten interdisziplinär zusammenarbeiten [CHRISTL 06 (a)].

Die Geoinformationswirtschaft gilt als einer der Märkte der Zukunft. In einem Zeitraum von fünf Jahren (zwischen 2003 und 2008) können nach einer Studie der Unternehmensberatung *MICUS Management Consulting GmbH* bis zu 13 000 Arbeitsplätze entstehen. Diese Studie misst dem wirtschaftlichen Nutzen von Geoinformationen ein hohes ökonomisches Potential zu. Dieser Dienstleistungssektor könnte sich bei verbesserten politischen Randbedingungen zu einem Marktsegment entwickeln, das der Gesamtwirtschaft durch überdurchschnittliche Wertschöpfung, qualifizierte Arbeitsplätze und hochinnovative Produkte Impulse geben könnte [FORNEFELD/OEFINGER/RAUSCH 03 (a)].

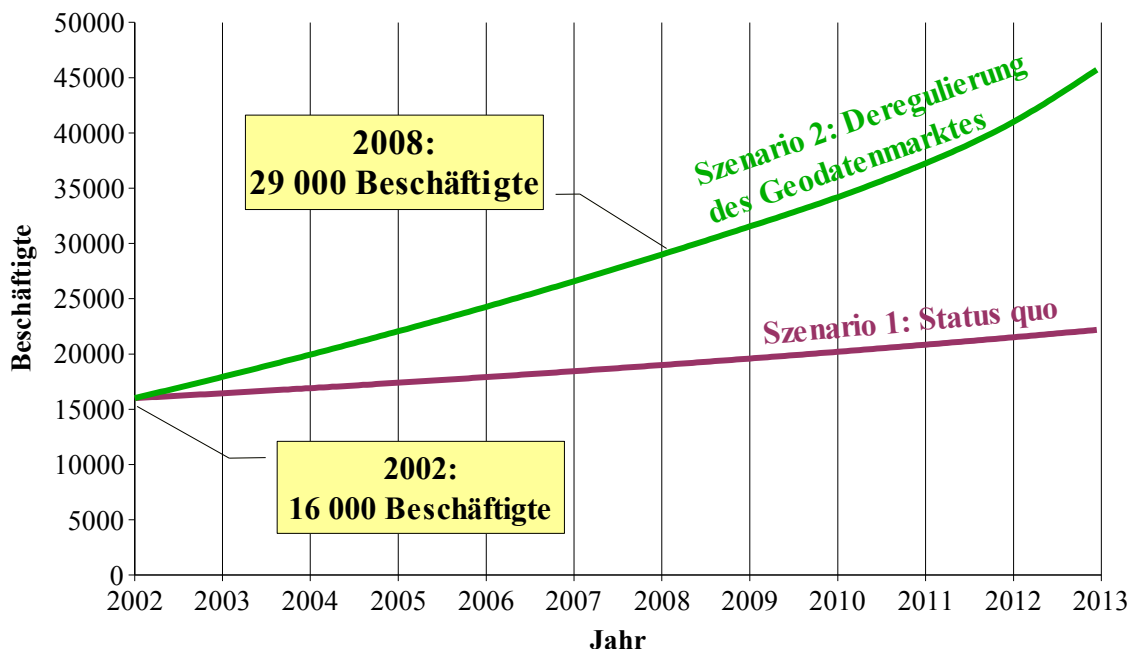


Abbildung 3: Beschäftigungswachstum im Geodatensektor [FORNEFELD/OEFINGER/RAUSCH 03 (a)]

Es gibt kaum eine Branche, in der Geodaten nicht verwendet werden. Dies spiegelt sich auch bei der Besetzung der im Jahre 2005 neu gegründeten *Kommission für Geoinforma-*

Historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme

tionswirtschaft (GIW-Kommission) wieder. Sie soll die Position des Mittlers zwischen Wirtschaft und staatlicher Verwaltung einnehmen. Unter der Leitung des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie* ist die selbst gestellte Aufgabe die Vereinheitlichung, also die Einführung einheitlicher Richtlinien, für den zukünftigen Geodatenmarkt in Deutschland. Neben Vertretern der für die Vermessung und Bereitstellung von Geodaten maßgeblichen staatlichen Verwaltungsstellen setzt sich dieses Gremium aus Repräsentanten der Branchen Tourismus, Versorgung, Entsorgung, Telekommunikation, Versicherung, Finanzen, Immobilien, Handwerk, Bergbau sowie Land- und Forstwirtschaft zusammen [REICHLING/FEINHALS 05 (a)].

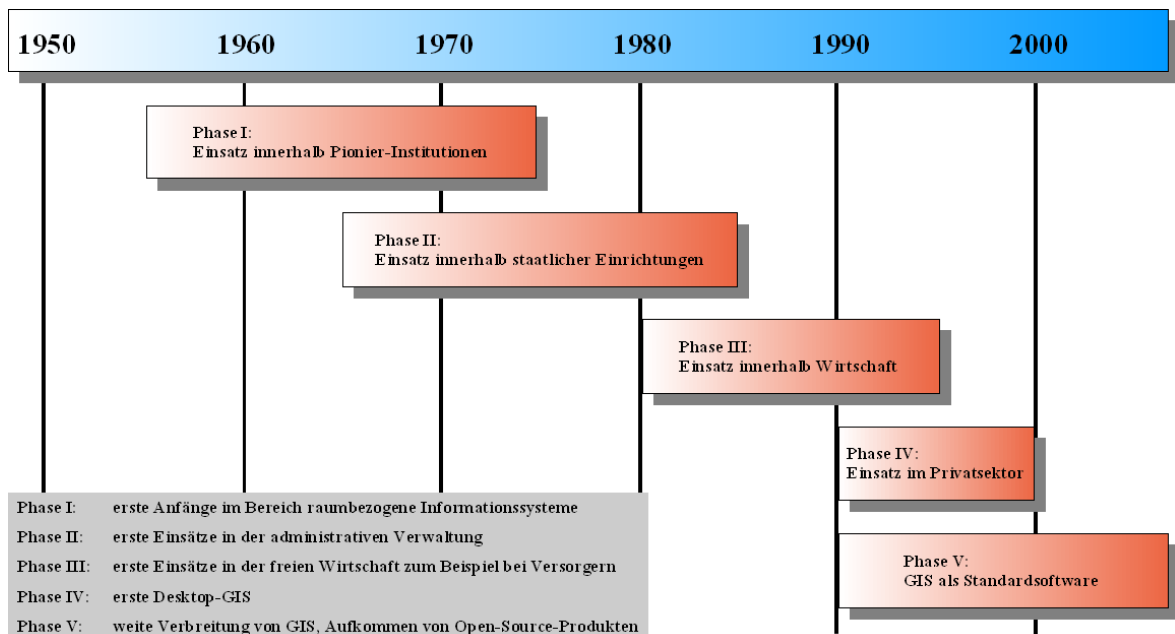


Abbildung 4: Historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme

Somit kann die historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme zusammenfassend in fünf Phasen eingeteilt werden. Abbildung 4 zeigt diese Entwicklung von den Anfängen über den Einsatz in staatlichen Verwaltungen bis zum Einzug von Geographischen Informationssystemen in der Wirtschaft. Dabei sind die Übergänge fließend und nicht eindeutig abzugrenzen. Ohne die Revolution in der Hardware- und Softwaretechnologie in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wären, wie bei fast allen computerunterstützten Anwendungen, die Geographischen Informationssysteme nicht aus dem Anfangsstadium herausgekommen.

Meilensteine waren die Entwicklung der *Personal Computer* sowie die einfach zu be-

Grundlagen

dienende graphische Benutzeroberfläche. In den letzten Jahren bildete das Internet mit seinen fast grenzenlosen Möglichkeiten den Motor für weitere Innovationen. So kann heute auf vielen frei zugänglichen Servern entweder kostenfrei oder kostenpflichtig auf Geodaten zugegriffen werden. Neben den Programmen namhafter Hersteller kommen auch immer mehr *Open Source* Produkte und *Freeware* auf den Markt [DÜSTER 03 (a)].

Ein weiterer Trend im Bereich der Geographischen Informationssysteme ist die zuvor schon erwähnte dreidimensionale Darstellung von Geodaten. Vor allem Städte und Kommunen entdecken zurzeit das große Potential einer 3-D-Darstellung für die Vermarktung ihrer Geodaten.

So bietet zum Beispiel die Stadt München als erste ein komplettes dreidimensionales Geographisches Informationssystem für den Großraum München an [www.muenchen3d.de]. Zielgruppen sind neben der Tourismusindustrie auch Ingenieurbüros für Raumplanung und andere Anwender im Dienstleistungssektor, die mit Geodaten Geschäftsprozesse verbinden (Abbildung 5) [DÖLLNER 06 (a)].



Abbildung 5: 3-D-Kataster der Städte Berlin und München

Auch die Stadt Berlin hat zur besseren Nutzung ihrer Geodaten zum Beispiel im Bereich

der Stadtplanung ein 3-D-Kataster entwickelt [DÖLLNER/KOLBE 05 (a)].

Die Flexibilität von Informationssystemen und die Entwicklung immer neuer Algorithmen für Geodaten vergrößern ständig den Einsatzbereich von Geographischen Informationssystemen. So werden sie auch in Bereichen eingesetzt, die nicht über die klassische Kartographie, sondern durch moderne Informationstechnologie erschlossen werden. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von Geographischen Informationssystemen im Gesundheitswesen. Hier werden sie als Dispositionssysteme für mobile medizinische Geräte innerhalb von Krankenhäusern eingesetzt [TOGT/BEINAT 05 (a)]. Auch die Forschung im Bereich der Rasterdaten wird weiter forciert. Beispiele für solche Anwendungen sind die Entwicklung von Routinen für die Auswertung von Luftaufnahmen und Navigationssystemen für Fußgänger auf der Grundlage von Rasterdaten [WALTER/KADA/CHEN 06 (a)].

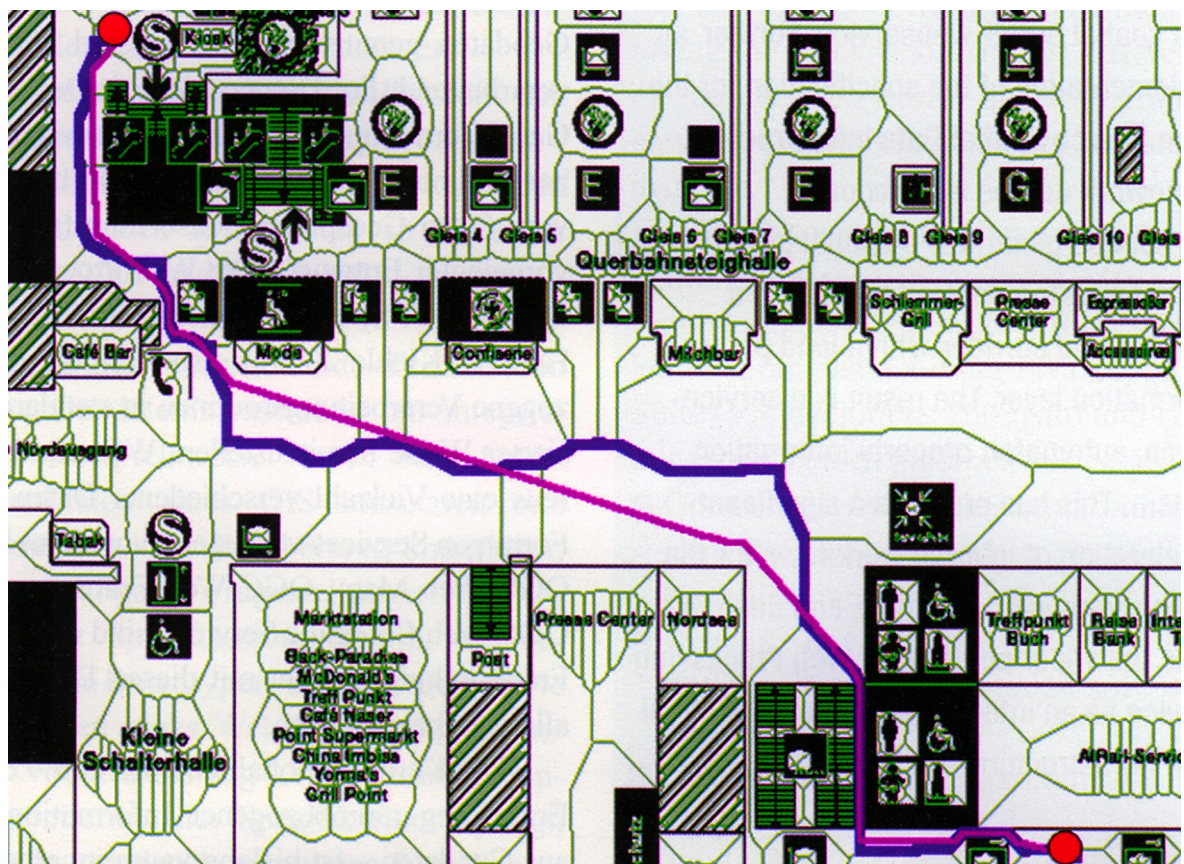


Abbildung 6: Kürzeste-Wege-Analyse innerhalb des Stuttgarter Hauptbahnhofes

Abbildung 6 zeigt die Fußgängernavigation im Bereich des Stuttgarter Hauptbahnhofes mit Hilfe der Kürzeste-Wege-Analyse auf der Grundlage von Rasterdaten.

2.2 Geographische Informationssysteme und Kartographie

2.2.1 Grenzen der Kartographie

Betriebliche und behördliche Kartenwerke sowie die dazugehörigen Unterlagen wie ergänzende Akten und Übersichtsverzeichnisse sind zum großen Teil im Laufe ihrer Nutzung erweitert und den sich ändernden betrieblichen und gesetzlichen Bedingungen angepasst worden. In einem Versorgungsbetrieb können zum Beispiel neben den Übersichtsplänen und den mit ihnen verbundenen Bestandsplänen noch spezielle Kartenwerke existieren. Zu diesen gehören beispielsweise Schemapläne des Leitungrohrsystems oder technische CAD-Detailzeichnungen. Ergänzt werden können diese Informationen² durch Übersichtsverzeichnisse, Akten, Karteikarten und Aufzeichnungen auf Mikrofilm. Dieser Datenbestand besteht vor der Einführung eines Geographischen Informationssystems meistens aus einer Kombination aus analogen und digitalen Datenquellen.

Eine manuelle Bearbeitung von Kartenwerken innerhalb moderner betrieblicher Prozesse ist in der Praxis aufgrund der Komplexität und der zeitlichen Begrenzung zunehmend inakzeptabel. Durch die Verteilung der Informationen auf mehrere Datenquellen und das Vorhandensein von zum Teil erheblichen Mengen an analogen Daten entstehen kritische Konstellationen innerhalb der betrieblichen Ablauforganisation. Informationen müssen immer schneller für betriebliche Entscheidungen und zur Unterstützung einzelner Arbeitsabläufe zur Verfügung gestellt werden. Somit ist Zeit ein wesentlicher Rationalisierungsfaktor. Das Zusammensuchen von Informationen aus verschiedenen thematisch miteinander verbundenen analogen Datenquellen wie zum Beispiel Plänen, Übersichtsverzeichnissen und Karteikarten kann nicht die Basis für ein wirtschaftliches Arbeiten sein. Auch die reine Überführung von analogen Daten in digitale Form führt in diesem Kontext nicht zu einem aus betrieblicher Sicht ausreichenden Ergebnis. Auch bei einer solchen Lösung wird zu viel Arbeitszeit für die Zusammenstellung der Informationen benötigt. Aus Kostengründen werden die analogen Daten in vielen Fällen nicht komplett digitalisiert sowie ein einheitliches Konzept zur Datenspeicherung entwickelt [KLEMMER 04 (a)]. In der betrieblichen Praxis entstehen so verschiedene Daten- und Informationssysteme, die nebeneinander existieren. Dieses Phänomen beschränkt sich nicht allein auf das Geodatenmanagement, sondern auf fast alle betrieblichen Daten, wie zum Beispiel auf Informationen in Einkauf,

² Im Kapitel 2.2 wird das Wort „Information“ als Synonym für Daten im umgangssprachlichen Sinne verwendet und nicht im Sinne der Definition der Informationstechnologie (Kapitel 2.4)

Vertrieb und Buchhaltung. Für den zuvor beschriebenen Komplex „Einkauf-Vertrieb-Buchhaltung“ existieren Informationssysteme wie *Enterprise Resource Planning System (ERP)* oder *Customer Relationship Management System (CRM)* [HOPPE 06 (a)]. Geographische Informationssysteme können Geodaten zusammen und vor allem zusammenhängend speichern.

Somit reduziert eine reine Digitalisierung von analogen Daten im geringen Umfang den Zeitaufwand für die Zusammenstellung von Informationen, erschließt aber keine neuen Möglichkeiten zur Analyse oder Bewertung der Daten. Das zu erzielende maximal mögliche Ergebnis würde den Aufwand für die Digitalisierung der Daten nicht rechtfertigen. Eine Ausnahme bildet hierbei das Scannen alter Karten und Unterlagen als Sicherung der historischen Dokumente gegen den Zerfall.

Neben den zuvor beschriebenen minimalen zeitlichen Gewinnen durch eine Lösung mit mehreren Datenquellen und Datenformaten kann in einem solchen System die Aktualität und die Konsistenz der Daten nur mit großem Aufwand gewährt werden. Der Grund dafür liegt in der erheblichen Redundanz der Daten. So steht zum Beispiel in einer Liegenschaftsverwaltung die alphanumerische Bezeichnung eines Flurstückes nicht nur auf der entsprechenden Karte, sondern auch im Grundbuch mit den Daten über die Eigentümer. Dazu kommen noch verschiedene Übersichtsverzeichnisse zur besseren Verwaltung des Liegenschaftskatasters. In dem zuvor genannten Beispiel ist die alphanumerische Bezeichnung des Grundstückes mindestens dreimal vorhanden. In der Praxis ergeben sich bei großen Datenbeständen, die nicht in einem Informationssystem zusammengefasst sind, Redundanzfaktoren von bis zu 25 [KLEMMER 04 (a)]. Wenn Daten mit einem so hohen Redundanzfaktor geändert werden müssen, können die Daten nicht ökonomisch auf einem aktuellen Stand gehalten werden. Für einen Redundanzfaktor von zum Beispiel 25 müssen somit 25 Eingriffe in verschiedenen Quellen vorgenommen werden, um die Konsistenz der Daten nach der Änderung einer Information wieder herzustellen. Bei solchen Systemlösungen werden aus zeitlichen Gründen nur die wichtigsten Daten ständig aktualisiert, die restlichen Daten hingegen nur sporadisch. Es entsteht eine Datenbasis mit einer inhomogenen Konsistenz. Sachbearbeiter, die unterschiedliche Datenquellen für ihre Arbeit benutzen, können somit auf verschiedene Ergebnisse kommen. Für die tägliche Bearbeitung und Bewertung der Daten ist somit ein Know-how notwendig, das bei einzelnen

Mitarbeitern liegt und nicht dokumentiert ist. Erst die Überführung aller notwendigen Daten in ein Informationssystem birgt nicht nur erhebliche zeitliche Rationalisierungsressourcen sondern löst auch die Probleme der Redundanz und Konsistenz der Datenbasis. Geodaten werden zusammen und zusammenhängend in Geographischen Informationssystemen gespeichert. Sie bilden die Grundlage für eine Bearbeitung der Daten frei von Redundanz beziehungsweise mit kontrollierter Redundanz. Zudem bieten Geographische Informationssysteme durch ihre graphischen Ein- und Ausgabeoberflächen sowie die zusätzlichen graphischen Analysewerkzeuge die Möglichkeit, die ansonsten für den Anwender sehr abstrakten Datenbestände in Tabellen und Datenbanken zu bearbeiten. Daten, die vorher in verschiedenen Formaten vorlagen, können erstmals zusammen bearbeitet und kombiniert werden. Am Beispiel einer Abbausituation eines fiktiven Tagebaus soll die arbeitsintensive manuelle Fortführung eines Kartenwerkes demonstriert werden. Wie die Abbildung 7 zeigt, wurden die Abbauarbeiten auf der untersten Sohle in der Lagerstätte zwischen den beiden dreidimensionalen Momentaufnahmen vorangetrieben.

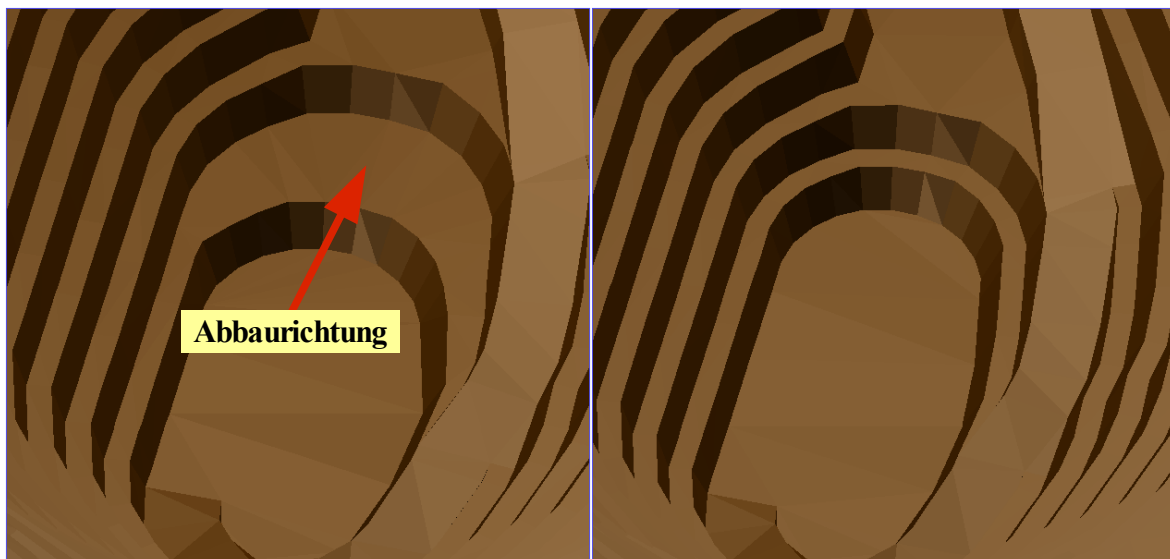


Abbildung 7: Dokumentation der Gewinnung in einem fiktiven Tagebau; [www.surpac.com] verändert

Der Betrieb eines solchen Tagebaus basiert auf einer Vielzahl von geologischen und planungstechnischen Daten. Die Informationen werden zum besseren Verständnis und zur Kommunikation zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen und Beteiligten oft in Form von Karten und Plänen visualisiert. Auch der Gesetzgeber fordert von den meisten Bergbauunternehmungen die regelmäßige Fortführung und Vorlage der risslichen Unterlagen bei den entsprechenden Aufsichtsbehörden [BBergG] [MarkschBergV]. In dem gezeigten

Beispiel könnten verschiedene Spartenpläne für die Strom- und Wasserversorgung sowie eine Übersichtskarte über die vorhandenen Erkundungsbohrungen die Planung der Gewinnung unterstützen. Die Objektklasse „Böschungskanten“ ist, wie in Abbildung 8 (Seite 16) dargestellt, mehrfach vorhanden. Ändert sich der Abbaustand und somit auch die Geometrie des Objektes „Böschungskanten unterste Sohle“, so muss in der Praxis bei manuellem Nachtrag und bei der Speicherung der Daten in verschiedenen Formaten das Objekt auch mehrmals eingezeichnet und fortgeführt werden. Bei diesem Beispiel existiert eine dreifache Redundanz für die Darstellung der Böschungen im Tagebau (Abbildung 8).

Ein weiterer Nachteil bei der separaten Führung von Kartenwerken mit den dazugehörigen Anlagen wie Akten oder Listen ist die einheitliche Bezeichnung von Objekten. So kann es vorkommen, dass beispielsweise die Kennungen von Bohrlöchern (Abbildung 8 oben) aus Formatgründen in der Übersichtskarte anders deklariert sind als in Tabellen oder in den betriebsinternen Datenbanken.

Die Kartographie hat im Laufe der Zeit Methoden entwickelt, um den Arbeitsaufwand bei der Fortführung von Kartenwerken zu minimieren. So wurde schon Anfang des letzten Jahrhunderts das Prinzip der separat übereinander zu legenden Kartenschichten, das so genannte Folienprinzip, entwickelt [www.laum.uni-hannover.de]. Hierbei wird eine Karte in thematische Einzelemente gleicher Art geteilt. Für das Beispiel des fiktiven Tagebaus in Abbildung 8 könnte so die dreifache Redundanz der Tagebaugeometrie dadurch aufgelöst werden, dass das Kartenwerk in vier separate Einzelthemen gegliedert wird. Eine Folie für die Tagebaugeometrie, die dem Beispiel folgend beim Fortschreiten der Gewinnung geändert werden müsste, und jeweils eine Folie für die Erkundungsbohrungen sowie für die Strom- und Wasserversorgung, die wiederum nur geändert werden müssten, wenn die Infrastruktur ausgebaut wird. Theoretisch könnten die einzelnen Folien noch weiter unterteilt werden. Die Geometrie des Tagebaus könnte nicht auf einer Folie, sondern für jede Sohle separat dargestellt werden. Allerdings bildet in der Praxis die maximal mögliche Anzahl der übereinander zu legenden Folien eine physische Grenze des Umgangs und der Lesbarkeit eines solchen Kartenwerkes. Von dieser Möglichkeit der thematischen Gliederung von Karten und Plänen wird allerdings in der manuellen Kartographie wenig Gebrauch gemacht [KLEMMER 04 (a)].

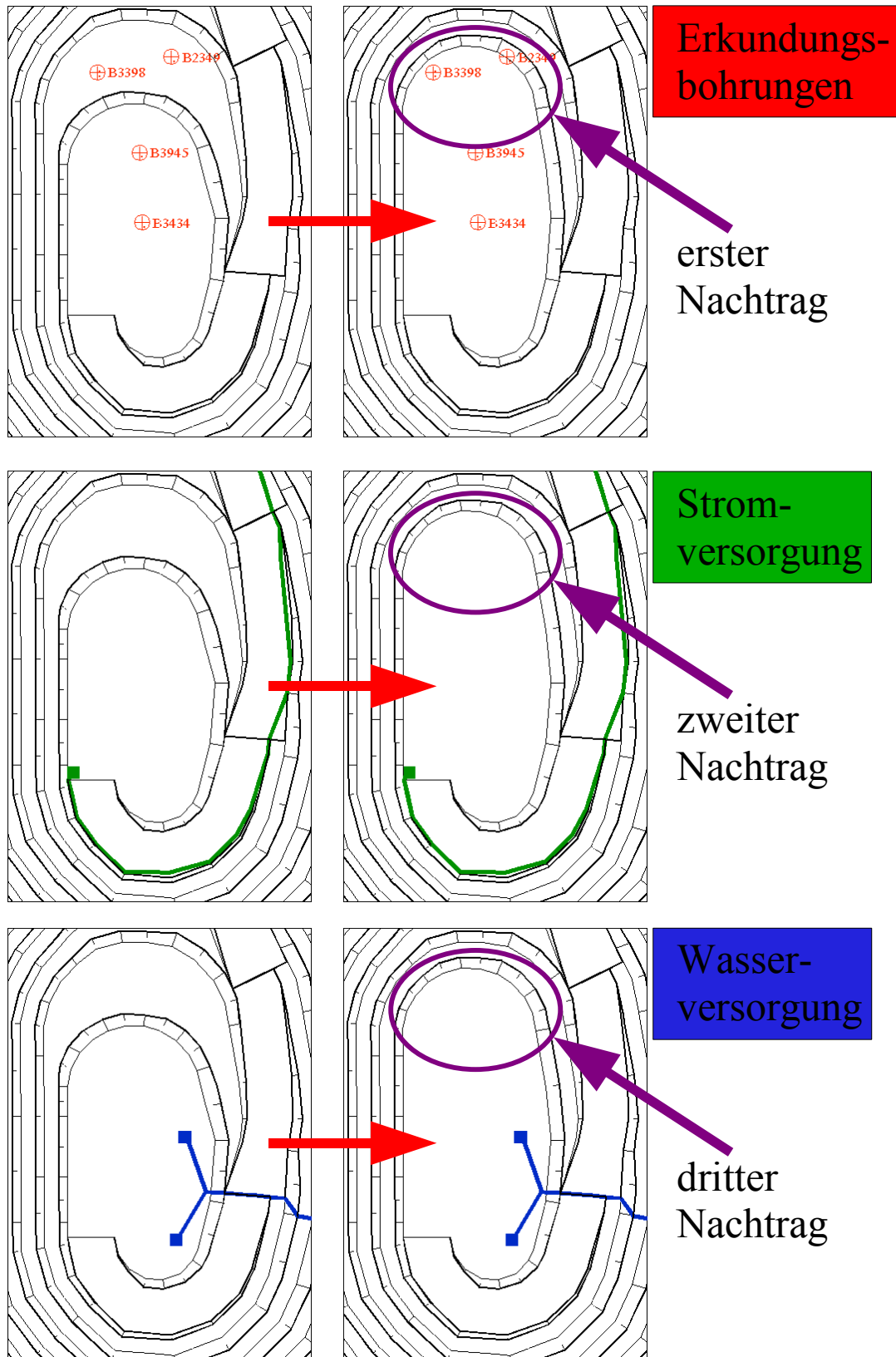


Abbildung 8: Dreifache Redundanz bei der Geometrie des Tagebaus

Eine weitere Begrenzung beziehungsweise ein Versagensgrund für die Anwendung des Folienprinzips in der Kartographie ist die nicht immer gegebene Darstellungsgleichheit von Objekten. Unter Darstellungsgleichheit wird die topographische und geometrische Gleichheit der Darstellung eines Objektes in jedem Kartenwerk verstanden. Für viele Objekte trifft diese Annahme der Darstellungsgleichheit nicht zu. So werden Schieber in Kartenwerken für Gas- oder Wasserleitungssysteme in den verschiedenen Ausführungen auch jeweils anders dargestellt. Eine Änderung oder Erweiterung des realen Leitungssystems hat somit eine mehrfache Änderung in den diversen Karten und Plänen zur Folge. Am Beispiel des zuvor beschriebenen fiktiven Tagebaus soll dies an den verschiedenen Darstellungen der Wasserversorgung in Abbildung 9 gezeigt werden.

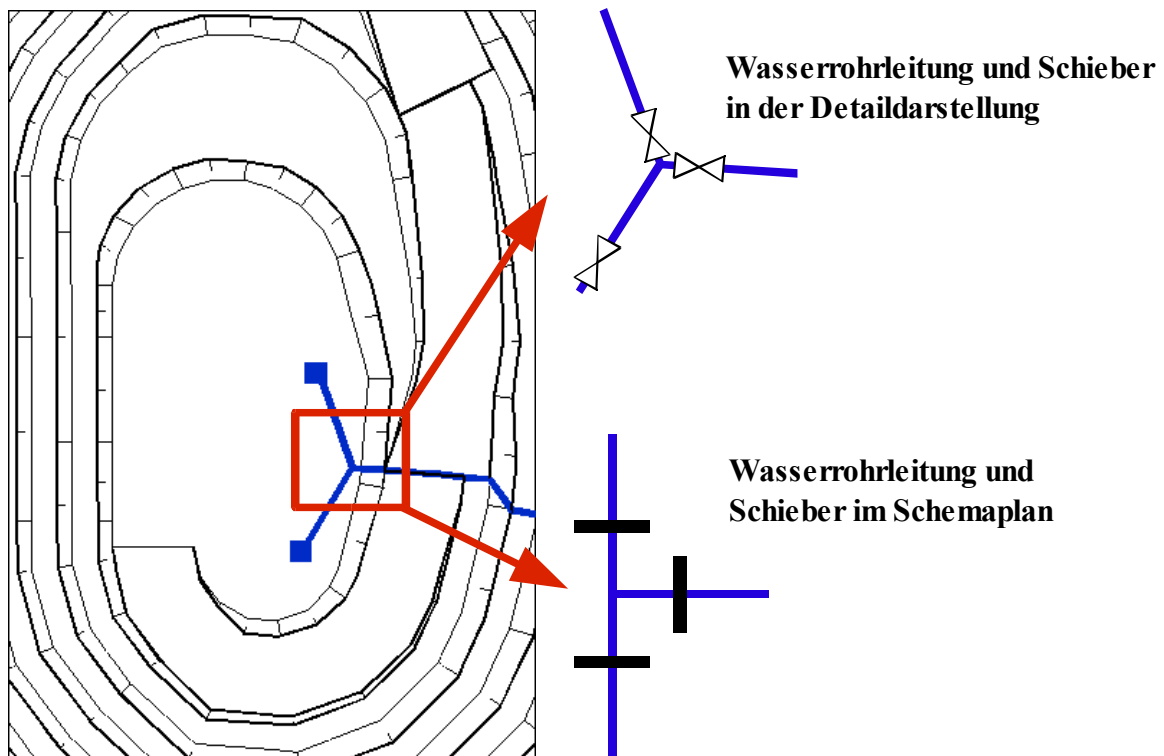


Abbildung 9: Keine Darstellungsgleichheit des Objektes Schieber im Wasserversorgungssystem

Ein weiteres Versagenskriterium für das Folienprinzip in der Kartographie ist die Generalisierung von Objekten bei unterschiedlichen Maßstäben. So werden zum Beispiel die Grenzen des Bewilligungsfeldes des Tagebaus in der Deutschen Grundkarte 1:5 000 (DGK5) exakt mit den dazugehörigen 20 Koordinaten inklusive den 30 Liegenschaften innerhalb des Feldes dargestellt. Dasselbe Feld, wie Abbildung 10 zeigt, wird in der Topographischen Karte 1:25 000 (TK25) aufgrund der Übersichtlichkeit auf eine Fläche mit nur

fünf Eckkoordinanten generalisiert. Dieses Phänomen tritt bei allen Flächen auf, die groß genug sind, um auf Kartenwerken verschiedener Maßstäbe vermerkt zu werden. So werden unter anderem Gemeinde- und Regierungsbezirksgrenzen sowie die Abgrenzungen von Naturschutzgebieten in den diversen amtlichen Karten unterschiedlich dargestellt.

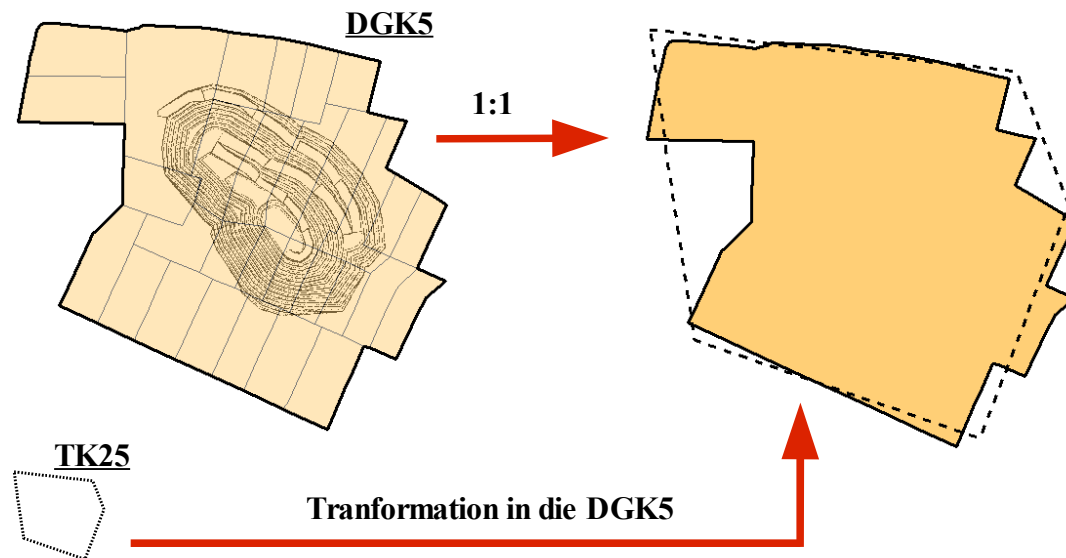


Abbildung 10: Flächenausweisung eines Bewilligungsfeldes in verschiedenen Maßstäben

In allen Fällen, sei es die gleiche Darstellung eines Objektes (Abbildung 8) oder die unterschiedliche Darstellung in verschiedenen thematischen Kartenwerken (Abbildung 9) oder die Veränderung der Geometrie eines Objektes bei der Wiedergabe in Karten und Plänen verschiedener Maßstäbe (Abbildung 10), handelt es sich um das gleiche Objekt mit den gleichen Informationen als Attribut. Bei konsequenter Weiterführung dieses Gedankens folgt zwangsläufig die Forderung einer strikten Trennung von Graphik- und Sachdatenkomponenten eines Objektes. Bei einer solchen Aufteilung in mindestens zwei Informationsebenen kann die Bereitstellung von betrieblich relevanten Daten auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen. Die Änderung einer der beiden grundsätzlichen Informationen – graphische oder sachliche – berührt nicht die jeweils andere. Wie die vorgestellten Beispiele des fiktiven Tagebaus gezeigt haben, sind die meisten Objekte informations-, aber nicht darstellungsgleich. Aus diesem Grund stößt die klassische Kartographie an ihre Grenzen, vor allem wenn der betriebswirtschaftliche Nutzen als Grundlage für die Bewertung von Arbeitsprozessen angesetzt wird.

Geographische Informationssysteme sind in erster Linie Anwendungen aus der Informationstechnologie. Sie organisieren Objekte informationsbezogen. Die Verknüpfung der Daten mit einem räumlichen Bezug und die graphische Darstellung sind abgeleitete Größen. Mit der Trennung der graphischen und sachlichen Daten und deren separaten Speicherung in einem Informationssystem sowie den daraus entstehenden Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten wird ein höherer Abstraktionsgrad als in der traditionellen Kartographie erreicht.

Das Konzept und der Einsatz eines Geographischen Informationssystems darf somit nicht auf den Ansätzen der klassischen Kartographie basieren, sondern muss sich von diesen lösen und den aktuellen Stand der Technologie für Informationssysteme wie die Regeln der Normalisierung und der objektorientierten Programmierung widerspiegeln.

2.2.2 Normalisierung und objektorientierte Programmierung

Unter Normalisierung eines auf Tabellen basierenden Datenbankschemas, eines so genannten relationalen Datenbanksystems, wird die schrittweise Zerlegung mittels bestimmter, aus der Mathematik hergeleiteter Algorithmen, verstanden. Dabei soll ein System mit geringen beziehungsweise keinen Redundanzen sowie ohne einander widersprechende Dateninhalte, so genannte Anomalien, entstehen. Die Wartung und die Ergänzung eines so konstruierten Datenbanksystems kann durch einen minimalen Arbeitsaufwand sehr wirtschaftlich betrieben werden. Zudem wird die Konsistenz der Daten gewährleistet. Grundsätzlich handelt es sich bei der Normalisierung um eine Auflösung der vorhandenen Spalten in nicht mehr sinnvoll teilbare Einheiten sowie eine Verknüpfung der Spalteninhalte untereinander und die Vergabe von eindeutigen Schlüsseln für Datensätze. Das Datenbanksystem kann hierfür von der ersten Normalform (1NF) bis wahlweise in die fünfte Normalform (5NF) überführt werden. Dabei müssen für die nächsthöhere Form die jeweiligen Bedingungen der darunter liegenden Formen erfüllt sein. Die Anwendung aller Normalisierungsalgorithmen auf ein Datenbanksystem kann durch die Struktur der Daten eingeschränkt werden. Eine konsequente Anwendung der hierarchisch gegliederten Algorithmen könnte zum Verlust von Informationen führen [ELMASRI/NAVATHE 02 (a)]. Nachfolgend werden die Normalformen anhand von Beispielen von möglichen betrieblichen

Grundlagen

Datenbanksystemen des zuvor beschriebenen fiktiven Tagebaus beschrieben.

Bei der ersten Normalform (1NF) werden die Dateninhalte jeder Spalte auf zusammengesetzte, mengenwertige und geschachtelte Elemente untersucht und in Einzelelemente aufgegliedert.

Tabelle 1: Beispiel für die Verletzung der 1NF

<i>Kunden_Id</i>	<i>Name</i>	<i>Adresse</i>
0815	Zementwerk Hältnicht	Pleitestraße 11, 4711 Entenhausen, DDR

Tabelle 2: Auflösung der Verletzung der 1NF

<i>Kunden_Id</i>	<i>Name</i>	<i>Straße</i>	<i>Nr</i>	<i>PLZ</i>	<i>Stadt</i>	<i>Land</i>
0815	Zementwerk Hältnicht	Pleitestraße	11	4711	Entenhausen	DDR

Eine Datenbanktabelle, eine so genannte Relation, ist in der zweiten Normalform (2NF), wenn alle Nichtschlüsselattribute von dem jeweiligen Schlüsselkandidaten (Schlüsselspalte, Key Candidate, KC) funktional abhängig sind. Dabei kann sich der Datensatzschlüssel aus mehreren Spalten zusammensetzen. Der Übergang von der ersten zur zweiten Normalform reduziert die vorhandene Datenredundanz auf ein Minimum und löst die damit oft verbundene Gefahr der Dateninkonsistenz auf. Das Verständnis der Datenbankstruktur wird dadurch erheblich vereinfacht, da nur noch logisch zusammenhängende Daten in der jeweiligen Relation gespeichert werden.

Tabelle 3: Beispiel für die Verletzung der 2NF

<i>Kunden_Id</i>	<i>Name</i>	<i>Qualität</i>	<i>Lieferschein_Nr</i>	<i>Menge_T</i>
0007	Baumarkt Teuer	BA	1	50,44
0815	Zementwerk Hältnicht	HA	1	150,23
0815	Zementwerk Hältnicht GmbH	BA	2	234,72
0815	Zementwerk Hältnicht	HA	3	324,45

In dem Beispiel in Tabelle 3 besteht der Primärschlüssel der Relation aus den beiden Feldern *Kunden_Id* und *Lieferschein_Nr*. Dabei sind aber die Felder *Qualität* und *Menge_T* vom Feld *Lieferschein_Nr*, aber nicht vom Feld *Kunden_ID* abhängig. Der Aufbau dieses Beispiels zeigt deutlich die Bildung von Redundanzen in der zweiten Spalte.

Der Name des Kunden wird in dieser Spalte bei jedem neuen Eintrag wieder gespeichert. Dadurch können bei Fehleinträgen Dateninkonsistenzen entstehen. Es ist zudem möglich, einen Eintrag in dieser Spalte nachträglich zu verändern, ohne die passenden Einträge in den anderen Datensätzen ebenfalls nachzutragen. Dieses Phänomen wird als Update-Anomalie bezeichnet. Die Lösung dieser Verletzungen der zweiten Normalform besteht in der Aufteilung der Relation in zwei miteinander verknüpften Tabellen.

Tabelle 4: Auflösung der Verletzung der 2NF

<i>Kunden_Id</i>	<i>Name</i>	<i>Kunden_Id</i>	<i>Lieferschein_Nr</i>	<i>Qualität</i>	<i>Menge</i>
0007	Baumarkt Teuer	0007	1	BA	50,44
0815	Zementwerk Hältnicht	0815	1	HA	150,23
		0815	2	BA	234,72
		0815	3	HA	324,45

Die linke Teiltabelle in Tabelle 4 könnte noch durch die Einträge der Tabelle 2 erweitert werden.

Durch die Auflösung von transitiven Abhängigkeiten mittels mathematischer Algorithmen, wie zum Beispiel des Synthesealgorithmus, kann die zweite Normalform in die dritte Normalform (3NF) überführt werden. Transitive Abhängigkeiten entstehen, wenn ein Attribut über ein weiteres Attribut an das Primärschlüsselfeld der Relation gekoppelt ist. Wenn also das Attribut A_2 von dem Attribut A_1 (dem Primärattribut) abhängig ist und das Attribut A_1 wiederum vom Primärschlüssel P_1 abhängt, so besteht zwischen P_1 und A_2 eine transitive Abhängigkeit. Dieses wird mathematisch formal folgendermaßen ausgedrückt:

$$A_2 \rightarrow A_1 \wedge A_1 \rightarrow P_1 \Rightarrow A_2 \rightarrow P_1$$

Tabelle 5: Verletzung der 1NF und 3NF

<i>Verb_Nr</i>	<i>Verbesserungsvorschlag</i>	<i>Person</i>	<i>Geburtsjahr</i>
123	Anknopf Computer	Dieter Schenkelklopper	1920
456	Ausknopf Computer	Dieter Schenkelklopper	1920
789	Automatische Kehreinheit	Hans Stift	1990

Die Auflösung von transitiven Abhängigkeiten geschieht meistens durch die Einführung

Grundlagen

einer weiteren Tabelle, die ihrerseits nur Einträge zur Verknüpfung zweier Relationen hat.

In dem Beispiel in Tabelle 5 liegt nicht nur eine Verletzung der ersten Normalform im Feld *Person*, sondern auch eine transitive Abhängigkeit zwischen dem Primärschlüsselfeld *Verb_Nr* und dem Attributsfeld *Geburtsjahr* vor. Die Person, die einen bestimmten Verbesserungsvorschlag eingereicht hat, lässt sich aus der vergebenen Nummer des Verbesserungsvorschlags (*Verb_Nr*) ableiten. Dagegen hängt das Geburtsjahr vom Einreicher des Vorschlags und damit nur transitiv über die Person von der Nummer des Verbesserungsvorschlags ab.

Tabelle 6: Auflösung der Verletzung der 1NF und 3NF

<i>Verb_Nr</i>	<i>Verbesserungsvorschlag</i>	<i>Verb_Nr</i>	<i>P_Nr</i>	<i>P_Nr</i>	<i>Name</i>	<i>Vorname</i>	<i>Geburtsjahr</i>
123	Anknopf Computer	123	1	1	Schenkelklopfer	Dieter	1920
456	Ausknopf Computer	456	1	2	Stift	Hans	1990
789	Automatische Kehreinheit	789	2				

Eine Relation ist in der vierten Normalform (4NF), wenn nur noch triviale Abhängigkeiten abgebildet werden. Das heißt, es dürfen nicht mehrere, voneinander abhängige 1:n-Beziehungen in einer Tabelle enthalten sein. Die weiteren Algorithmen zur Normalisierung von Relationen für deren Überführung in die Boyce-Codd-Normalform (BCNF, eine Weiterentwicklung der dritten Normalform) sowie in die fünfte Normalform (5NF) können nicht auf jede Datenbankstruktur ohne möglichen Verlust von Informationen angewendet werden.

In der Praxis sind die erste, zweite, dritte und vierte Normalform, unterstützt durch so genannte Entity-Relationship-Models (ERM), auch von einem unerfahrenen Anwender mit wenig Aufwand umsetzbar und können somit als Standard für Datenbanken bezeichnet werden [KEMPER/EICKLER 04 (a)].

Die objektorientierte Programmierung ist jünger als die Programmiersprachen mit prozeduralem Ansatz wie *Pascal*, *Fortran* und *C*. Moderne Programmiersprachen wie *Java*, *C#* und *C++* unterstützen beide Ansätze. Der theoretische Grundgedanke einer objektorientierten Programmiersprache ist die Zusammenfassung von Daten und Methoden zu deren Manipulation in einem Objekt sowie die Kapselung der jeweiligen Objekte nach

außen. Methoden sind in diesem Sinne Funktionen und Prozeduren [ABELSON/SUSSMAN 01 (a)].

Durch die Kapselung der Objekte müssen diese direkt angesprochen werden und können somit nicht versehentlich verändert werden. Ein Zugriff auf interne Datenstrukturen wird damit unterbunden. Jedes Objekt hat eine Schnittstelle, die definiert, wie und auf welche Art das Objekt mit anderen Objekten interagiert. Dieser Ansatz erhöht die Flexibilität und fördert die Wiederverwendbarkeit von Programmcodes oder ganzen Programmen. Der Ursprung der objektorientierten Programmierung liegt in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts und war ein theoretischer Lösungsansatz zur Modularisierung sowie ein Konzept für eine mögliche mehrfache Nutzung von Programmcodes. Die Entwicklung der objektorientierten Programmierung als Standard für Programmiersprachen geschah allerdings erst in der letzten Dekade des vorigen Jahrhunderts.

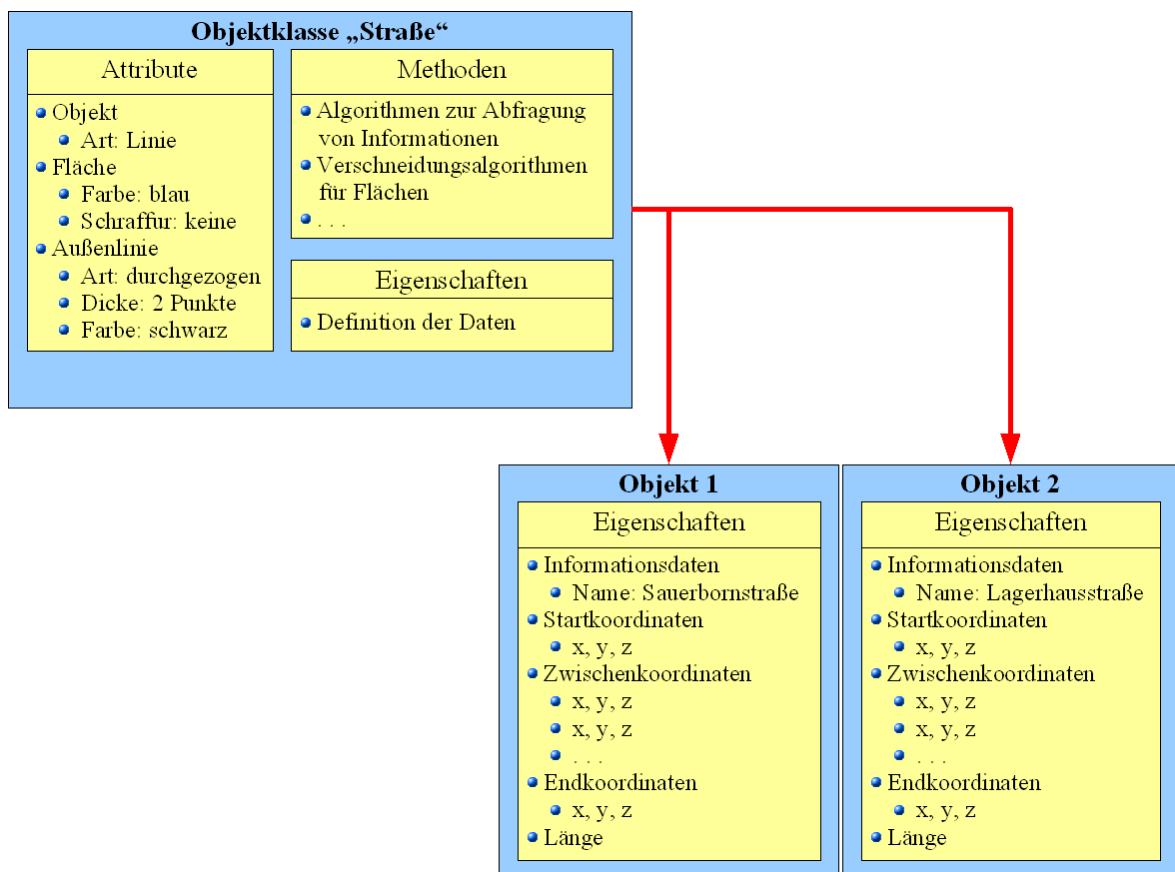


Abbildung 11: Objektklasse und Objekte in einem Geographischen Informationssystem

In einer objektorientierten Programmiersprache werden zur Verwaltung der Objekte so genannte Klassen beziehungsweise Objektklassen eingeführt. Eine Klasse ist die Vorlage, aus

der die jeweiligen Objekte während der Laufzeit des Programmes erzeugt werden (Abbildung 11).

Somit werden im Programmcode Klassen und nicht Objekte definiert. Die Klasse an sich ist kein komplexer Datentyp wie die Klassen der prozeduralen Programmiersprachen, sondern beinhaltet auch die Definition der Algorithmen und deren Wirkungsweise auf das beschriebene Objekt. Somit ist auch die Interaktion zwischen Objekten einer Klasse oder zwischen Objekten verschiedener Klassen indirekt durch die Beschreibung der Methoden der jeweiligen Klasse festgelegt. Aus datentechnischer Sicht bestehen Klassen aus Attributen, das sind die verschiedenen Eigenschaften der Objekte und die dazugehörigen Methoden. Die Attribute einer Klasse innerhalb eines Geographischen Informationssystems bestehen zum Beispiel bei einer Linie aus der Farbe, Dicke und Art der Linie. Abbildung 11 schlüsselt die Definition einer Klasse für die Speicherung von Liegenschaften innerhalb eines Geographischen Informationssystems auf. Klassen (Unterklassen) können von anderen Klassen (Oberklassen) durch *Vererbung* abgeleitet werden.

Die in der Objektstruktur gespeicherten Daten werden als Eigenschaften des jeweiligen Objektes beziehungsweise der dazugehörigen Klasse bezeichnet [BRÜGGE/DUTOIT].

2.2.3 Geographische Informationssysteme

Die Eigenschaften und Möglichkeiten eines Informationssystems sind der Schlüssel für den nutzbringenden sowie wirtschaftlichen Einsatz von Geographischen Informationssystemen. Die letzten beiden Kapitel zeigten die Notwendigkeit, sich für einen wirtschaftlichen Einsatz eines Geographischen Informationssystems von den klassischen Ansätzen der Kartographie zu lösen, sowie die Integration von Möglichkeiten moderner Datenbanksysteme und die Anwendung von objektorientierten Programmiersprachen. Hierbei sollen die Erkenntnisse der Kartographie nicht gänzlich außer Acht gelassen werden, sondern nur der enge Spielraum analoger Kartographie, also deren digitale Umsetzung (Computer-Aided-Design-Technologie, CAD-Technologie) durch den Einsatz moderner Informationstechnologie erweitert werden. Dabei entsteht allerdings keine modifizierte Kartographie, stattdessen handelt es sich um einen Spezialfall der Informationstechnik.

Moderne Datenbanksysteme sind in der Lage, die geometrische Darstellung und deren geo-

graphische Orientierung wie jedes andere Attribut in einer Tabellenstruktur zu speichern. Es handelt sich hierbei nicht nur um eine Sammlung von Objekten und den dazugehörigen Sachdaten. Zusätzlich werden Informationen über die Zuordnung zu den Klassen und über die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Objekten gespeichert. Dabei spielt es keine Rolle, ob es Objekte einer Klasse oder mehrerer Klassen sind. Durch die Anwendung der Regeln der Normalisierung und der objektorientierten Programmierung ergibt sich automatisch die strikte Trennung von sachbezogenen und geographischen Komponenten.

Wird der Ansatz der Normalisierung konsequent weiter angewendet, so kommt es zu einer weiteren Aufspaltung der graphischen Komponenten eines Objektes. Ändert sich zum Beispiel die Farbe einer Fläche, so ändert sich nicht die Geometrie dieser Fläche. Konsequenterweise müssen die graphischen Komponenten also in geometrische Informationen und in Informationen über die Darstellung unterteilt werden. Liegt eine solche systembedingte Trennung der graphischen Darstellungen vor, so ist es möglich, dass nicht nur eine graphische Darstellung für ein Objekt gespeichert wird, sondern mehrere Darstellungsformen eines Objektes für verschiedene Karten und Pläne. Anstatt das Objekt wie bei der klassischen Kartographie mehrfach in diversen Kartenwerken vorzuhalten, existiert nur ein Objekt mit den entsprechenden verschiedenen Informationen für die jeweilige Karte beziehungsweise den jeweiligen Plan. Das Objekt ist somit nur einmal im Geographischen Informationssystem vorhanden und muss bei Veränderungen auch nur einmal nachgetragen werden. Das Geographische Informationssystem spiegelt damit die Realität besser wider als die Ansätze der Kartographie. Ein Sperrschieber innerhalb eines Wasserrohrsystems, wie bei dem Beispiel in Abbildung 9, ist somit auch nur einmal vorhanden.

Für die Strukturierung der Daten eines Objektes können neben den Bedingungen der objektorientierten Programmierung auch die Betrachtung der Stabilität der einzelnen Datengruppen wie Geometrie- und Darstellungsinformationen herangezogen werden. Grundsätzlich bestimmen die Regeln der objektorientierten Programmiersprache das äußere Gerüst des Datentyps. So können die Objekte nur Attribute haben, die über die dazugehörige Objektklasse definiert und vererbt wurden. Zum Beispiel wird die Farbe von Liegenschaften in einer Katasterkarte für alle dazugehörigen Objekte prinzipiell von der Objektklasse definiert. Über die verschiedenen Methoden können allerdings auch einzelne Objekte, beispielsweise bei der Markierung einer bestimmten Liegenschaft, oder Objekte mit

einer oder mehreren gleichen Eigenschaften andersfarbig hervorgehoben werden. Mit einer solchen Methode kann die Katasterkarte neben den Daten der Liegenschaften auch Informationen der allgemeinen kommunalen Flächenausweisung präsentieren.

Die vorgestellten Beispiele in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 zeigen sehr deutlich, dass sich Änderungen in der Regel auf die graphischen Komponenten eines Objektes beziehen. Diese Modifikationen in Form einer differenzierten Darstellung in den verschiedenen Karten und Plänen oder die sich aufgrund von Generalisierungseffekten verändernde Geometrie eines Objektes beeinträchtigen nicht die sachbezogenen Daten. Die meisten Objekte sind somit informations-, aber nicht darstellungsgleich. Die sachbezogenen Objektdaten sind also durch alle Darstellungsebenen stabil.

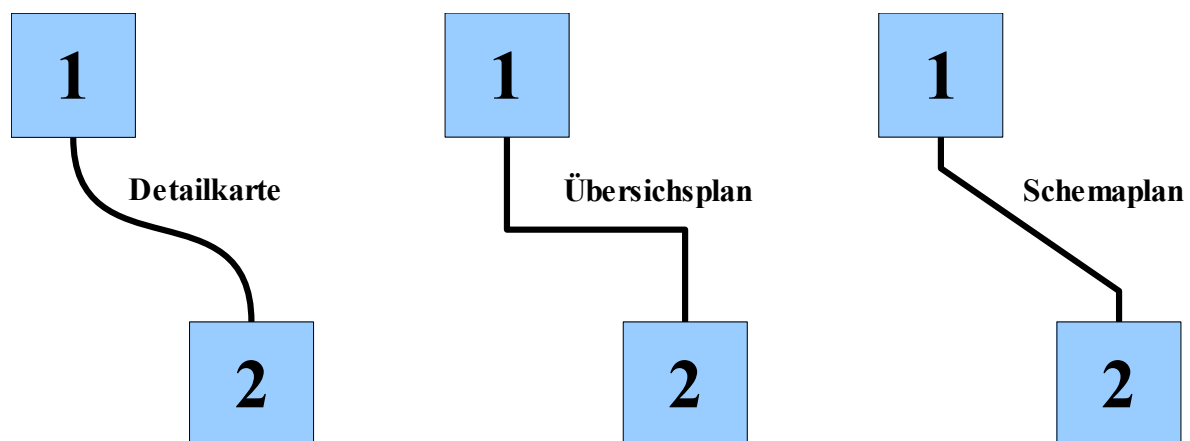


Abbildung 12: Unterschiedliche Darstellung einer Stromleitung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden nachfolgend zum besseren Verständnis der Definition von Geographischen Informationssystemen die einzelnen Informationen in Gruppen gleicher und unterschiedlicher Stabilitätsordnung klassifiziert. Dabei haben Informationen, die über alle Darstellungsformen in Karten und Plänen unverändert bleiben, wie die sachbezogenen Komponenten eines Objektes, die höchste Stabilität und sind deshalb Informationen erster Ordnung. Auch bei den graphischen Komponenten eines Objektes gibt es Informationen, die in allen Kartenwerken stabil sind und somit als Informationen erster Ordnung eingestuft werden können.

Das einfache Beispiel einer Stromleitung zwischen zwei Verteilerkästen in Abbildung 12 zeigt, dass bei den drei verschiedenen Darstellungen der Leitung ein Faktum unverändert bleibt. Die Leitung verbindet immer die Verteilerkästen Nummer 1 und Nummer 2, un-

abhängig davon, ob sie die Form eines Polygons oder einer Geraden hat. Diese Nachbarschaftsbeziehung heißt Topologie und ist wie die sachbezogenen Informationen abbildungsvariant. Die Topologie ist somit ebenfalls eine Information erster Ordnung und sollte, obwohl sie zu den graphischen Komponenten eines Objektes gehört, von diesen getrennt gespeichert werden.

Daneben existiert die schon beschriebene Trennung zwischen der Geometrie eines Objektes und dessen Darstellung. Die meisten betrieblichen Unterlagen bestehen sehr selten aus vielen Kartenwerken mit unterschiedlichen Maßstäben [KLEMMER 04 (a)]. Dagegen existieren oft mehrere spezielle Karten und Pläne mit einem dem jeweiligen Einsatzgebiet entsprechend angepassten Maßstab. Daher sind Geometriedaten Informationen zweiter Ordnung und die Daten für die Darstellung Informationen dritter Ordnung. Tabelle 7 zeigt zusammenfassend eine modular aufgebaute Speicherstruktur, sortiert nach der Stabilität der Informationen, die ein Geographisches Informationssystem zu einem hohen Prozentsatz verwirklichen sollte.

Tabelle 7: Einteilung von Daten über das Kriterium der Stabilität

<i>Stabilitätsordnung</i>	<i>Information</i>	<i>Kommentar</i>
1	Sachdaten	Abbildungsinvariant
1	Topologie	
2	Geometrie	Mögliche Abhängigkeit nur vom Maßstab der Karte/des Planes
3	Darstellung	Mögliche Abhängigkeit vom Maßstab und von der thematischen Auslegung der Karte/des Planes

Daten sind die Hauptkomponenten eines Geographischen Informationssystems. Kosten entstehen vor allem aus dem Einsatz von Personal für die Fortführung und Aktualisierungsarbeiten. Diese sollten für den wirtschaftlichen Einsatz eines Geographischen Informationssystems so gering wie möglich sein. Nur durch die Vermeidung beziehungsweise Minimierung von Redundanzen in den Daten, wie sie in der klassischen Kartographie oft vorkommen, können Zeit und Personal eingespart werden. Der Schlüssel zur Realisierung dieser Einspareffekte durch ein Geographisches Informationssystem ist die konsequente Umsetzung der Methoden der Normalisierung und der objektorientierten Programmierung

sowie die in Kapitel 2.5 noch zu beschreibende Integration in die betriebliche Ablauforganisation.

Dieser Ansatz führt zu einer Definition von Geographischen Informationssystemen, die durch ihre hohe Abstraktion der Datengrundlage weit über die Grenzen einer Karte oder eines Planes hinausgeht. Das heißt, die kartographischen Betrachtungen von Daten rücken in den Hintergrund. Somit sind Geographische Informationssysteme nicht die Weiterführung der klassischen Kartographie in digitaler Form, sondern Informationstechnologie, die durch eine raumbezogene Komponente erweitert wird [BRINKHOFF 05 (a)].

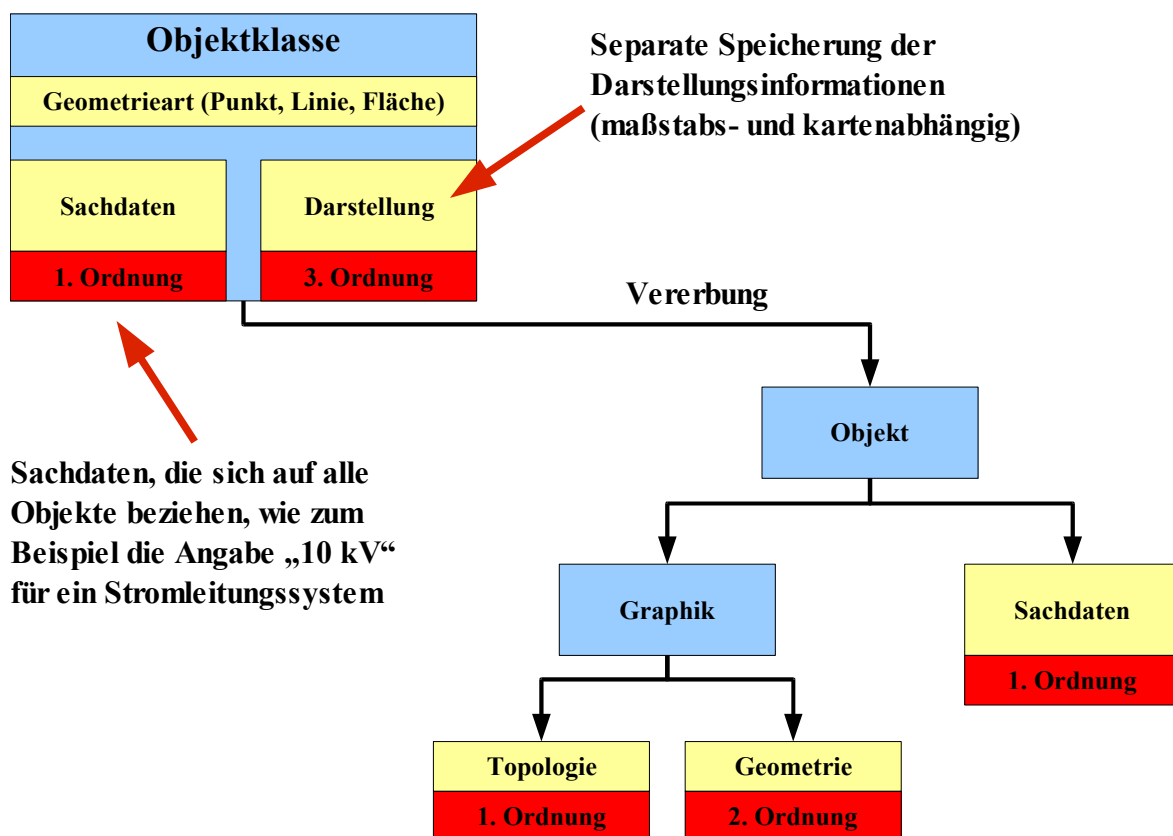


Abbildung 13: Theoretische Datenstruktur eines Geographischen Informationssystems

In der Praxis ist die Umsetzung dieses Ansatzes schwierig, da Daten nicht mehr in Karten oder Plänen „gespeichert“ werden, die für den Menschen einfach visuell aufgenommen und verstanden werden können. Die Informationen in einem Geographischen Informationssystem sind dagegen als Daten innerhalb eines komplexen Datenbanksystems (Abbildung 13) abgelegt.

Ausgangspunkt eines Konzeptes für die Entwicklung und Umsetzung eines GIS-Projektes

sollte somit nicht eine Karte oder ein Plan sein, welche nur eingeschränkte Modelle der Realität sind, sondern die reale Welt selbst. Dazu müssen aber Zusammenhänge und Logiken innerhalb des abzubildenden Raumes erkannt und für die Speicherung in der zuvor beschriebenen Weise aufbereitet und vereinfacht werden. Das so entwickelte Modell eines Ausschnittes der realen Welt basiert auf den Kriterien der Informationstechnologie und nicht auf denen der klassischen Kartographie. Letzteres wäre die Umsetzung und Anwendung von Methoden der CAD-Technologie. Eine erfolgreiche Realisierung eines GIS-Projektes kann nur durch die Abkehr von den kartographischen hin zur informationstechnischen Sichtweise durchgeführt werden [KLEMMER 04 (a)].

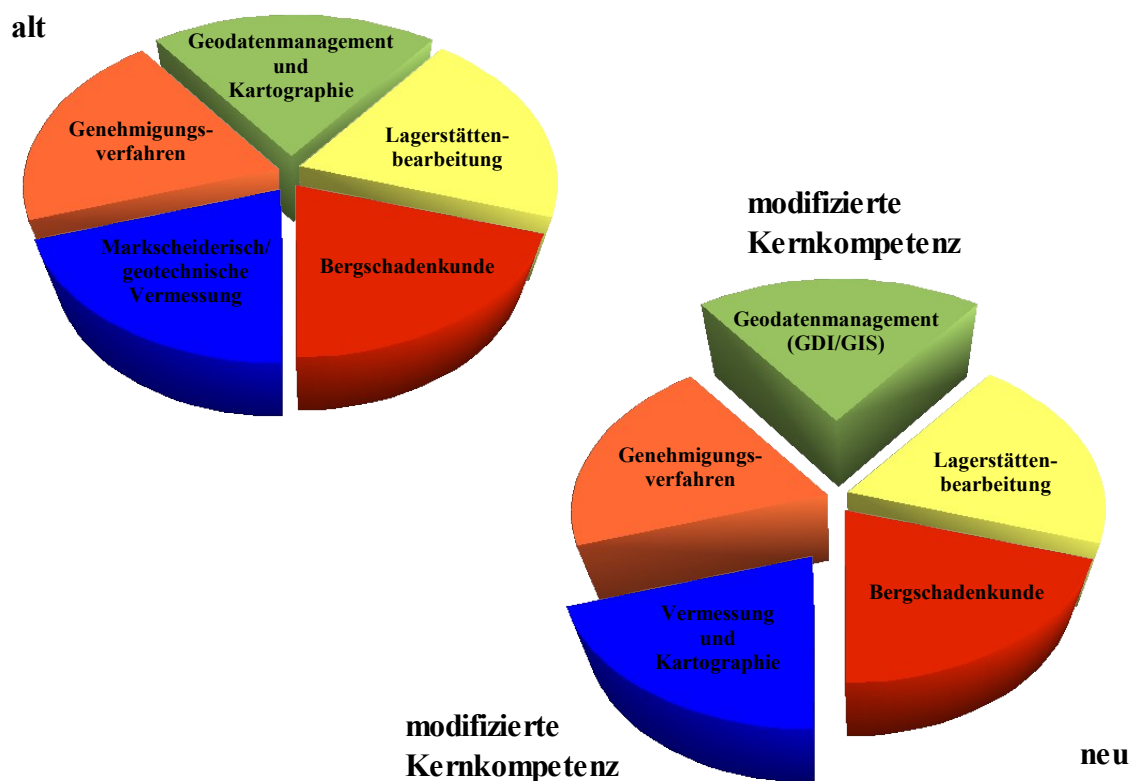


Abbildung 14: Anpassung der Lehre an die neue Definition von Geographischen Informationssystemen

In letzter Konsequenz erfordert die im Rahmen dieser Arbeit dargelegte Definition des Begriffes des Geographischen Informationssystems auch ein Umdenken in der Lehre. So müssen zum Beispiel die fünf so genannten Kernkompetenzen des *Instituts für Markscheidewesen* wie in Abbildung 14 neu strukturiert und die Lehrinhalte darauf abgestimmt werden [www.ifm.rwth-aachen.de].

2.3 Moderne GIS-Architektur und Geodateninfrastruktur

2.3.1 Allgemeine Aspekte

Grundlage jedes Geographischen Informationssystems sind Geodaten. Sie bilden den Ausgangspunkt für die Lösung räumlicher Fragestellungen. Die Geodateninfrastruktur (GDI; englisch: Spatial Data Infrastructure, SDI) stellt dem Anwender diese Daten zur Verfügung. Die kleinste Organisationseinheit einer Geodateninfrastruktur sind Geodaten, die auf einem lokalen Speichermedium liegen und ohne Verwaltung von Zugriffsrechten direkt über ein Geographisches Informationssystem angesprochen werden. Große Geodateninfrastrukturen von Regierungseinrichtungen und kommerziellen Anbietern von Geodaten basieren auf moderner Servertechnologie. Strukturen mit einem oder mehreren Applikationsserver(n), Proxyserver(n) und Webserver(n) sind Stand der Technik. Zusätzlich beinhalten diese Systeme auch Serverdienste zur Abrechnung von Benutzerentgelten.

Zwischen den zuvor beschriebenen Extremfällen liegen die Geodateninfrastrukturen, die Geodaten von Organisationseinheiten jeglicher Größe (kleine Ingenieurgesellschaften, Forschungseinrichtungen, Konzerne) im Intranet/Internet verwalten. Ziel dieser Geodateninfrastrukturen ist die Bereitstellung von aktuellen Datensätzen, die Versionierung und die Lösung von Konflikten bei gleichzeitigem Zugriff mehrerer Benutzer auf die gleichen Geodaten sowie die redundanzfreie Speicherung der Daten. Zusätzlich zu den zuvor genannten Aufgaben verwaltet die Geodateninfrastruktur mit ihren verschiedenen Komponenten auch den Datenzugriff und stellt die Dienste für eine mögliche Präsentation von ausgewählten Geodaten im Internet zur Verfügung.

Mit dem Begriff GIS-Architektur wird der Aufbau und die Verknüpfung von Betriebssystem, Anwendersoftware und der Geodateninfrastruktur beschrieben. Somit ist die Geodateninfrastruktur Teil der GIS-Architektur. Grundsätzlich können, wie Abbildung 15 (Seite 31) zeigt, moderne GIS-Architekturen unabhängig von der eingesetzten Software in zwei Gruppen unterteilt werden. Zur ersten Gruppe gehören die so genannten Desktop-GIS mit lokal gespeicherten Geodaten. Hierbei handelt es sich um Einzelplatzlösungen. Benutzer solcher Systeme sind vor allem GIS-Spezialisten, die in ihrem Aufgabenbereich alleine arbeiten. Ein Beispiel für einen solchen GIS-Spezialisten wäre der Markscheider eines mittelständischen Steine- und Erdenbetriebes, der für alle Tagebaue Lagerstättenberichte und die notwendigen Unterlagen für Genehmigungsverfahren anfertigt. Ein solcher GIS-

Anwender ist gleichzeitig auch Datenproduzent, Analyst und Systemadministrator in einer Person. Er ist somit für die Aktualisierung des Datenbestandes, für das Datenkonzept und für die Datensicherung verantwortlich. Bezogen auf Geographische Informationssysteme beinhaltet das Datenkonzept unter anderem die Objektklasse der gespeicherten Geoobjekte (Punkt, Linie, Fläche), deren Darstellungsparameter sowie die geographischen Attribute, wie zum Beispiel das Koordinatensystem, und die geographische Ausdehnung (Einschränkung des Darstellungsraumes auf ein bestimmtes Gebiet). Zusätzlich werden in dem Datenkonzept die Attributstabelle und die darin möglichen Einträge sachbezogener Informationen definiert (Abbildung 15, linke Seite).

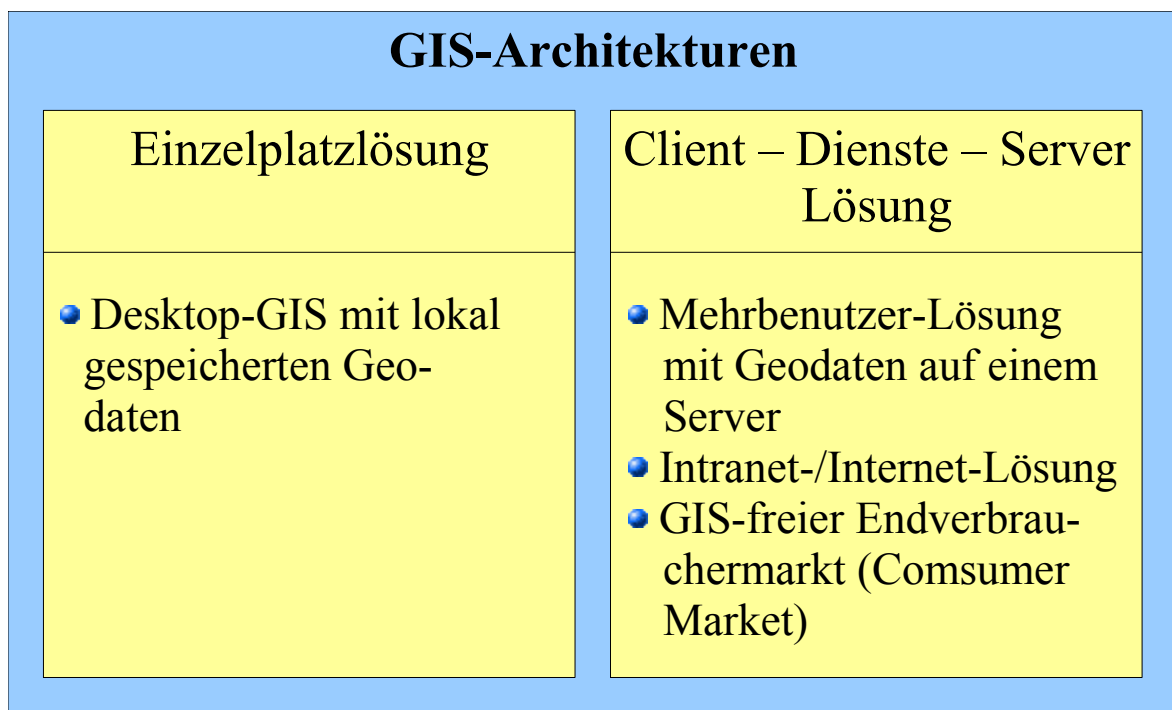


Abbildung 15: Einteilung von GIS-Architekturen

Die Konsequenzen der Anwendung von Geographischen Informationssystemen in einem geschlossenen System (Einzelplatzlösung), meist ohne vorhandenes Qualitätsmanagement, sind erhebliche organisatorische und wirtschaftliche Nachteile. In einer solchen GIS-Architektur kommt es sehr oft zu einer redundanten Datenhaltung. Damit sind Zeit- und Speicherplatzkapazitätsverluste sowie Probleme bei der Identifikation der Aktualität von Daten verbunden. Es entstehen statische Datensätze und Dateninkonsistenzen, da in Einzelplatzlösungen Geodaten selten komplett auf einen aktuellen Stand gebracht werden. Ebenso selten werden Daten- beziehungsweise Metadatenkonzepte sowie Detailbeschreibungen

von Prozessen und Analysen angefertigt, da es sich meistens um „gewachsene“ und nicht um geplante Systeme handelt. Somit sind viele Daten, zum Teil ganze Geographische Informationssysteme, nach Beendigung des entsprechenden Projektes oder nach Abwanderung des Fachpersonals nicht mehr verwendbar. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht handelt es sich hierbei um einen Totalverlust.

Die zuvor beschriebenen gravierenden Nachteile einer monolithischen Systemlösung sowie die gewachsene Komplexität der Geographischen Informationssysteme spiegeln sich in den modernen GIS-Architekturen wider (Abbildung 15, rechte Seite). Es handelt sich dabei um Mehrbenutzerlösungen. Die Anforderungen, die zur Lösung von räumlichen Fragestellungen nötig sind, sind in der Vergangenheit stetig gestiegen und werden heute zumeist von mehreren Spezialisten in einer interdisziplinären Gruppe zusammen bearbeitet. Die Mitglieder solcher Gruppen (GIS-Anwender, Clients) greifen alle auf einen zentral abgelegten Geodatenbestand auf einem Server zurück. Auf diesem werden auch sämtliche Ergebnisse sowie Zwischenergebnisse abgelegt. Über Gruppenrichtlinien sind das Daten- und Metadatenkonzept sowie die Verantwortlichkeiten für das Vorhalten aktueller Daten festgelegt.

Als mögliche Benutzer werden der *Fat Client* und der *Thin Client* unterschieden. Ein *Fat Client* ist zumeist ein Anwender, der lokal auf eine GIS-Software zugreifen kann und im einfachsten Fall nur die Geodaten auf dem Geodatenserver abrufen und seine Analyseergebnisse dort anderen Anwendern im Rahmen von Gruppenarbeit zur Verfügung stellt. Auf Seiten des Servers werden in diesem Fall das von der Gruppe entwickelte Datenkonzept verwaltet sowie das Datensicherungskonzept umgesetzt. Bei größeren Gruppen kann eine Benutzerverwaltung hinzukommen. Bis auf die zuletzt genannte Benutzerverwaltung handelt es sich bei der Kommunikation zwischen dem *Fat Client* und dem Geodatenserver um einen reinen Datentransfer mit den damit verbundenen Startroutinen. Nur die Benutzerverwaltung wird, je nach Definition und technischer Auslegung, als Dienst eingestuft. Zusammengefasst ist die zuvor beschriebene GIS-Architektur als eine Desktop-GIS-Lösung anzusehen, bei der die Geodaten im Unterschied zu einer „reinen“ Desktop-GIS-Lösung zentral auf einem Server gespeichert werden. Somit ist das Arbeiten innerhalb einer Gruppe ohne redundante Speicherung der Daten und mit den damit verbundenen Problemen möglich. Die Erstellung eines Daten- und Metadatenkonzeptes sowie eines Datensicherungskonzeptes ist auch bei kleinen Benutzergruppen erforderlich. Somit sind die

Ergebnisse auch nach der Beendigung des Projektes sowie für neue Gruppenmitglieder nachvollziehbar. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht können auf diese Weise die Investitionen gesichert und bei Abwanderung von Personal der Verlust von Fachwissen vermieden werden.

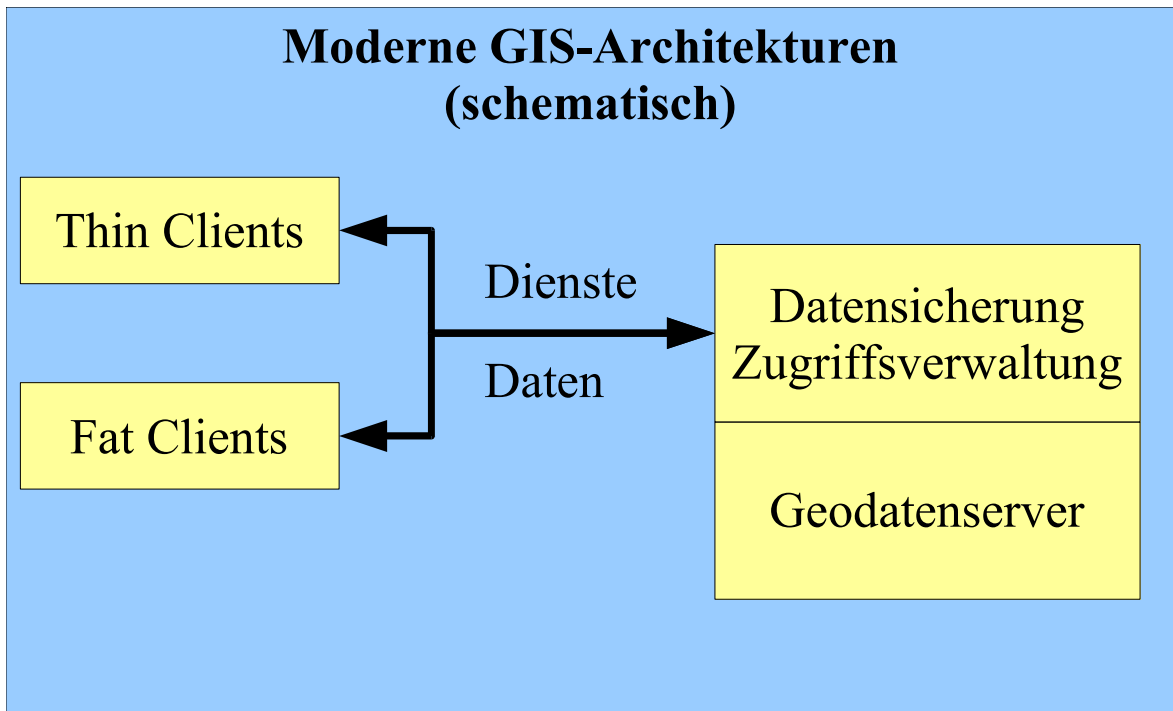


Abbildung 16: Mehrbenutzerlösung mit moderner GIS-Architektur

Der Übergang zu größeren Systemarchitekturen ist fließend. Die bei kleinen Gruppen obligatorische Benutzerverwaltung wird bei großen Gruppen, die über ein organisations-eigenes Intranet auf den Geodatenserver zugreifen, unumgänglich. Hiermit können Zugriffsrechte für die Gesamtheit aller Benutzer oder individuelle Rechte für einzelne Anwender vergeben werden. So ist es möglich, für bestimmte grundlegende Daten, wie zum Beispiel die aktuellen Geodaten aus einer Feldmessung, volle Lese- und Schreibrechte nur Spezialisten einzuräumen. Alle anderen Gruppenmitglieder haben auf diese Geodaten, die zumeist die Basis jeder Projektarbeit bilden, nur Leserechte. Die auch für kleine Gruppen anwendbare Versionenverwaltung ist bei großen Gruppen eine grundlegende Servertechnologie. Sie sichert die korrekte Speicherung von Daten, wenn mehrere Anwender zur gleichen Zeit auf einen Datensatz zugreifen und löst die damit verbundenen systeminternen Konflikte.

Ab einer bestimmten Größe der Benutzergruppe, in die auch Fachleute, die nicht unbedingt

einen kompletten GIS-Arbeitsplatz brauchen, eingebunden werden, werden GIS-Architekturen mit *Fat Client* und *Thin Client* eingesetzt (Abbildung 16). Ein *Thin Client* hat gegenüber einem *Fat Client* kein Desktop-GIS lokal auf seinem Rechner, sondern greift über einen Standard-Web-Browser auf die Geodaten zurück. Ein Beispiel hierfür ist ein Anwender aus der Rechtsabteilung eines Bergbauunternehmens, der über die firmeninterne Geodateninfrastruktur Informationen über Liegenschaften innerhalb des aktuellen Bewilligungsfeldes sucht. Er braucht dazu keinen GIS-Arbeitsplatz, wenn er über das firmeneigene Intranet auf die benötigten Informationen in aufbereiteter Form zugreifen kann.

Grundlage eines solchen Systems sind Dienste, die vor dem eigentlichen Serverzugriff aktiviert werden. Sie bilden das Bindeglied zwischen dem GIS-freien Endverbraucher und den Geodaten. Die Dienste können dem Anwender im einfachsten Fall eine auf Anfrage erfolgende Ergebnispräsentation zum Beispiel in Form einer digitalen Karte zukommen lassen, die dann lokal gespeichert und ausgedruckt werden kann. Dem gegenüber stehen Serverdienste, die dem Anwender vollwertige GIS-Funktionen, wie das Verschneiden von Geometrien, zur Verfügung stellen. Solche Serverdienste können dem Anwender im Extremfall auch Schreibrechte auf die Geodaten zur Verfügung stellen.

Die Standardlösung für *Thin Client*-Server-Architekturen ist dadurch gekennzeichnet, dass dem GIS-freien Endverbraucher minimale GIS-Funktionen wie das Zoomen, die Ermittlung von Distanzen oder die Abfrage von Attributen eines Geoobjektes zur Verfügung gestellt werden. In den seltensten Fällen ist eine Online-Pflege des Geodatenbestandes in das System implementiert. Die Datenpflege wird dem GIS-Spezialisten überlassen [CHRISTL 06 (a)]. Dazu kommen weitere Dienste aus dem Bereich der *Fat Clients*, wie zum Beispiel die Zugriffsverwaltung.

Neben einer Verbindung zur Geodateninfrastruktur über ein unternehmensinternes Intranet oder über das Internet und der entsprechenden, lokal installierten Anwendersoftware, wie einem Desktop-GIS (*Fat Client*) oder einem handelsüblichen Web-Browser (*Thin Client*), müssen folgende Servertechnologien für einen störungsfreien Betrieb des beschriebenen Systems eingesetzt werden:

- Applikationsserver mit Geodateninfrastruktur inklusive einem Metadatenkonzept

- GIS-Dienste
- Standard Internet-Web-Dienste
- Firewall und Proxyserver-Dienste
- Datenbankserver (zum Beispiel Structured-Query-Language (*SQL*)-Server)
- Datensicherungskonzept

Zumeist sind die zuvor genannten Dienste zusammen auf einem Server installiert. Abbildung 17 zeigt zusammenfassend die unterschiedliche Auslegung der Dienste von Systemen mit *Fat Client* und *Thin Client*.

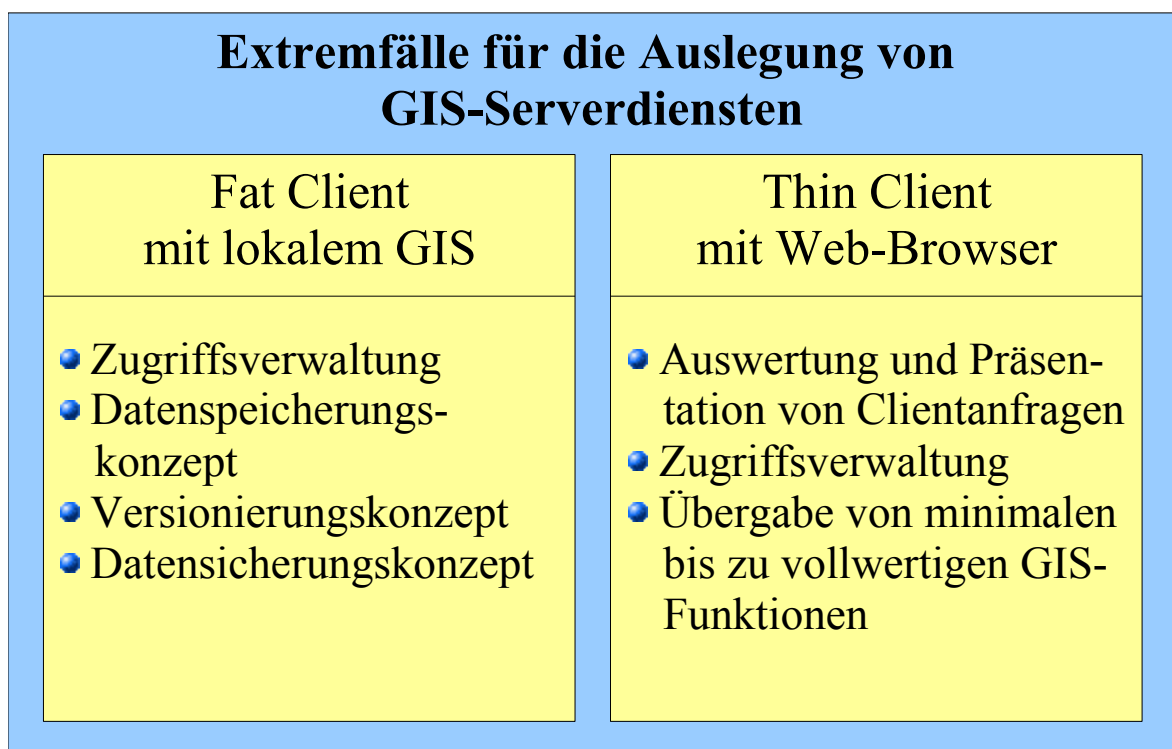


Abbildung 17: Auslegung von GIS-Serverdiensten

Die Konsequenzen der Entwicklung weg von einer monolithischen GIS-Architektur hin zu einer auf dem Intranet/Internet basierenden Technologie bestehen in gravierenden Veränderungen der Geodateninfrastruktur und einem veränderten Anforderungsprofil an die Mitarbeiter. Der Endverbraucher braucht nicht, wie bei einer GIS-Desktop-Lösung, Kenntnisse in dem Bereich Geographische Informationssysteme oder Programmierung zu besitzen. Auf der Seite des Datenlieferanten (intern oder extern) müssen neben GIS-Spezialisten, die die Geodateninfrastruktur entwickeln und pflegen, auch Spezialisten zur Programmierung der Schnittstellen und Dienste vorhanden sein. Dazu kommen Datenbankspe-

zialisten und Betriebssystem-/Serveradministratoren. Diese Aufgaben können selten von derselben Person wahrgenommen werden. Daraus ist ersichtlich, dass für die Entwicklung und Wartung einer modernen GIS-Architektur eine Gruppe von Spezialisten eng zusammenarbeiten muss. Eine umfassende, standardisierte Dokumentation in jedem Teilbereich ist die Basis einer solchen interdisziplinären Zusammenarbeit.

Der Zugriff auf Geodaten über das Internet mit Hilfe von Serverdiensten ist zum größten Teil unabhängig von der lokal installierten Software. Es existieren mehrere internationale Standards für Operationen innerhalb einer Geodateninfrastruktur und deren Kommunikation mit Dritten. Der Standard, der weltweit am meisten verwendet und von allen großen Anbietern von kommerzieller Software und von Open-Source-Produkten akzeptiert wird, ist der offene Standard des *Open Geospatial Consortium (OGC)*. Hier werden die Schnittstellen zur Übergabe von Geodaten und Grundfunktionen sowie grundsätzlichen Ressourcen für Serverdienste definiert [STRAUB/DONAUBAUER/MENAR 2004 (a)].

Im folgenden Kapitel werden anhand der verschiedenen Softwarepakete des GIS-Anbieters *ESRI* (Redlands, USA) die in diesem Kapitel beschriebenen GIS-Architekturen mit ihren Einzelkomponenten entwickelt.

2.3.2 *ESRI*-GIS-Architekturen

Die Herstellerfirma *ESRI* präsentiert mit der Produktfamilie *ArcGIS* in der neusten Version 9.1 ein modular aufgebautes GIS. Mit diesem können GIS-Architekturen von den beschriebenen Einzelplatzlösungen bis zu Systemen für die Verbreitung von Geodaten im Internet entwickelt werden. Dazu gehört auch die Bereitstellung von Serverdiensten für die Übertragung von Daten und von systemunabhängigen GIS-Funktionalitäten an den lokal installierten Web-Browser [www.esri-germany.de].

Die Basis der *ESRI*-Produktpalette bilden die drei in sich geschlossenen und auf einander aufbauenden Geographischen Informationssysteme *ArcView*, *ArcEditor* und *ArcInfo*. Alle drei Produkte bestehen ihrerseits jeweils aus den drei Komponenten *ArcMap*, *ArcCatalog* und *ArcToolbox*.

Bei *ArcMap* handelt es sich um die zentrale Anwendung zur Datenerfassung und Analyse

von Geodaten sowie zur Erstellung von Karten. *ArcCatalog* ist ein auf die Bearbeitung von Geodaten spezialisiertes Datenverwaltungswerkzeug. In diesem können geographische Datenbanken (Kurzform: Geodatenbank) erstellt und die Eigenschaften von Geodaten definiert werden. Die Erstellung und Fortführung von Metadaten ist ein weiterer Schwerpunkt dieser Anwendung. Die *ArcToolbox* ist eine Sammlung aller wichtigen geographischen, geometrischen und softwareinternen Operationen zur Bearbeitung von Geodaten. Die Palette der angebotenen Werkzeuge wird schrittweise bei den Produkten *ArcEditor* und *ArcInfo* erweitert. Abbildung 18 zeigt die Eingliederung dieser drei Geographischen Informationssysteme in das Gesamtkonzept der Produktpalette der Firma *ESRI*.

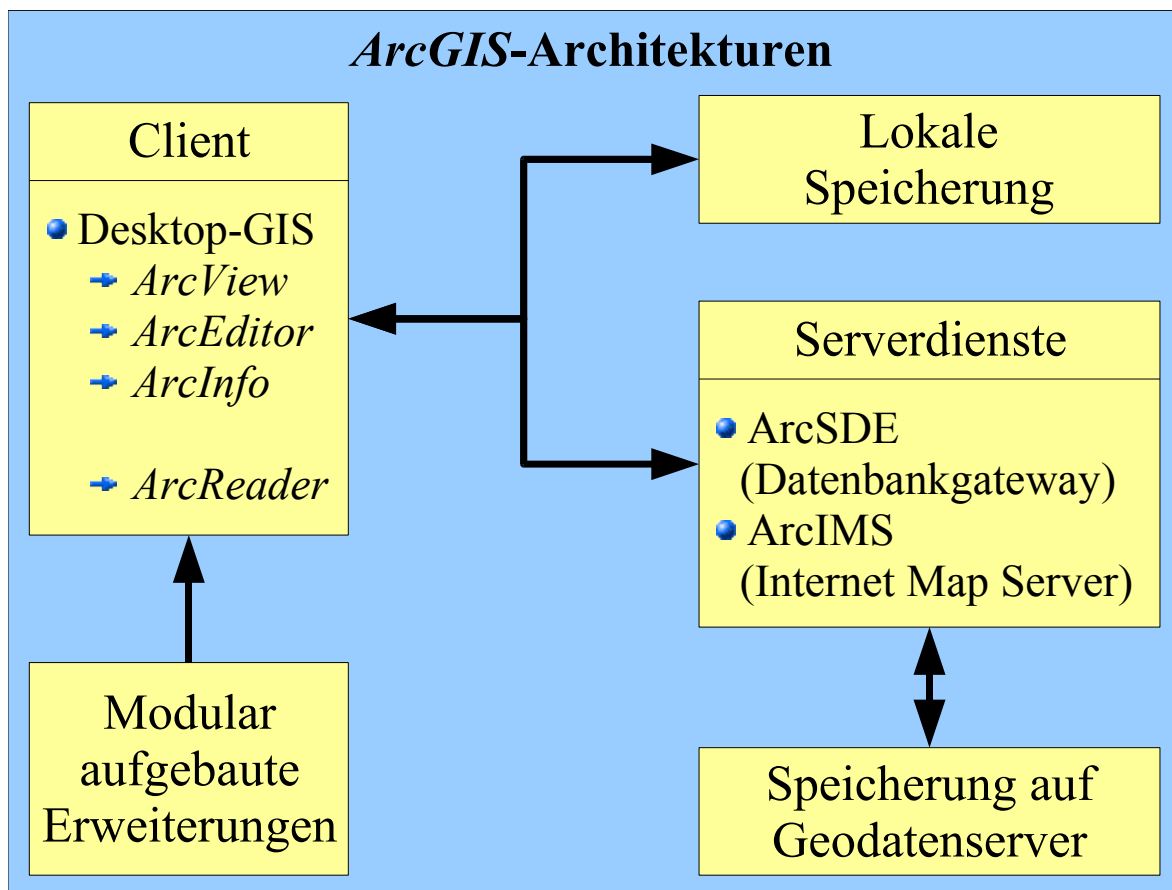


Abbildung 18: Schematische Übersicht über die ESRI-GIS-Architektur

Zusätzlich steht mit *ArcReader* ein kostenloser *Viewer* zur Verfügung, eine Anwendung mit der Geodaten wie in *ArcMap* betrachtet werden können. Mit dieser Anwendung können Geodaten, die zuvor mit dem Erweiterungsmodul *ArcGIS Publisher* konfiguriert worden sind, betrachtet, Layer ein- und ausgeschaltet und Attribute von Geobjekten abgefragt

werden. Ist über *ArcGIS Publisher* ein Koordinatensystem definiert, können Distanzen innerhalb der Geodaten ermittelt werden. Eine Bearbeitung der Geodaten ist hier nicht möglich.

Der Begriff *Geodatenmodell* beschreibt die Art, wie ein Geographisches Informationssystem Geodaten speichert und welche Datentypen unterstützt werden. *ArcGIS* kann neben der Abbildung raumbezogener Informationen in Form von Vektor- und Rasterdaten auch viele andere Datentypen, wie zum Beispiel das *dfx-/dwg-Format* der Firma *Autodesk (AutoCAD)*, darstellen und bearbeiten. Alle Datentypen können entweder als separate Datei (Format: **.shp*) gespeichert oder in einer Geodatenbank (Format: **.mdb*) gesichert werden [LIEBIG/MUMMENTHEY 05 (b)].

Bei dieser Geodatenbank handelt es sich um ein relationales Datenbanksystem (*RDBMS – Relational Database Management System*). Damit stehen Anwendern neben der Gesamtheit der GIS-Operationen auch die Funktionalitäten von relationalen Datenbanksystemen zur Bearbeitung von Geodaten zur Verfügung. Da relationale Datenbanksysteme durch die meisten kommerziellen Standardsoftwares bearbeitet werden können und viele Geographische Informationssysteme heute dieses Speichersystem benutzen, bietet diese Art der Datenspeicherung zudem einen Schutz der getätigten Investitionen. Beim Wechsel zu einem Geographischen Informationssystem eines anderen Herstellers kann auf die vorhandene Geodatenbank zurückgegriffen werden. Auch können relationale Datenbanksysteme, bedingt durch ihre weite Verbreitung, meist in die bestehende betriebliche Infrastruktur integriert werden. Beispielsweise können bei einem Liegenschaftskataster, dessen Geodaten auf einem Server gespeichert sind, die Geometrien über eine Anwendung der *ArcGIS* Produktfamilie in das System eingegeben werden. Die Attribute des jeweiligen Geoobjektes können dagegen über eine Standarddatenbankanwendung separat nachgetragen werden. Eine Aufteilung der Arbeitsprozesse bei der Aufnahme der Geoobjekte in zwei voneinander unabhängigen Schritten erhöht die Effektivität. An einem GIS-Arbeitsplatz werden die Geoobjekte digitalisiert und deren Geometrien bearbeitet, gleichzeitig können an einem zweiten GIS-freien Arbeitsplatz die Attribute wie Katasternummer und Grundbesitzer in das System eingegeben werden. Grundvoraussetzung für eine solche Arbeitsteilung ist eine Mehrbenutzer- und Versionierungstechnologie. Im Rahmen der zuletzt genannten Technologie zur Speicherung und zum Nachhalten unterschiedlicher Versionen eines Datensatzes

können Teildatenbestände ausgelagert (temporärer Checkout) werden. So können bestimmte Geodaten von der originalen Geodatenbank entkoppelt, dann einer Weiterverarbeitung unterzogen und bei Erfolg der Analyse verlustfrei wieder in die Geodatenbank eingegliedert werden.

Eine weitere Möglichkeit, Geodaten über den *Internet Map Server (ArcIMS, Serverdienst)* von *ESRI* Dritten zur Verfügung zu stellen, ist die Einbindung dieser Daten in eine Intranet- beziehungsweise Internetseite. Dies kann auf Basis der beiden Programmiersprachen *HTML* und *Java* und den entsprechenden GIS-Diensten/Schnittstellen durchgeführt werden. Umgekehrt können auch externe Geodatenquellen, wie zum Beispiel Geodatenserver von Regierungseinrichtungen oder kommerzielle Geodatenanbieter, in die eigene Geoinfrastruktur über den *ESRI Internet Map Server* eingebunden werden. Die Datenherkunft ist somit entweder ein anderer *ArcIMS* oder ein *WMS/WFS-Serverdienst* nach *OGC-Spezifikation*.

Die Einbindung von Geodaten in ein *Read-Only-Dokument (PMF-Format)* für die Präsentation mit dem *ArcReader* wird über die *ArcGIS*-Erweiterung *ArcGIS Publisher* während der Erstellung der *PMF*-Datei festgelegt. Dabei ist die *PMF*-Datei ebenso wie das *MXD*-Standard-*ESRI*-Dateiformat nur ein Container für die Verknüpfung der Datenquelle, der Layer- und der graphischen Gestaltungsoptionen. In beiden Dateiformaten werden keine realen Daten gespeichert. Über den *ArcGIS Publisher* können dem Anwender von *ArcReader* folgende Verknüpfungen zur Verfügung gestellt werden:

- Verknüpfung mit lokal gespeicherten Geodaten
- Verknüpfung mit auf CD gespeicherten Geodaten (zum Beispiel zur Weitergabe von Daten an Dritte ohne den Zugriff auf die eigene Geodateninfrastruktur zu gewähren)
- Verknüpfung mit einem Geodatenserver mit entsprechender Netzfreigabe
- Konstruktion eines Internetlayers innerhalb der *PMF*-Datei

Das Datenbankgateway *ArcSDE* ist die Anbindung von *ArcGIS* an Datenbanken und somit die Schnittstelle zwischen Geodaten in relationalen Datenbanken (*RDBMS*) und Geographischen Informationssystemen. Dieser Serverdienst ist mit seinen Startroutinen für eine zentrale Datenhaltung und der Versionenverwaltung der zentrale Baustein in einer Mehrbenutzer-Architektur. Der Zugriff auf die Geodatenbank erfolgt über *SQL*-Statements

(*Structured Query Language*). *ArcSDE* bietet zwei Varianten für die Verbindung zwischen dem Geographischen Informationssystem und den Geodaten auf einem Geodatenserver. Bei einem direkten Zugriff (*direct connect*) greift der Anwender über sein Geographisches Informationssystem direkt auf die Daten des Servers zu. Die Zugriffsrechte sind nach den lokal installierten Lizenzen gestaffelt. Nur lesenden Zugriff bekommen Anwender mit einer *ArcView*-Lizenz. Veränderungen oder Zwischenergebnisse können nur auf lokalen Speichermedien abgelegt werden. Über *ArcEditor* und *ArcInfo* ist dagegen auch eine Speicherung der veränderten Geodaten auf dem Server möglich. Bei dieser GIS-Architektur werden alle notwendigen GIS-Operationen lokal auf dem Rechner des Anwenders durchgeführt.

Die zweite Art des Datenzugriffs innerhalb der Geodateninfrastruktur ist die Einrichtung eines Applikationsservers mit Hilfe von *ArcSDE*. Dieser Applikationsserver ist als Teil der Geodateninfrastruktur üblicherweise auf dem gleichen Rechner wie die Geodatenbank installiert. Bei dieser GIS-Architektur greifen alle Anwender mit Zugangsberechtigung über den *ArcSDE*-Dienst (Applikationsserver) auf die Geodaten zu. Eine Abstufung von Lese- und Lese/Schreibrechten entfällt bei dieser Systemlösung. Die eigentliche Stärke der zuletzt beschriebenen GIS-Architektur sind die Konfigurations- und Tuningmöglichkeiten, die ein solcher Applikationsserver zur Verfügung stellt. Die Subroutinen (Subdienste) von *ArcSDE* ermöglichen ein Splitting von GIS-Operation. Bei einer solchen GIS-Architektur müssen nicht alle GIS-Operationen mit dem lokal installierten Geographischen Informationssystem durchgeführt werden. Es besteht die Möglichkeit, Operationen auf den Geodatenserver auszulagern. Somit brauchen Geodaten, die für die Berechnungen, aber nicht für das Ergebnis gebraucht werden, nicht mehr zum lokalen Rechner transferiert werden. Durch die Entwicklung einer solchen intelligenten GIS-Architektur können Client-Server-Systeme mit höchster Performance und optimaler Netzauslastung geschaffen werden.

Mit dem Dienst *ArcIMS* kann mit Hilfe der zuvor beschriebenen *ESRI*-Produkte ein voll funktionierendes Internet-GIS installiert werden. Damit können Anwendern, die über kein lokal installiertes Geographisches Informationssystem verfügen, über ein Intranet beziehungsweise das Internet Geodaten und Analysen von Geodaten in Form von digitalen Karten bis zu interaktiven Anwendungen zur Verfügung gestellt werden. Das Anbieten einer interaktiven GIS-Anwendung über *ArcIMS* ist der komplexeste Fall einer Client-Ser-

ver(Dienste)-Architektur. Der Endbenutzer braucht nur einen Zugang zum Geodatenserver und einen Standard-Web-Browser. Die Anbindung erfolgt auf *HTML*- oder *Java*-Basis. Die Kopplung an vorhandene *ArcGIS*-Produkte ist möglich. Neben der direkten Verknüpfung mit dem Geodatenserver über die Vergabe von Zugangsrechten kann auch eine Präsentation von Geodaten über eine Internetseite, wie zum Beispiel die bekannten Routenplaner, im Internet erfolgen [HOMOET/SCHMITTWILKEN/PLÜMER 05 (a)].

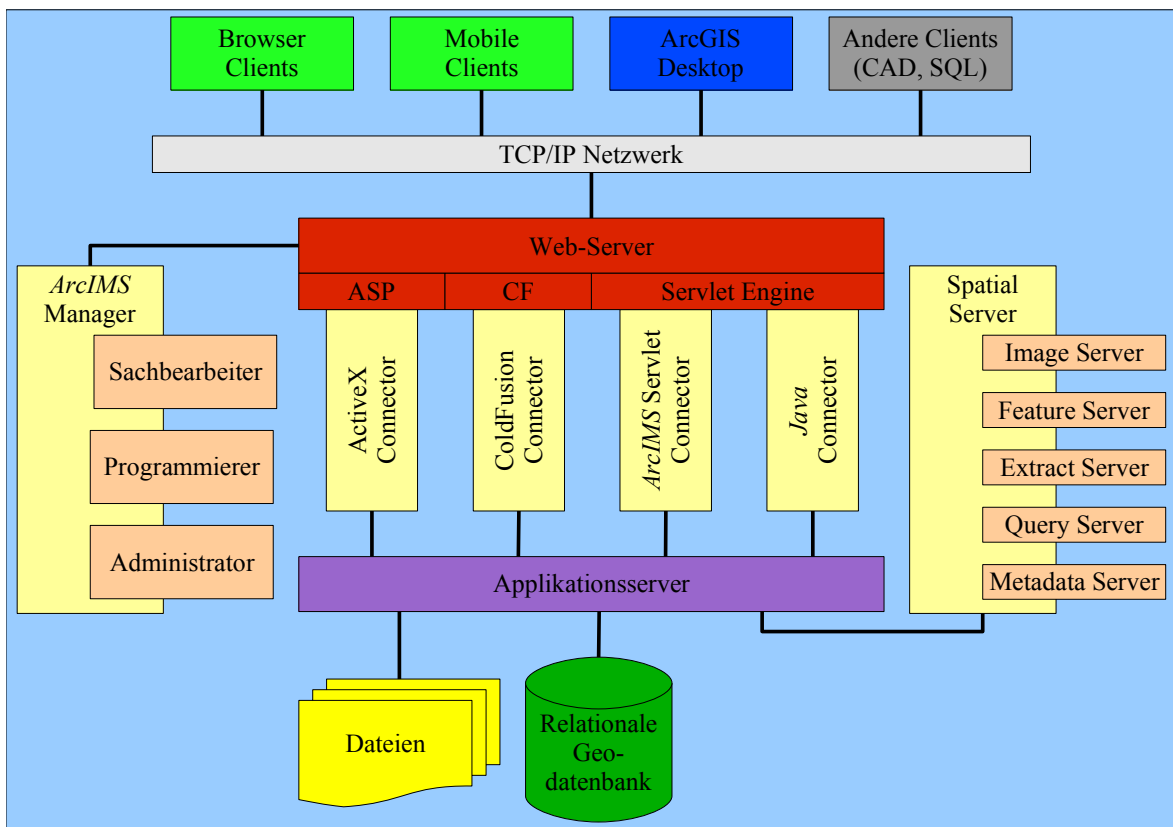


Abbildung 19: ESRI Internet-GIS-Architektur

Ein weiterer Vorteil von *ArcIMS* ist die Möglichkeit, einen Metadatenserver zu entwickeln. So können auch in einem nur organisationsinternen System Geodaten nach bestimmten Suchkriterien selektiert werden [DÖRFFEL/WIEDMER 04 (a)].

Die Abbildung 19 zeigt eine skizzenhafte Dokumentation einer *ESRI*-GIS-Architektur mit Internetanschluss und Metadatenserver sowie die notwendigen Installationen, damit die Geodaten auch von einem GIS-freien Endbenutzer verwendet werden können. Dabei stehen die verwendeten Abkürzungen für:

ASP: Active Server Pages, Webserver-Erweiterung von Microsoft

Grundlagen

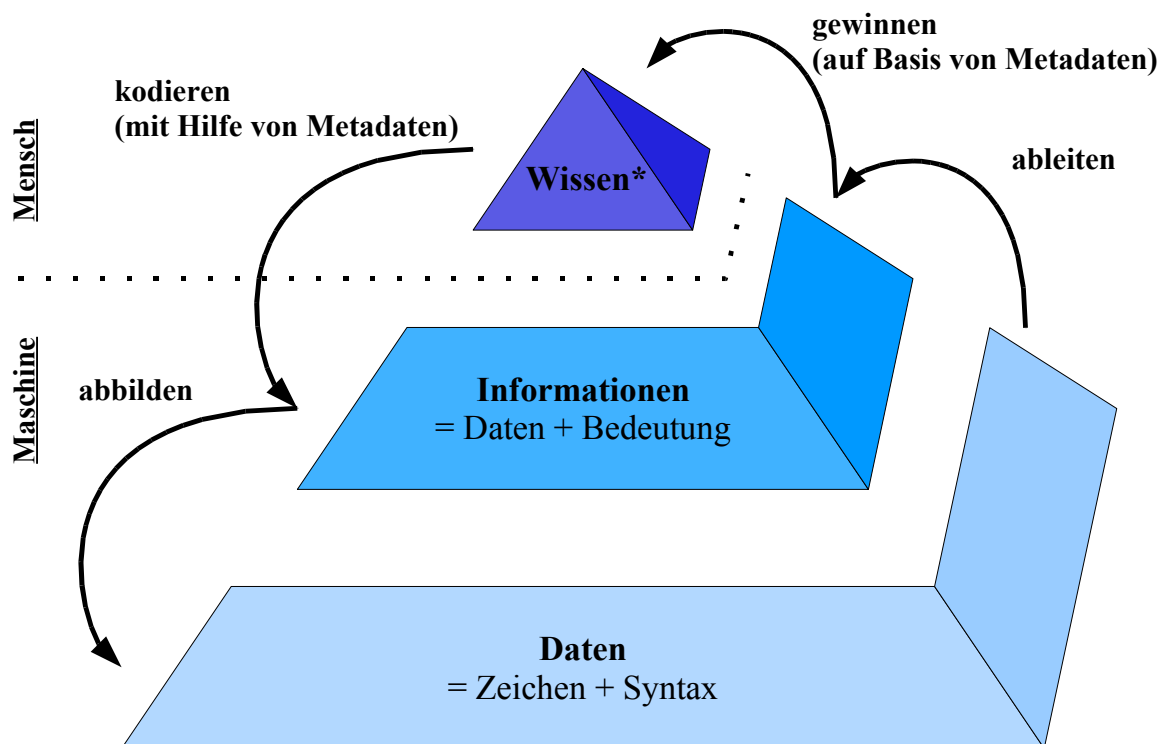
- ActiveX:* Softwarekomponentenmodell von *Microsoft* für aktive Inhalte zur Erweiterung der *COM*-Standards (*Component Object Model*)
- ColdFusion:* Technologie zur Erstellung von Applikationen, die auf einem ColdFusion Application Server, ColdFusion Markup Language (CFML) und geeigneter Entwicklungsumgebung (zum Beispiel die Open-Source-Framework Eclipse) basiert
- Servlet Engine:* Definiert und steuert Java-Klassen, die innerhalb eines Serversystems Anfragen von Clients empfangen und beantworten
- Image Server:* Dienst für die Übersetzung der kartographischen Symbole für eine Abbildung (Transfer einer digitalen Karte in *JPEG*-, *PNG*- oder *GIF*-Format)
- Feature Server:* Dienst für die Übertragung von Vektordaten
- Extract Server:* Download-Dienst für *ESRI*-Formate (zum Beispiel *Shapefiles*)
- Query Server:* Konfigurationsdienst für die Entwicklung von interaktiven Datenabfragewerkzeugen
- Metadata Server:* Dienst für die Entwicklung eines Metadaten-servers

Im folgenden Kapitel werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Integration und Standardisierung von Metadatenkonzepten erörtert und deren internationale Grundlagen anhand des Metadatenstandards Dublin Core Element Set beschrieben.

2.4 Metadatenkonzepte

2.4.1 Generierung von neuem Wissen aus vorhandenen Daten

In der heutigen Informations- und Kommunikationsgesellschaft gehört akkumuliertes Fachwissen mehr noch als in der Vergangenheit neben Arbeit, Boden und Kapital als vierte Ressource zu den betriebswirtschaftlich bedeutenden Produktionsfaktoren. Wirtschaftlicher Erfolg ist nur durch dauerhafte Speicherung von bekannten und Gewinnung von neuem Wissen zu sichern. Dieses Wissen liegt in vielen Bereichen in zwei voneinander unabhängigen und sehr unterschiedlichen Formen vor. Zum einen existiert Know-how als gespeicherte Daten und Dokumentationen zum Beispiel in Form von Abschlussberichten oder Detailbeschreibungen von Berechnungen und Analysen. Dieses gespeicherte Wissen ist das explizite Wissen. Dagegen kann im ungünstigsten Fall ein Großteil des betrieblichen Know-how im so genannten implizierten Wissen verankert sein. Dieses Wissen basiert auf dem individuellen Erfahrungsschatz einzelner Mitarbeiter.



* = Informationen + Fähigkeit, diese zu nutzen

Abbildung 20: Wissenspyramide nach [HENNIG 04 (a)]

Abbildung 20 zeigt schematisch die aufeinander aufbauenden Ebenen, über die Wissen definiert wird. Grundlage jedes Wissens sind Daten in jeglicher Beschaffenheit. So sind auch

Zeichenkolonnen in einer ASCII-Datei Daten im Sinne der Abbildung 20. Erst wenn die Bedeutung der einzelnen Zeichen als Träger der Daten bekannt ist, erschließt sich in einem weiteren Schritt deren Informationsgehalt. So ist es wichtig, bei der Bearbeitung der Daten zu erkennen, dass zum Beispiel Semikolons als Trennzeichen dienen und dass es sich bei den ersten beiden zehnstelligen Zahlenfolgen (inklusive drei Nachkommastellen) um geographische Koordinaten handelt. Nachdem Rechts- und Hochwert identifiziert sind, kann die dritte sechsstellige Zahl (wieder mit drei Nachkommastellen) als Höhenwert interpretiert werden. Die Information der Datei ist durch die Kenntnis der Bedeutung jedes einzelnen Zeichens erschlossen worden. Das zuvor beschriebene Erkennen von Informationen aus Daten funktioniert bei einer geeigneten und einfachen Datenstruktur, wie zum Beispiel bei der Auflistung von geographischen Koordinaten, für Fachpersonal intuitiv. Bei komplexen Daten und bei einer unübersichtlichen Menge an Daten ist dies nicht zwingend gegeben.

Wissen erschließt sich dagegen nur im seltensten Fall alleine durch die Sammlung von Informationen. Erst die Fähigkeit, die Informationen zu nutzen, ist die Grundvoraussetzung, um aus den vorliegenden Daten neues Wissen abzuleiten. In dem zuvor beschriebenen Beispiel der ASCII-Datei müssen Zusatzinformationen für die Deutung der darin verankerten Informationen herangezogen werden. Beispielsweise spielt das verwendete Koordinatensystem (hier Gauß-Krüger-Koordinaten) eine wichtige Rolle. Weiterhin kann aus der Struktur und den regelmäßigen Werten für Rechts- und Hochwert in Form eines 25 Meter-rasters mit dem entsprechenden Hintergrundwissen darauf geschlossen werden, dass es sich hierbei um die Grundlage eines digitalen Geländemodelles handelt. Durch die Fähigkeit, die Daten und Informationen zu verstehen und die Fähigkeit der technischen Umsetzung, zum Beispiel durch die zweidimensionale oder dreidimensionale Visualisierung und Analyse, entsteht Wissen. Durch Verschneidung mit anderen Daten kann neues Wissen über räumliche Zusammenhänge gewonnen werden.

Die Fähigkeit, Informationen richtig zu nutzen, ist in vielen Fällen an den Erfahrungsschatz des bearbeitenden Fachpersonals gebunden. Bei der Abwanderung dieser Mitarbeiter, Wechsel der verwendeten Software oder beim Übergang auf eine neue (Betriebs-)Systemplattform kann die Weiternutzung bestehender, aber nicht ausreichend dokumentierter Daten, Informationen und Wissen beeinträchtigt werden. Know-how kann dadurch kom-

plett verloren gehen [HENNIG 04 (a)].

Es besteht in vielen Bereichen der Bedarf, die Fähigkeit zur Nutzung von Informationen und somit das Speichern, Pflegen und Aufbereiten von bestehendem Wissen selbst zu dokumentieren. Die aktuellen Bemühungen des Unternehmens *Deutsche Steinkohle AG* und der *Bezirksregierung Arnsberg*, den deutschen Steinkohlenaltbergbau, aufzubereiten sind ein Beispiel für die Entstehung von enormen Kosten bei der Wiederherstellung von verloren gegangenen Informationen und Wissen. Durch die Nichtverwendung von analogen Daten in den Archiven sind so genannte Datenfriedhöfe entstanden, die erst durch die Übersetzung in digitale Form wieder nutzbar sind. Bei dieser Datentransformation können weitere Informationen und Wissen verloren gehen. Zudem treten immer wieder Informationslücken durch den Verlust von Originalkartenwerken auf, die heute nicht mehr durch äquivalente Unterlagen ersetzt werden können [FUCHS 05 (a)].

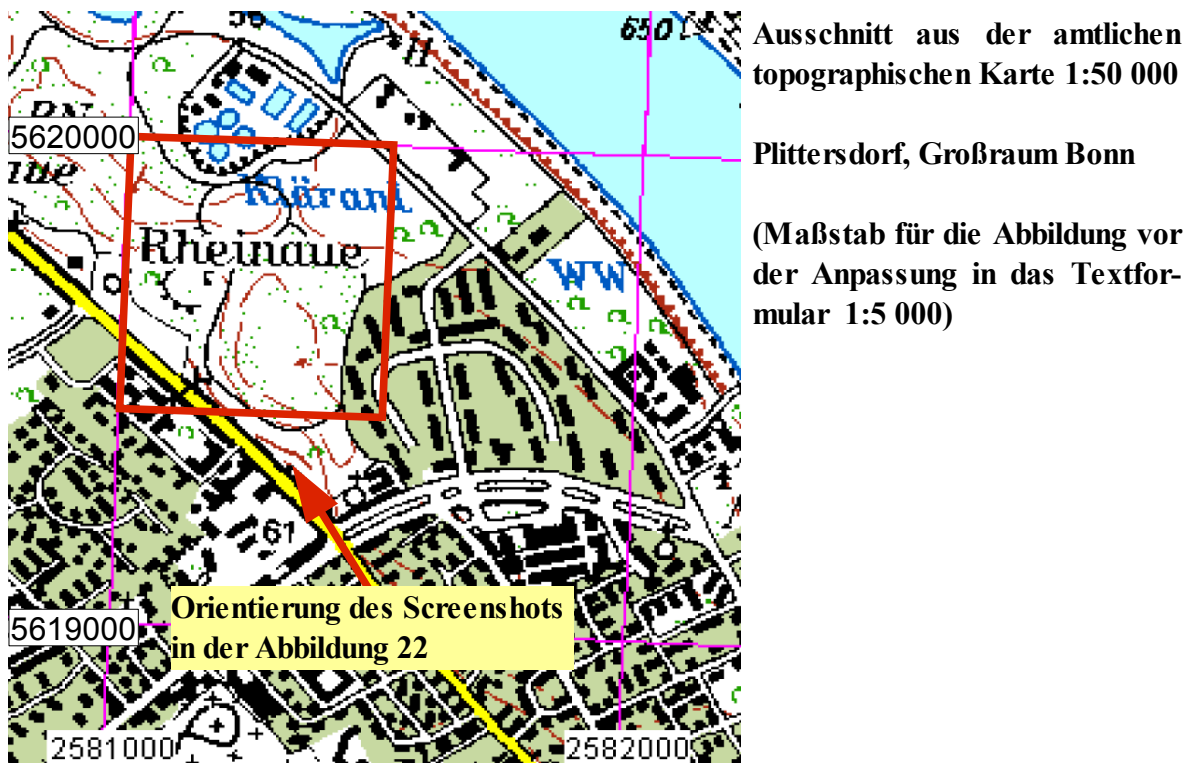


Abbildung 21: Amtliche topographische Karte, Großraum Bonn

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die drei wesentlichen Arbeitsschritte zur Erstellung eines *Digitalen Geländemodelles (DGM)*, das als Grundlage für räumliche Operationen und Analysen dient, aus den Rohdaten des Landesvermessungsamtes Nordrhein-

Westfalen (Großraum Bonn, kostenloser Test-Download). Dabei gibt Abbildung 21 einen Überblick über den bearbeiteten geographischen Raum und die räumliche Orientierung der Abbildung 22 wieder. Die Geodaten des Landesvermessungsamtes müssen in einem ersten Schritt für die im Einsatz befindliche Software (im Fallbeispiel *SURPAC*) konfiguriert werden. Danach sind in einem zweiten Schritt progammspezifische Operationen notwendig, um im dritten Schritt ein *Digitales Geländemodell* zu erstellen. Es handelt sich hierbei um einen quadratischen Ausschnitt von 250 000 Quadratmetern Größe mit einer Kantenlänge von 500 Meter und einem Koordinatenraster von 10 Meter mal 10 Meter. Das Beispiel zeigt ansatzweise die Komplexität der Verarbeitung von Geodaten. Die zuvor beschriebene Aufbereitung historischer analoger Kartenwerke ist um ein vielfaches schwieriger. Oft liegt das Know-how für die optimale Bearbeitung der Daten bei den ausführenden Sachbearbeitern und ist nicht oder nur unzureichend dokumentiert.

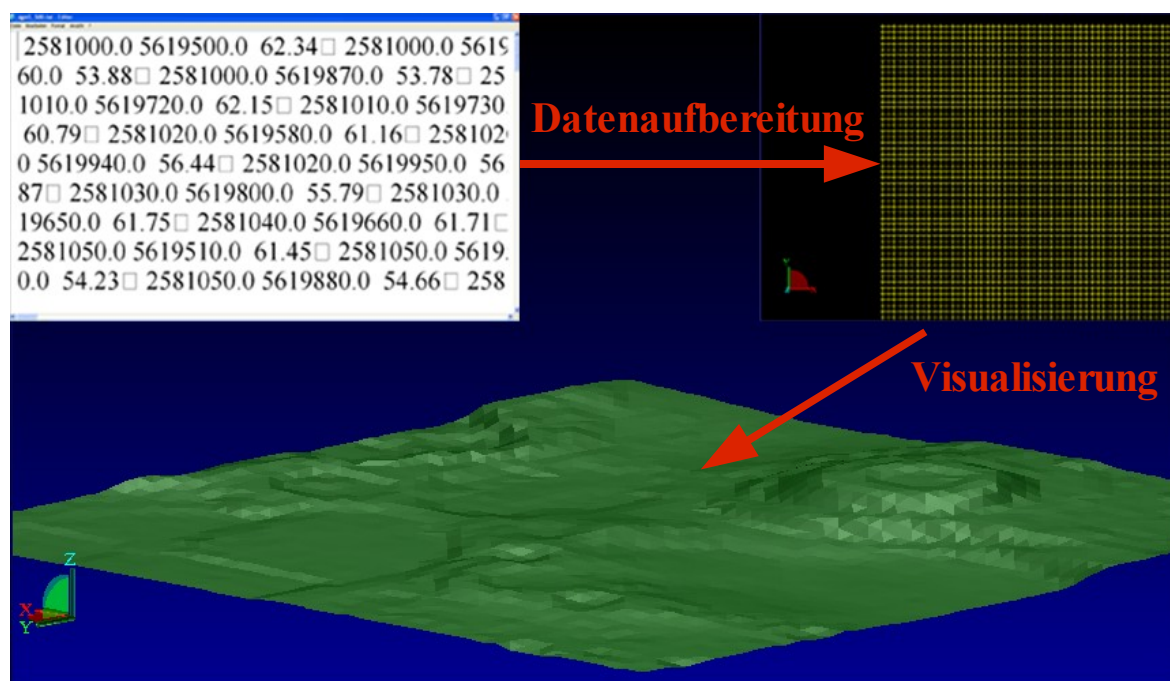


Abbildung 22: Aufbereitung von Geodaten des Landesvermessungsamtes NRW

Aus den Ausführungen dieses Kapitels ergibt sich die Forderung, Mitarbeitern derart aufbereitete Informationsbestände zur Verfügung zu stellen, um diese nahtlos in bestehende Arbeitsprozesse einzubinden. Diese Informationstransparenz muss in einem zweiten Schritt durch eine Transparenz der Regeln für die Ableitung von Informationen aus Daten und die Generierung von Wissen aus Informationen erweitert werden.

Die Grundlage für diese Wissenserschließung ist das Vorhandensein einer umfassenden Dokumentation und Katalogisierung sowie von ausführlichen Kontextinformationen. Das Instrument hierfür sind Metadaten; ihre Struktur wird durch die Umsetzung eines Metadatenkonzeptes festgelegt und als Metadateninformationssystem bezeichnet [KAZAKOS 05 (a)].

2.4.2 Metadaten

Metadaten werden im herkömmlichen Sinne als Daten über Daten definiert. Metadaten für konventionelle analoge Karten liegen in vielfältiger Form als Rand- beziehungsweise Rahmeneinheit sowie als Detailinformationen im Beschriftungsfeld der Karte vor. Diese Informationen sind für das Lesen der Karte nicht von existentieller Bedeutung. Allerdings können die vorliegenden Daten ohne diese Informationen keiner Bewertung unterzogen werden. Erst Metadaten machen aus (Geo-)Daten, analog oder digital, Informationen und ermöglichen deren effektive und nachhaltige Verwendung.

Liegen Metadaten in digitaler Form vor, so existiert aus Sicht der Informatik keine klare Trennung zwischen Daten und Metadaten. Konzeptionell besteht dagegen ein Unterschied. In einem Geographischen Informationssystem sind die Metadaten den eigentlichen Geodaten vorangestellt. Zwar ist ein Direktzugriff auf diese möglich, bei großen Mengen an geographischen Daten, wie sie bei der Bearbeitung von räumlichen Fragestellungen anfallen, ist ein Direktzugriff auf einzelne Dateien jedoch nicht mehr praktikabel. Metadaten erfüllen drei aufeinander aufbauende Funktionen. Sie beschreiben Geodaten, mit ihrer Hilfe werden Geodaten verwaltet und sie dienen der Dokumentation. Beschreibung und Dokumentation von Geodaten unterscheiden sich dadurch, dass sich die Beschreibung nur auf die Erklärung von einzelnen Einheiten beschränkt. Eine mögliche Form der Beschreibung von Geodaten der im Kontext der Abbildung 22 vorgestellten dreidimensionalen Analyse kann folgende Bestandteile beinhalten:

- Gauß-Krüger-Koordinaten, zweiter Hauptstreifen
- Höhenwerte bezogen auf Normalnull
- Erste Zahl: Rechtswert (sieben Stellen plus drei Nachkommastellen, Einheit Meter)
- Zweite Zahl: Hochwert (sieben Stellen plus drei Nachkommastellen, Einheit Meter)

- Dritte Zahl: Höhenwert (bis zu vier Stellen plus Nachkommastellen, Einheit Meter)

Metadaten als Dokumentation von Geodaten bestehen aus den zuvor aufgelisteten Informationen zur Beschreibung der Geodaten und aus Daten über deren Entstehung, Grundlage und anderen für eine Bewertung der Geodaten wichtigen Randparametern. Dieser konservativen Aufgabenzuweisung für Metadaten stehen heute Forderungen gegenüber, dass Metadaten mehr als nur Geodaten dokumentieren müssen.

Diese Forderungen basieren auf der Komplexität moderner räumlicher Analysen, da nicht nur die Grundlage von Analysen, sondern auch die Analysen selbst Schritt für Schritt beschrieben werden müssen. Erst dadurch ist eine Bewertung der Ergebnisse nachvollziehbar. Das bedeutet, dass neben der Dokumentation von Geodaten auch Analysen, Kartenlayer und ganze digitale Karten beschrieben werden müssen. Metadaten sind somit nicht nur Träger von Informationen über einzelne Daten, sondern Kontextinformationen, mit deren Hilfe neues Wissen generiert werden kann. Sie sind unentbehrlicher Bestandteil der Wissenspyramide, die in Abbildung 20 skizziert ist. Daher ist eine zeitgemäßere und allgemeinere Definition von Metadaten die Aussage, dass sie eine höhere Abstraktionsstufe über einer tieferen sind [HENNIG 04 (a)].

Daraus ergibt sich die Forderung einer hierarchisch aufgebauten Struktur von Metadaten. Diese müssen den zu beschreibenden Objekten angepasst sein. Ein Metadatenkonzept gliedert die Metadaten hierfür in verschiedene Ebenen und stellt zwischen ihnen Verbindungen her. So kann der Anwender die Metadaten für geographische Daten, welche die genaue Beschreibungen der Datenstruktur und besondere Spezifikationen sowie die semantische Definition der Klassen beinhalten, mit der thematischen, räumlichen und zeitlichen Abgrenzung der Metadaten für höhere Ebenen (zum Beispiel digitale Karten) in Kontext setzen. Für diese Aufgabe müssen die Metadaten nicht nur, wie zuvor beschrieben, in mehrere Hierarchien gegliedert sein; sie müssen über umfangreiche multimediale Kontextinformationen zur Verfügung gestellt werden. Bei großen Mengen an Geodaten und mit ihnen verbundenen Kartenwerken in einer Geodateninfrastruktur führt die Umsetzung des erforderlichen umfassenden Metadatenkonzeptes zur Bereitstellung eines so genannten Metadateninformationssystems [KAZAKOS 05 (a)].

Die Entwicklung der Definition von Metadaten von der Beschreibung einzelner Datensätze

Metadatenkonzepte

bis hin zur Dokumentation ganzer Geoinfrastrukturen spiegelt sich auch in den nationalen und internationalen Normen wider. Eine gute Grundlage für die Beschreibung von Datensätzen mit Geodaten liefert die *ISO 19115:2003 [ISO 19115:2003]* oder der *FGDC-STD-001-1989*. Der Standard *FGDC-STD-001-1989* ist speziell auf die Beschreibung von digitalen Metadaten ausgerichtet und wird zum Beispiel von der Metadaten-Schnittstelle *Arc-Catalog* der *ArcGIS*-Produktfamilie von *ESRI* verwendet. Bedarf besteht vor allem bei Standards für digitale Layer und Karten. Auch für die einheitliche Dokumentation von Bearbeitungs- und Analyseroutinen und somit die Beschreibung der Geodaten und Kartenwerke für ganze Geodateninfrastrukturen fehlen ganzheitliche Richtlinien. Der *Dublin Core Element Set* Metadatenstandard der *Dublin Core Metadata Initiative* (Tabelle 9, Seite 54) sowie die *ISBD (CM)* können hierfür als Ausgangspunkt verwendet werden, müssen aber modifiziert beziehungsweise der vorliegenden Geodateninfrastruktur angepasst und somit in die vorhandene betriebliche Infrastruktur integriert werden [www.contentmanager.de/magazin/artikel_355].

Tabelle 8: Vergleich zwischen den Metadatenstandards FGDC und Dublin Core Element

	FGDC	Dublin Core Element Set
Grundlage der Metadaten	Geodaten	Digitale Kartenwerke und Analysebeschreibungen
Ursprung	Geographische Informationssysteme	Bibliothekarischer Hintergrund
Seit	1998	1995
Entstehungshintergrund/ Zweck	Dokumentation von Geodaten Grundlage für die Datenanalyse	Standardisierung für die Beschreibung, das Auffinden und die Nutzung von digitalen Dokumenten (universaler Ansatz)
Aufbau	7 „Metadatas Main Sections“ 3 „Supporting Sections“	15 Standardelemente

Ein Beispiel für die Notwendigkeit der Modifikation von althergebrachten Standards für Metadaten ist die Verwendung von Schlüsselwörtern. Dieser selten umgesetzte Teil eines Metadatenkonzeptes ist jedoch eine Grundvoraussetzung für die Einbindung von Geodaten und ganzen Kartenwerken in große Geodateninfrastrukturen. Nur durch die Abfrage von Schlüsselwörtern können Dritte, die nicht in die Entstehung der Daten involviert waren, auf

diese zugreifen.

Weitere internationale Standards in diesem Kontext sind:

- ISO 19107:2003 [ISO 19107:2003]
- ISO 19108:2002 [ISO 19108:2002]
- ISO 19125-1 [ISO 19125-1]
- ISO 19125-2 [ISO 19125-2]
- ISO 19136 [ISO 19136]
- ISO/IEC – 13249-3:2003 [ISO/IEC 13249-3:2003]
- ISO/IEC – 13249-3:200x [ISO/IEC 13249-3-200x]

Aus betriebswirtschaftlicher Sichtweise steht den erhöhten Kosten für die Erstellung und Pflege eines Metadateninformationssystems ein erhebliches Einsparpotential gegenüber. Geodaten werden über die dazugehörenden Metadaten schneller identifiziert. Somit kann Zeit gespart werden. Bei der Projektierung von neuen GIS-Projekten verhindern umfassende Metadaten der vorhandenen Geodateninfrastruktur schon in der Planungsphase zusätzliche Kosten durch die Optimierung des Einsatzes der betriebseigenen Daten. Eine erneute Erfassung der Daten und somit die Schaffung von redundanten Datenstrukturen sowie die Bindung von Kapital und Personal kann dadurch vermieden werden. Zudem können schon bei der Erstellung von Geodaten die parallel dazu erzeugten Metadaten in ein Qualitätsmanagementsystem integriert werden. Viele Unternehmen können in der Anfangsphase eines Projektes zur Generierung von Geodaten, zumal wenn eine Gruppe von unterschiedlichen Fachleuten interdisziplinär zusammen arbeitet, keine Aussage über den aktuellen Stand des Projektes geben. Unter diesen Randbedingungen ist die Koordination eines solchen Projektes und das Controlling im Hinblick auf Quantität und Qualität des entstehenden Produktes schwierig [KAZAKOS 05 (a)]. Ein durch das parallel zur Erfassung der Geodaten auf dem aktuellen Stand der Arbeiten gehaltenes Metadateninformationssystem ist ein wirksames Instrument für das Controlling und die Grundlage für die Koordination der Arbeitsgruppe.

So wurde am Institut für Markscheidewesen im Rahmen eines Projektes zur Erfassung von Abbaugemetrien des historischen Steinkohlenbergbaus ein dem geplanten neunmonatigen Zeitraum angepasstes Metadateninformationssystem entwickelt. Während der Bearbeitung

Metadatenkonzepte

tragen die Mitglieder der Arbeitsgruppe nach Beendigung der Digitalisierungsarbeiten täglich den aktuellen Status in das System ein. Die folgenden Informationen über einen Datensatz, der eine Flözebene eines Bergwerks beinhaltet, werden erhoben und nach verschiedenen Gesichtspunkten präsentiert:

- Datum
- Name des Sachbearbeiters
- Bergwerk, Flöz
- Anzahl der digitalisierten Abbauhöhen
- Anzahl der bearbeiteten Rissplatten (Maßstab 1:2000)
- Bemerkungen (zum Beispiel das Fehlen von Rissplatten)

Zusätzlich zu den zuvor genannten Informationen werden getrennt davon Daten über die Kontrolle der Datensätze und über den Status der Bearbeitung eines gesamten Bergwerkes vom Projektleiter in das System eingegeben (Abbildung 23).

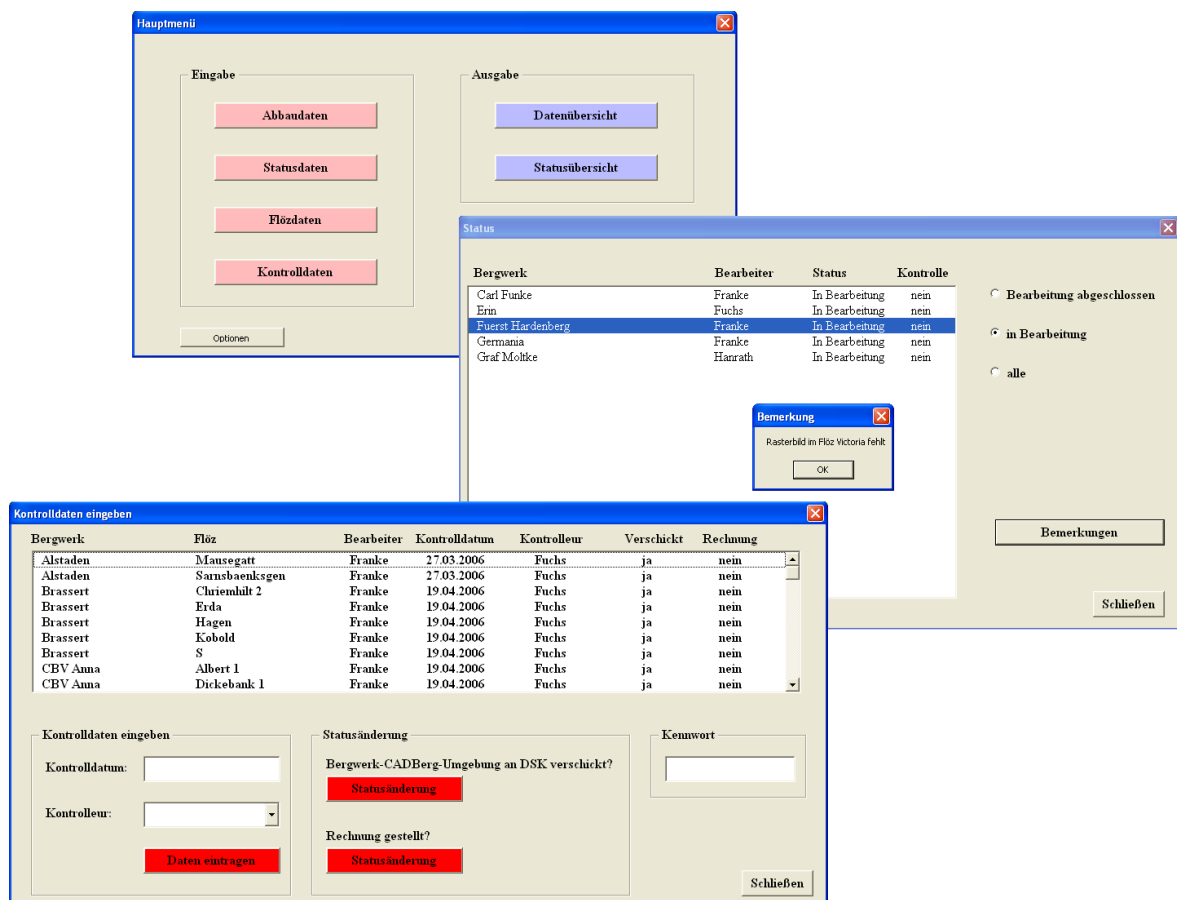


Abbildung 23: Metadateninformationssystem für ein Drittmittelprojekt

So kann jederzeit der aktuelle Stand der Bearbeitung abgefragt und die sich abwechselnden Gruppenmitglieder können optimal eingeplant werden. Weiterhin ist das vorgestellte System Grundlage für das Controlling und ein Werkzeug zur automatischen Generierung der Quartalsabrechnungen. Eine Statusanzeige für jedes Bergwerk mit den Einträgen, ob das Bergwerk in Bearbeitung oder fertig digitalisiert ist, ob die Kontrollen durchgeführt worden sind und ob die Daten und die Rechnung an den Auftraggeber gesendet wurden, rundet das Metadateninformationssystem ab³.

Neben den zuvor genannten und an einem Beispiel vorgestellten lokalen Metadateninformationssystemen existieren zwei weitere sehr ähnliche Systemlösungen für die Beschreibung von Geodaten. Bei der ersten Lösung handelt es sich um ein organisationsinternes Informationssystem, das den auf eine bestimmte Gruppe limitierten Zugriff auf Daten innerhalb einer größeren Geodateninfrastruktur ermöglicht. Ein Beispiel hierfür wären die Mitarbeiter eines Unternehmens (limitierte Gruppe), die über das betriebsinterne Metadateninformationssystem Geodaten auf verschiedenen Abteilungsservern abrufen und bearbeiten können. Dazu ist eine Ankopplung der Metadaten beziehungsweise des Metadaten-systems an die serverbasierte Geodateninfrastruktur notwendig. Die in Abbildung 19 (Seite 41) skizzierte GIS-Architektur integriert hierfür einen Metadaten-server (-dienst) in ihre Struktur. Neben der technischen Umsetzung müssen zusätzlich betriebsweite dokumentierte Standards entwickelt werden, so dass die Integration von neuen Geodaten sowie die Aktualisierung bestehender Datenbestände und die damit verbundenen Veränderungen in den Metadaten für alle Beteiligten nachvollziehbar sind. Zudem sichert ein solcher Standard die gleichbleibende Qualität und somit die Garantie für ein sicheres Auffinden der gesuchten Geodaten.

Einer Neuentwicklung von betriebsinternen Standards zur Dokumentation von Geodaten, räumlichen Analysen und digitalen Kartenwerken steht die Übernahme von international anerkannten Standards wie die zuvor vorgestellten *FGDC-Standard* für Geodaten oder das *Dublin Core Element Set* für digitale Kartenwerke gegenüber. Allerdings müssen die Standards für die jeweilige Anwendung meistens modifiziert und erweitert werden, da eine umfassende standardisierte Dokumentation nicht existiert und wahrscheinlich auch nicht

3 Das Metadateninformationssystem wurde vom Autor im Rahmen seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Markscheidewesen programmiert. Die Programmierung entstand neben der Bearbeitung eines Drittmittelprojektes auch im Kontext der Vergabe der vorliegenden Arbeit.

möglich ist [KAZAKOS 05 (a)].

Die dritte Systemlösung neben der lokalen und der betriebsinternen ist zu der letztgenannten systemtechnisch fast äquivalent. Der einzige Unterschied ist die Größe der Gruppe möglicher Anwender und der Zugang, der nicht über ein betriebsinternes Intranet, sondern über das Internet erfolgt. Bezogen auf das notwendige Metadateninformationssystem müssen hierfür die zuvor genannten Standards eingesetzt werden. Dies ist vor allem für Geodatenproduzenten, die ihre Daten über das Internet vertreiben, Grundvoraussetzung für den Verkauf des Produktes Geodaten. Auf der Käuferseite von Geodaten beschleunigen standardisierte Metadaten die Suche und Auswahl der benötigten Daten. Zudem können Anwender ihre Geodateninfrastruktur mit denen von Geodaten-Anbietern direkt über standardisierte Metadateninformationssysteme gegen Entgelt verbinden. Dafür muss eine so genannte *Broker-Architektur* die Geodateninfrastruktur des Geodaten-Käufers erweitern. Sie regelt den verteilten Zugriff auf unterschiedliche externe Datenquellen. Innerhalb einer solchen Systemlösung müssen die externen Daten nicht mehr über eigene Speicherkapazitäten, zum Beispiel durch die Spiegelung von Festplatten oder kompletten Servern, gesichert werden. Der Datenproduzent garantiert gegen Entgelt die Aktualität und ständige Präsenz der Geodaten. Sein wirtschaftlicher Vorteil liegt in der dadurch entstehenden engen Kundenbindung. Der Kunde spart Kosten für Sicherungsmaßnahmen und Personal, das sich um die Frage der Aktualität der Daten und um den Neuerwerb von veralteten Datenbeständen kümmern muss.

Das Konzept einer engen Bindung von Geodatenproduzent und Geodatenkäufer erfordert neben der Standardisierung von Metadaten auch die offene und standardisierte Dokumentation von Systemschnittstellen. Eine solche Schnittstelle für Geodateninfrastrukturen ist die *Catalog-Service-Web-Schnittstelle (CS-W)* des *Open Geospatial Consortium (OGC)*, die sich als Zugriffsmedium auf externe Metadateninformationssysteme international etabliert hat. Ein Beispiel für eine solche Schnittstelle in Deutschland ist für bundesweite Geodaten die Internetseite *GeoPortal.Bund* oder für lokale Daten das *Nordsee-Ostsee-Küsteninformationssystem (NOKIS)* [www.geoprotal.bkg.bund.de].

Grundlagen

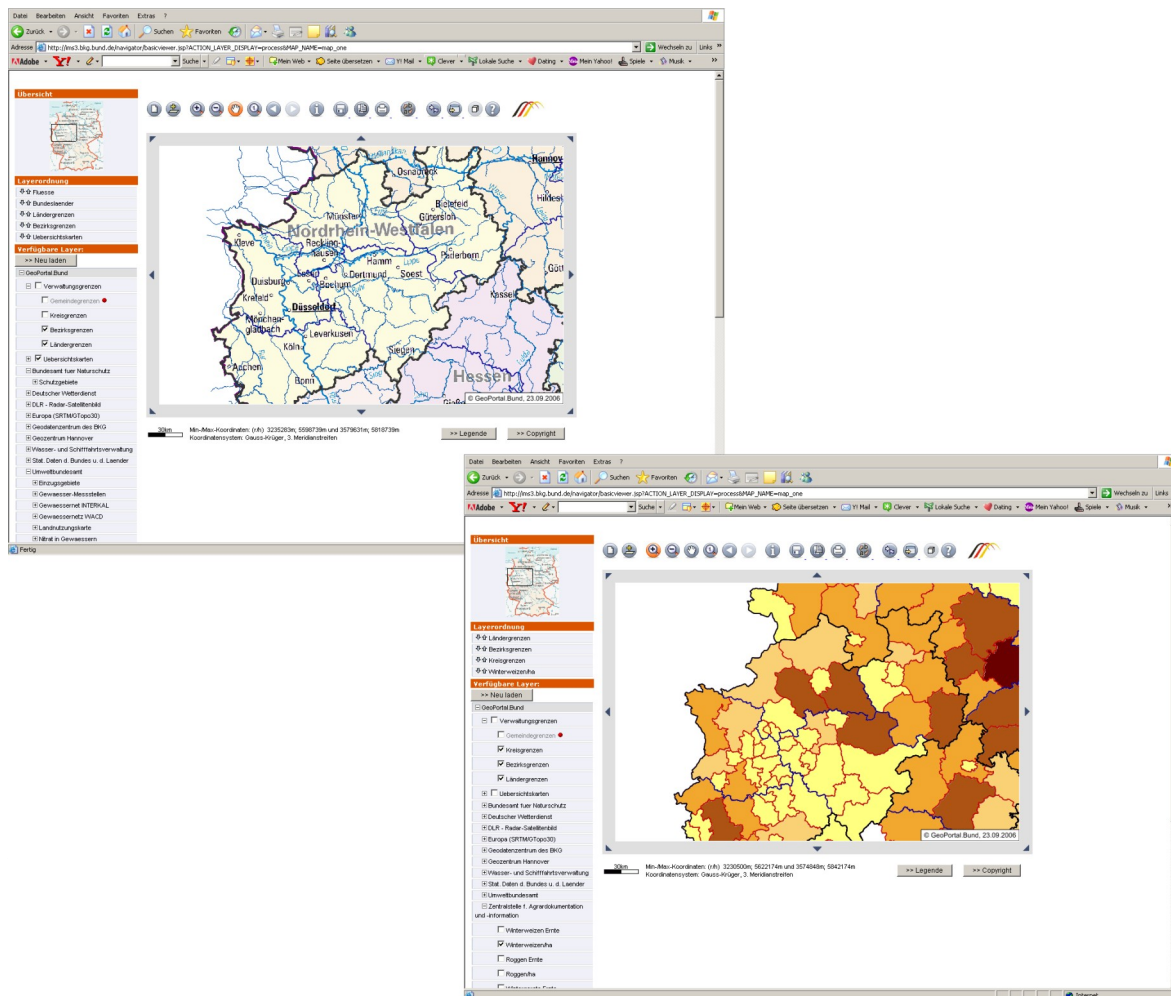


Abbildung 24: Kartenlayer des GeoPortal.Bund des Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Tabelle 9: Dublin Core Element Set (Metadata)

Dublin Core Element	Grundlage	Beschreibung
DC.IDENTIFIER	Identifikationsschlüssel des digitalen Dokumentes	Eindeutige Kennung des beschriebenen Dokuments
DC.TITLE	Titel (Kurztitel, Haupttitel, Untertitel)	Titel und Name des beschriebenen digitalen Werkes
DC.CREATOR	Kartenautor/Programmierer	Die für den intellektuellen Inhalt verantwortliche Person

Metadatenkonzepte

Dublin Core Element	Grundlage	Beschreibung
DC.DATE	Veröffentlichungsdatum	Datum, an dem das Dokument zugänglich gemacht wurde
DC.TYPE	Art des Dokumentes	Art
DC.FORMAT	Datenformat	Datentechnisches Format des Dokumentes
DC.DESCRPTION	Beschreibung (Kurzbeschreibung, Methodik)	Fachlicher Inhalt des Dokumentes/Beschreibung der Programmierung
DC.SOURCE	Grundlage	Grundlagen bzw. Vorlagen für das Dokument
DC.COVERAGE	Raum-/Themabegriffe, Sachgebiet, Projekt	Textliche Angaben zur räumlichen, zeitlichen und thematischen Gültigkeit
DC.RELATION	Analoger/digitaler Verweis	Verweise oder Verbindungen zu anderen (multimedialen) Ressourcen, Hyperlinks
DC.CONTRIBUTERS	Coautoren	Name und Funktion von Zu- und weiteren Sachbearbeitern
DC.LANGUAGE	Schlüsselworte	Sprache des Dokuments, idealerweise über einen formalen Identifier
DC.PUBLISHER	Organisationsname	Herausgeber/Verleger
DC.SUBJECT	Schlüsselworte	Schlag- und Stichworte zur Beschreibung des Inhaltes
DC.RIGHTS	Schlüsselworte	Rechtliche Bemerkungen und Angaben zu Nutzungsrechten

2.5 GIS-Projekte

2.5.1 Allgemeine Aspekte

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann aus zeitlichen Gründen keine umfassende Beschreibung für die optimale Planung und Durchführung von GIS-Projekten gegeben werden. Die Themen Projektmanagement in der Informationstechnik sowie Rationalisierung in modernen Betrieben sind so komplex und umfassend, dass gerade in der jüngsten Vergangenheit eine Vielzahl an Literatur erschienen ist. Deshalb konzentriert sich das folgende Kapitel auf statistische Analysen, die die Kosten und deren Entstehung beschreiben, sowie auf die Nennung der größten Rationalisierungseffekte eines Geographischen Informationssystems innerhalb einer betrieblichen Anwendung. Dabei werden Vorteile wie die blattschnittfreie Darstellung von Geodaten und der Umstand, dass in einem Geographischen Informationssystem alle Daten zusammen und zusammenhängend in einem System gespeichert sowie alphanumerisch und graphisch analysiert und präsentiert werden können, nicht mehr explizit genannt.

2.5.2 Planung von GIS-Projekten

Da viele räumliche Funktionen und Analysen per Knopfdruck bereit stehen, die zu einer hohen Einsparung von Arbeitszeit führen, besteht eine große Nachfrage nach Geographischen Informationssystemen. Zusätzlich können die komplexen Daten und Datenstrukturen räumlicher Zusammenhänge in einem System abgebildet und visualisiert werden. Diese Punkte reichten neben dem Image der Hochtechnologie lange Zeit für eine Rechtfertigung aus, ein Geographisches Informationssystem in das Unternehmen oder in der Behörde einzuführen. Heute werden allerdings zunehmend kritische Fragen über den betrieblichen Nutzen eines solchen Systems und die ruinösen Kosten, die bei falscher Planung und Durchführung eines GIS-Projektes entstehen, gestellt. Bei vielen GIS-Projekten wird die Ersterfassung der Geodaten nicht abgeschossen und bei der Behebung von Fehlern, die auf die Planungsphase zurückzuführen sind, wird viel zusätzliches Personal gebunden. Der bloße Einsatz eines Geographischen Informationssystems bringt an sich noch keinen beziehungsweise einen minimalen wirtschaftlichen Effekt für ein Unternehmen [KLEMMER 05 (b)].

Nur wenn ein Geographisches Informationssystem auf der Basis von Analysen der GIS-Technologie und unternehmerischen, organisatorischen und personellen Aspekten optimal auf das Einsatzgebiet innerhalb des Betriebes abgestimmt ist, können dessen erhebliche Rationalisierungseffekte ausgeschöpft werden. Die sehr hohen Kosten für die Einführung eines Geographischen Informationssystems erfordern eine oft in der Praxis nur unzureichend durchgeführte Planung. Da ein „ideales“ Geographisches Informationssystem nicht existiert, muss oft aus einer Vielzahl von Produkten das für die bestimmte betriebliche Anwendung optimale System herausgefiltert werden. Die Systemlösung muss ihrerseits viele Optimierungsmöglichkeiten vorhalten. Zudem müssen bei der Analyse der betrieblichen Randparameter ebenfalls Optimierungsmöglichkeiten geschaffen werden. Es müssen somit alle Effekte ausgeschöpft werden, um einen Nutzeffekt zu bekommen, der die hohen Investitionen bei der Einführung eines Geographischen Informationssystems inklusive der notwendigen Daten in einem vertretbaren Zeitraum amortisiert.

Wie wichtig eine sorgsame Planung vor der Einführung eines Informationssystems beziehungsweise vor einer öffentlichen Ausschreibung ist, zeigt Abbildung 25.

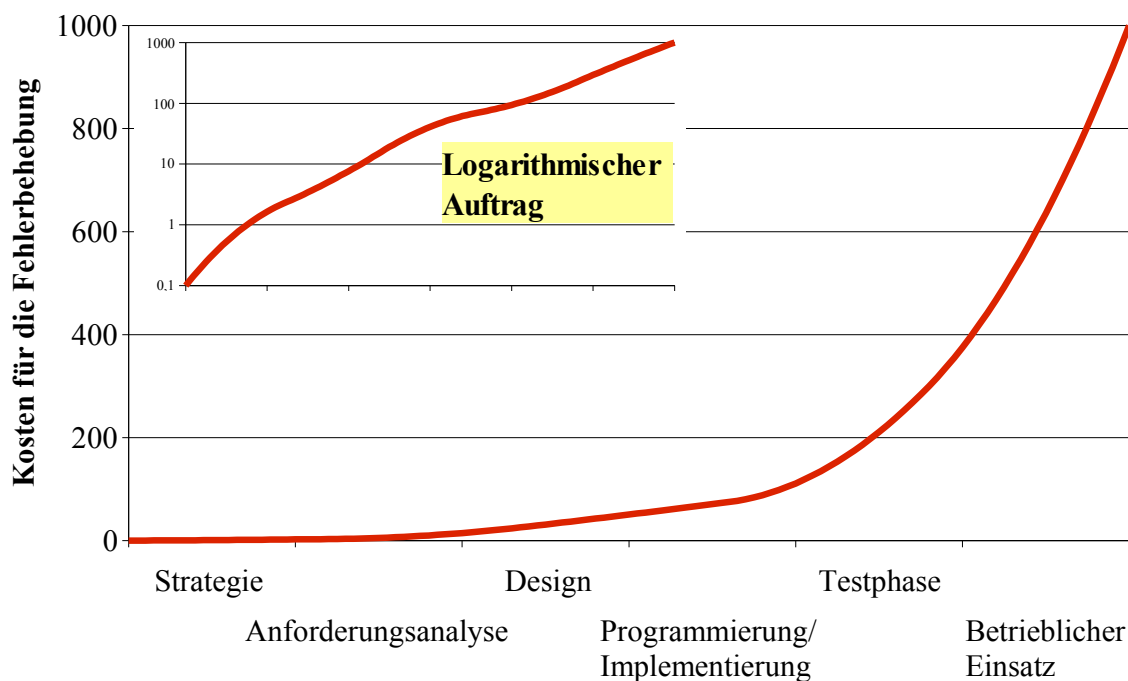


Abbildung 25: Kosten für die Behebung von Planungsfehlern abhängig vom Zeitfaktor; [www.oracle.com] verändert

Werden die Kosten für einen konzeptionellen Fehler, der schon während der Planungsphase (Strategiephase) korrigiert wird, mit dem Wert eins gleichgesetzt, so können die Kosten

für dessen Behebung in einer späteren Phase bis zu einem Faktor von 1 000 ansteigen [www.oracle.com].

Oft sind es nicht die Produkte oder die fehlenden Dienstleistungen der GIS-Hersteller, die eine Einführung eines Geographischen Informationssystems scheitern lassen, sondern gravierende Fehler in der Planung sowie der komplett falsche Ansatzpunkt für Rationalisierungsbemühungen [HOPPE 06 (a)]. Abbildung 26 zeigt die Gründe für ein Scheitern bei der Einführung von Informationssystemen.

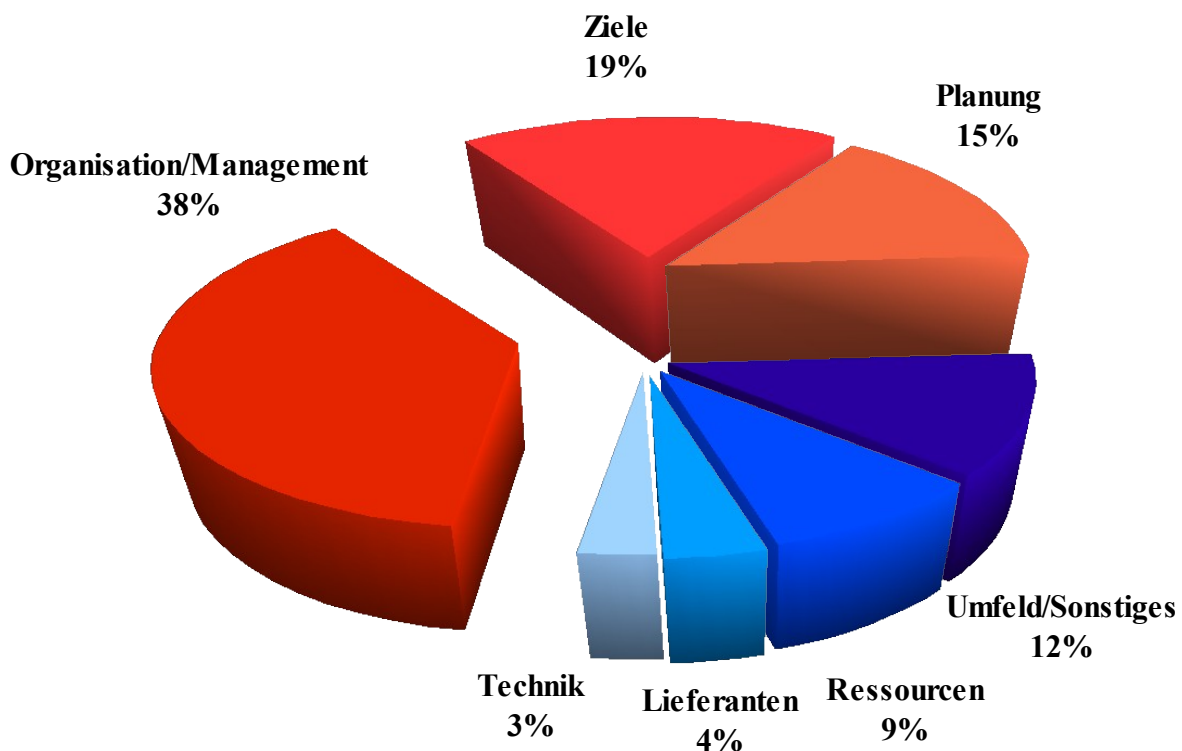


Abbildung 26: Gründe für ein Scheitern bei der Einführung eines Informationssystems

Die Qualität eines Geographischen Informationssystems definiert sich nicht über die Qualität der Karten und Pläne, die von dem System erzeugt werden, sondern über die angewendete Informationstechnologie. Deshalb sind bei der Planung und Einführung die technischen Schwerpunkte auf diese zu setzen (Kapitel 2.2.1). Nicht die Anzahl und die Qualität der Bearbeitungs- und Analysewerkzeuge, die ein Geographisches Informationssystem bietet, sind die universalen Maßstäbe für die Bewertung eines solchen Systems, sondern der Grad der Übereinstimmung mit dem betrieblichen Anforderungskatalog. Es

gibt somit kein „universelles“ oder „richtiges“ Geographisches Informationssystem, nur passende oder unpassende Produkte.

Eine Grundvoraussetzung für jedes Informationssystem ist die Gewährleistung der Datenintegrität und -konsistenz. Ein Geographisches Informationssystem muss bei der Eingabe und bei der Änderung von Daten folgende Routinen automatisch starten:

- Eingabeprüfung (semantische Integrität)
- Zulässigkeitstest (semantische Integrität)
- Zugriffsverwaltung (operative Integrität)
- Datensicherung und die Möglichkeit, bei Störungen einen verloren gegangenen Datenbestand wieder herzustellen (Recovery)

Zudem müssen die graphischen und sachlichen Daten eines Geoobjektes frei von Widersprüchen und vollständig sein. Außerdem müssen diese Sachverhalte bei der Eingabe von neuen Daten oder der Veränderung von vorhandenen Daten überprüft werden (Konsistenz). Auch sollte das System frei von Datenredundanzen sein (Kapitel 2.2.1). Eine vom System kontrollierte Redundanz sollte aus Gründen der Performance zugelassen werden. Unter Performance wird die Geschwindigkeit für die Bearbeitung von Anfragen an ein Informationssystem verstanden.

Wird ein Geographisches Informationssystem als reines Austauschwerkzeug für ein bestehendes Werkzeug eingesetzt, ist es absolut ungeeignet, um Rationalisierungseffekte zu erzielen. Betriebliche Werkzeuge können bezogen auf ihre Einsatzmöglichkeiten und ihren betrieblichen Nutzen hierarchisch klassifiziert werden. Werkzeuge der ersten Ordnung erzeugen alleine durch ihren Einsatz beziehungsweise durch den Austausch vorhandener Werkzeuge Rationalisierungseffekte. So kann bei der Auffahrung eines Tagebaus durch den alleinigen Austausch von Spaten und Schubkarre gegen Bagger und Lastkraftwagen erheblich effizienter und somit wirtschaftlicher gearbeitet werden, obwohl höhere Investitionskosten dabei entstehen. Kein Rationalisierungseffekt wird dagegen durch den Einsatz eines Aktenordners an Stelle eines einfachen Ablegens von betrieblichen Unterlagen auf einem Stapel erzielt. Es macht in diesem Zusammenhang keinen betriebswirtschaftlichen Sinn, die eingehenden Rechnungen nacheinander in den Ordner zu heften. Erst durch Verbindung mit einem neuen Sortierungssystem kann das Werkzeug „Aktenordner“ sein be-

triebswirtschaftliches Potential entfalten. Ein Aktenordner ist somit ein Werkzeug der zweiten Ordnung. Neben der Einführung von Werkzeugen höherer Ordnungen müssen deshalb auch Arbeitsprozesse oder ganze betriebliche Ablauforganisation geändert werden, um die meist sehr hohen Kosten für die Investitionen in betriebswirtschaftlichen Zeiträumen amortisieren zu können. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Werkzeugen höherer Ordnung ist die Einführung des Fließbandes in der Automobilindustrie. Hätte *Henry Ford* nicht auch die Arbeitsabläufe verändert, sondern seine Meister an dem neuen Fließband, wie zu der Zeit üblich, komplette Autos zusammen bauen lassen, wäre es nicht zu der bekannten Revolution in der Fertigungstechnik gekommen. Erst die Zerlegung der Arbeitsabläufe in kleine, immer wiederkehrende Arbeitsschritte in Kombination mit dem neuen Werkzeug „Fließband“ und neuer Logistik war die Basis für ein ganz neues, sehr wirtschaftliches System.

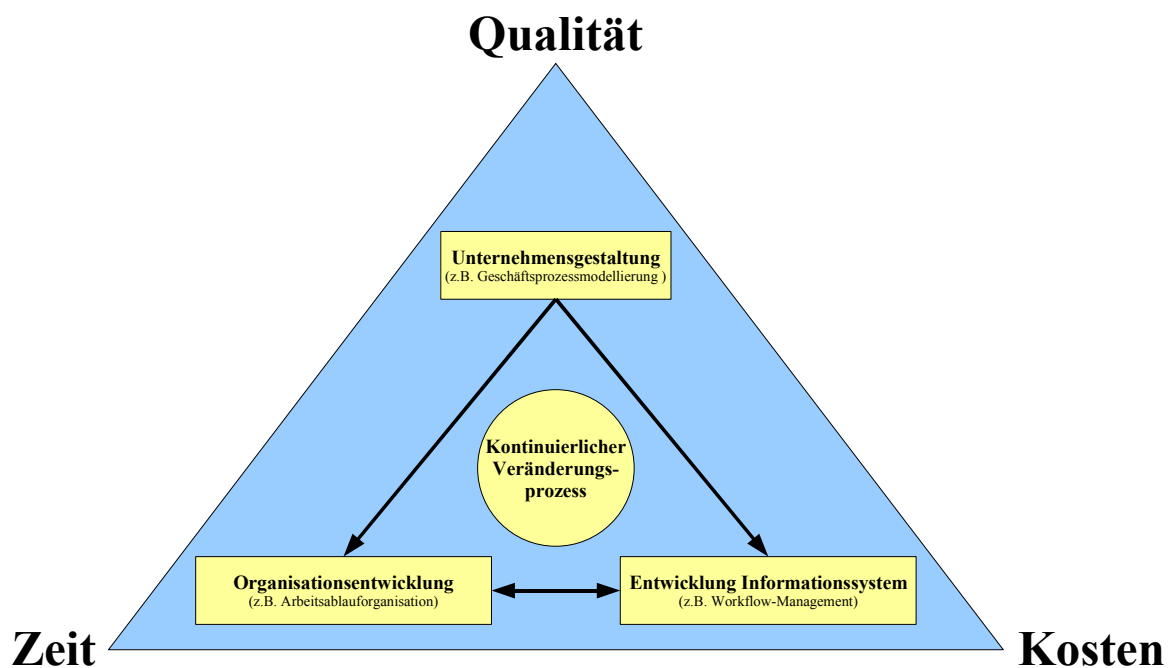


Abbildung 27: Kontinuierlicher Veränderungsprozess in Verbindung mit Informationssystemen

Aufgrund der sehr hohen Komplexität von Informationssystemen stufen viele Experten diese als Werkzeuge dritter oder noch höherer Ordnung ein [KLEMMER 04 (a)]. Die Einführung eines Informationssystems in ein Unternehmen muss, wenn sich die sehr hohen Investitionen amortisieren sollen, mit einer ganzheitlichen Modellierung der Arbeitsprozesse und betrieblichen Ablauforganisation und mit deren Veränderung gekoppelt sein (Abbildung 27)[AVERDUNG 00 (a)].

Der zuvor beschriebene umfassende Denkansatz ist auch Grundlage für einen notwendigen kontinuierlichen Veränderungsprozess, mit dem weitere Effizienzpotentiale erschlossen werden können. Alle diese Veränderungen und Einschnitte in die betrieblichen Abläufe sollten in enger Zusammenarbeit mit dem Personal geplant und durchgeführt werden. Ohne die Unterstützung sowie die Schulung der durch die Einführung eines Informationssystems betroffenen Personen können weder die innerbetrieblichen Potentiale erschlossen werden, noch wären die Aussichten für eine erfolgreiche Installation besonders hoch.

Modularisierung von Arbeitsprozessen und die Spezialisierung für jede so entstehende Einzelfunktionalität sind der Kern des wirtschaftlichen Konzeptes bei der Einführung von Werkzeugen zweiter oder höherer Ordnung wie beispielsweise dem zuvor genannten Fließband. Innerhalb eines Geographischen Informationssystems werden einzelne Funktionalitäten oft nicht benutzt, so dass diese nicht die Basis für einen großen Rationalisierungseffekt bilden können. Weiterhin sind die Abläufe bei der Arbeit mit einem Geographischen Informationssystem häufig ergebnisgesteuert, also nicht planbar. Sie sind auch überwiegend nicht gleichförmig wie bei der Fließbandarbeit und es ist erhebliches Know-how des Anwenders bei der Interaktion mit dem System während räumlicher Analysen notwendig. Eine Aufteilung von Arbeitsschritten auf mehrere Personen ist aufgrund der Komplexität der meisten Aufgaben nicht sinnvoll. Eine Ausnahme bildet die Aufnahme einer großen Anzahl von einheitlichen Geobjekten innerhalb der Erstaufnahmephase (Abbildung 28, Seite 64) eines GIS-Projektes. Hier können die graphischen Daten räumlich und zeitlich getrennt von den sachbezogenen Informationen in ein System eingegeben werden. Dazu braucht der Mitarbeiter für die Eingabe der Sachdaten kein Geographisches Informationssystem, sondern kann eine Standardschnittstelle zur Geodatenbank benutzen.

An einem Beispiel aus der Wasserhaltung des schon in den letzten Kapiteln behandelten fiktiven Tagebaus sollen nachfolgend die tiefgreifenden Veränderungen bei der Einführung eines Geographischen Informationssystems ansatzweise dargestellt und so die Komplexität bei der Planung und Systemauslegung aufgezeigt werden.

Vor der Einführung eines Geographischen Informationssystems müssen bei der Verlegung neuer Wasserrohre die entsprechenden aktuellen Pläne des Rohrleitungssystems aus dem Archiv geordert werden. Auf einer Kopie zeichnet der Sachbearbeiter den ungefähren

Verlauf der neuen Leitung ein. Im Zeichenbüro wird die Skizze anschließend normgerecht zur Ermittlung des Materialbedarfes in einen vorläufigen Plan eingezeichnet. Nach Absprache mit der Materialbeschaffung werden die notwendigen Teile, die nicht vorrätig sind, bestellt. Nach Maßgabe des vorläufigen Plans verlegt die Baukolonne der Wasserhaltung schließlich den neuen Abschnitt. Änderungen im Verlauf der Leitung und die Ergebnisse einer Kontrollmessung nach Fertigstellung der neuen Rohrleitung werden wieder in dem Plan skizziert. Im letzten Schritt entsteht im Zeichenbüro der endgültige Plan des modifizierten Wasserrohrleitungssystems. In einer solchen Arbeitsorganisation müssen Tätigkeiten wie das Umsetzen von Skizzen in Pläne mehrmals innerhalb eines Projekts vorgenommen werden. Fachpersonal wird dadurch gebunden und steht für andere Aufgaben nicht zur Verfügung. Weiterhin existieren viele interdisziplinäre Schnittstellen wie zum Beispiel zwischen der Materialbeschaffung und der Wasserhaltung, die umständlich durch verbale Kommunikation oder bürokratischen Schriftverkehr überbrückt werden müssen. Die Einführung eines Geographischen Informationssystems im Zeichenbüro des Tagebaubetriebes ohne weitreichende Veränderung der Ablauforganisation würde keinen wirtschaftlichen Nutzen bringen. Eine solche Systemeinführung entspricht nicht den Grundsätzen wirtschaftlichen Handelns, da ein Standard-CAD-System gegen ein teures Geographisches Informationssystem eingetauscht wird.

Wird das Geographische Informationssystem dagegen in die betriebliche Infrastruktur mit eingebunden und werden die Arbeitsabläufe nach einer grundlegenden Analyse mit allen Beteiligten verändert und angepasst, sind große zeitliche und finanzielle Einsparpotentiale erschließbar. So kann der betreffende Sachbearbeiter in der Wasserhaltung über bestimmte Werkzeuge innerhalb der Tagebaugeometrie die neue Rohrleitung planen. Dabei kann er durch die Konstruktion mehrerer Möglichkeiten die beste Variante bezüglich des Materialverbrauchs und der betrieblichen Anforderung an das Wasserrohrleitungssystem herausfiltern. Durch die Verbindung der Geodatenbank mit der Datenbank der Lagerhaltung kann neben einer Stückliste des für den Bau benötigten Materials auch das Material identifiziert werden, das nicht mehr vorrätig ist und somit bestellt werden muss. Dementsprechende Formblätter für die Materialanforderung werden vom System automatisch erzeugt. Während der Installation werden schließlich der endgültige Verlauf und die Ergebnisse der Kontrollmessung per *PDA (Personal Digital Assistant)*-Technik und *GPS (Global Posi-*

tioning System) direkt in das Geographische Informationssystem eingespeist. Eine nachträgliche Bearbeitung ist nicht mehr notwendig. Die vorgestellte Systemlösung ermöglicht eine erhebliche zeitliche Einsparung, da zum Beispiel das mehrfache Zeichnen von Plänen entfällt. Vor allem verlagert sich das Entstehen von Geodaten von einer zentralen Einrichtung wie dem Zeichenbüro zu den Sachbearbeitern vor Ort. Durch die Verknüpfung mehrerer Informationssysteme oder deren Zusammenführung können innerbetriebliche Synergieeffekte genutzt werden. Die Daten müssen nicht mehr durch den betrieblichen Engpass einer zentralen Einrichtung wie das Zeichenbüro. Der Sachbearbeiter dort wird zum Dienstleister, der das Geographische Informationssystem und dessen Werkzeuge wartet. Daneben ist er für grundlegende Geodaten wie die Geometrie des Tagebaus verantwortlich.

Das Beispiel zeigt, wie tiefgreifend Veränderungen in der betrieblichen Ablauforganisation und den Arbeitsprozessen sein müssen, damit der Einsatz eines Geographischen Informationssystems Rationalisierungseffekte hervorruft, die die hohen Investitionskosten rechtfertigen. Von grundlegender Bedeutung für eine erfolgreiche Einführung ist die Kommunikation zwischen und die Planung mit allen beteiligten Disziplinen und Personen.

2.5.3 Kosten von GIS-Projekten

Projekte zur Einführung von Informationssystemen scheitern in den seltensten Fällen an der Technologie. Trotzdem wird sich bei der Anschaffung beziehungsweise Ausschreibung an dieser orientiert. Dagegen werden die wichtigsten Faktoren für die erfolgreiche Installation wie das Projektmanagement, die Zielsetzung und Planung sowie ein wirksames Controlling oft vernachlässigt [KLEMMER 04 (a)]. Dazu kommt im ungünstigsten Fall die Verselbstständigung der Arbeiten an einem Geographischen Informationssystem. Das heißt, dass der Einsatz des Systems nicht mehr die ihm zugeordneten Aufgaben erfüllt und somit nicht den Unternehmenszielen dient.

Die Aufschlüsselung der Kosten von erfolgreichen GIS-Projekten bestätigt die in der vorliegenden Arbeit dargestellte informationstechnische Sichtweise von Geographischen Informationssystemen. Nicht die Software und somit technische Details sind die größten Posten bei der Einführung eines Geographischen Informationssystems, sondern die Bereitstellung der Geodaten. Diese können teilweise von Behörden und externen Anbietern einge-

kauf werden. Oft müssen sie aber aufgrund von betrieblichen Anforderungen bezüglich der Genauigkeit oder der Detailschärfe selbst hergestellt werden.

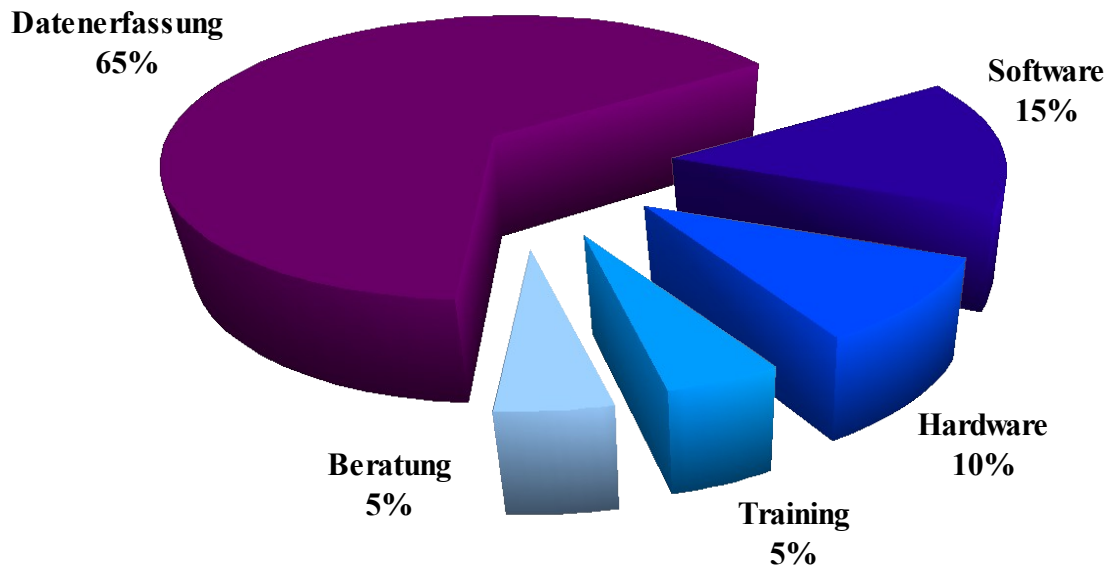


Abbildung 28: Durchschnittliche Kostenaufteilung eines GIS-Projektes [www.laum.uni-hannover.de]

Wie Abbildung 28 zeigt, liegt der Kostenanteil der Datenerfassung inklusive dem Kauf von Geodaten bei circa 65 Prozent. Bei vereinzelt GIS-Projekten sowie bei Erweiterungen von bestehenden Systemen kann sich dieser Anteil auf bis zu 90 Prozent erhöhen. Diese Dominanz der Datenkosten wird oft unterschätzt und führt darum zum Scheitern des GIS-Projektes [KLEMMER 04 (a)].

Eine genaue Planung der Datenerfassung ist somit die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung der Einführung eines Geographischen Informationssystems. Auch wenn für die Ersterfassung erhebliche personelle und finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt werden müssen, muss diese irgendwann abgeschlossen und der geplante, produktive Praxisbetrieb aufgenommen werden. Viele Konzepte für eine GIS-Einführung beinhalten diese Punkte nur mangelhaft oder gar nicht und sind somit im Voraus zum Scheitern verurteilt. Ein weiterer Punkt, der oft nicht beachtet wird, ist das Fehlen von wirtschaftlichen Fortführungskonzepten für die Gewährleistung eines aktuellen Datenbestandes. Oft fehlt auch ein effizientes Controlling, so dass GIS-Projekte nicht nachkalkuliert werden.

Ein Konzept für die Einführung eines Geographischen Informationssystems muss auch einen Anforderungskatalog an die Geodaten beinhalten. Die Genauigkeit und der Umfang

der Datenerfassung müssen genauso geplant sein wie das Festlegen der Form für die Dokumentation der Geodaten (Metadatenkonzept). Die Lebensdauer von betrieblichen Daten ist um ein Vielfaches höher als die der Hard- und Software. Daten können unter bestimmten Voraussetzungen bis zu 70 Jahre verwendet werden, bei einer statistisch minimalen Nutzung von 25 Jahren (Abbildung 29).

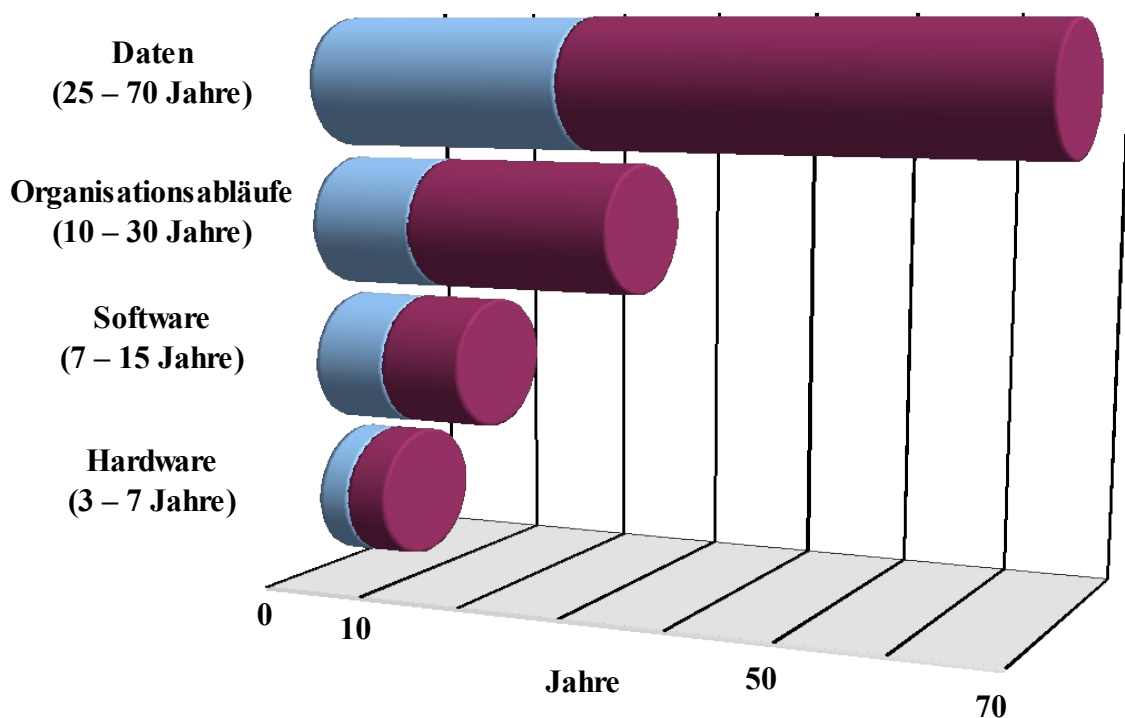


Abbildung 29: Nutzungsdauer von GIS-Komponenten [KLEMMER 04 (a)]

Für eine GIS-Architektur mit Geodatenserver, Mehrbenutzerverwaltung und Visionierungstechnologie sowie der Möglichkeit einer Einbindung von *Thin Clients* über das Intranet/Internet muss bei Produkten von namhaften Herstellern Geographischer Informationssysteme mit reinen Softwarekosten zwischen 50 000,00 und 75 000,00 Euro gerechnet werden. Bei einer solchen minimalen Lösung ist das System mit nur einem Desktop-GIS für einen Fachanwender ausgestattet. Die Kosten erhöhen sich dementsprechend bei der Einrichtung eines Lizenzservers und der Installation weiterer Softwarepakete sowie für zusätzliche Module, zum Beispiel eine dreidimensionale Analyse von Geodaten oder die Verwendung von GPS-Daten.

Grundlagen

Abbildung 30 zeigt schematisch den Verlauf des Personalaufwandes und die Entwicklung der Kosten eines GIS-Projektes sowie den Zeitpunkt des *Return of Invest*.

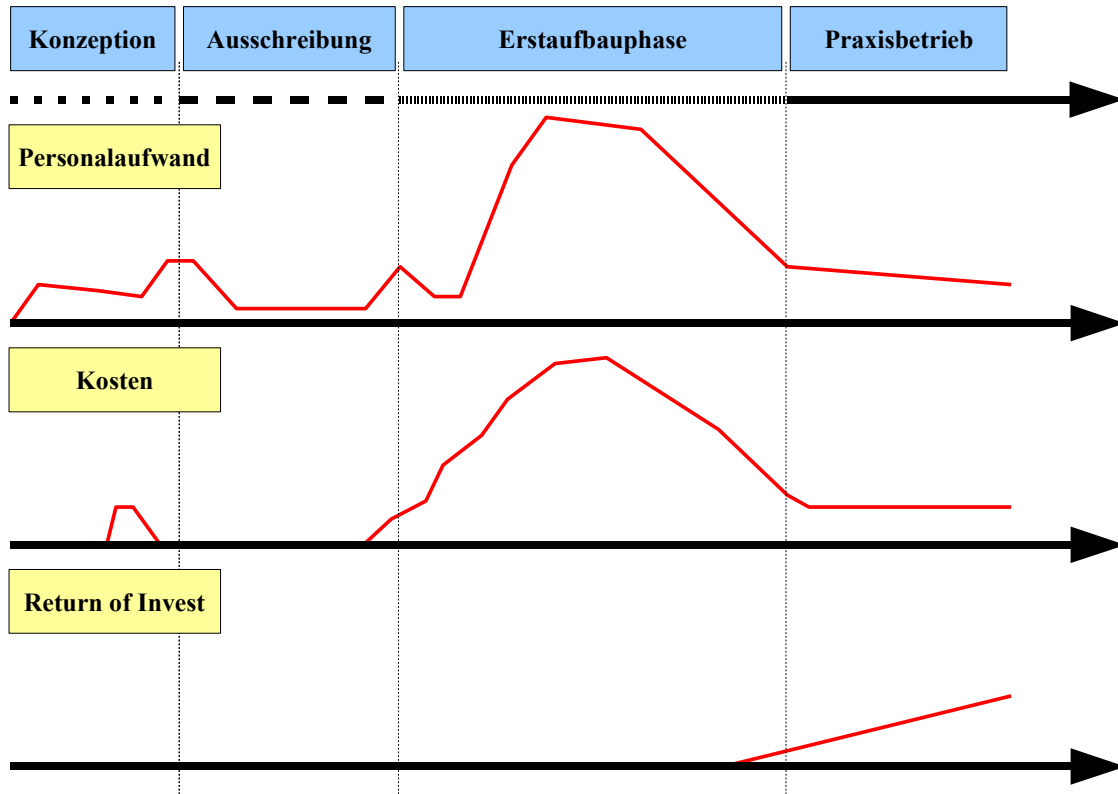


Abbildung 30: Entwicklung von Personalbedarf und Kosten eines GIS-Projektes

3 Einsatz von GIS-Anwendungen

3.1 Allgemeine Aspekte

3.1.1 Eingrenzung des Themenbereiches

Das folgende Kapitel beschreibt an einigen ausgewählten Beispielen den Einsatz von Geographischen Informationssystemen im Bergbau. Dabei werden neben Anwendungen innerhalb von Unternehmen aus dem Bergbausektor auch Geographische Informationssysteme vorgestellt, die in Behörden und an Forschungseinrichtungen zum Einsatz kommen. Hierzu wird nach einer kurzen Beschreibung von relevanten betrieblichen Daten ein Geographisches Informationssystem stellvertretend für die Anwendung solcher Programme in dem jeweiligen Sektor beziehungsweise für das entsprechende Unternehmen dargestellt.

Eine detaillierte Beschreibung aller eingesetzten Programme sowie deren technische Analyse kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht geleistet werden. Es existieren allein im Bereich der einzelnen Braunkohlentagebaue der *RWE Power AG* über sieben verschiedene Geographische Informationssysteme, die durch zentral bereitgestellte Anwendungen aus dem firmeneigenen Intranet ergänzt werden.

Der Schwerpunkt der folgenden Kapitel liegt somit in der Beschreibung des jeweiligen betrieblichen Einsatzes von Geographischen Informationssystemen und nicht in der Systemtechnik. Eine Bewertung des betrieblichen Einsatzes wie auch der installierten GIS-Architektur und Geodateninfrastruktur wird nicht durchgeführt. Die Komplexität einer solchen Aufgabe würde den zeitlichen und thematischen Rahmen einer Diplomarbeit übersteigen.

Betriebliche Daten und die Informationen über die verwendeten Geographischen Informationssysteme basieren auf Firmenprospekten und unternehmenseigenen Präsentationen. Zudem konnte während persönlicher Gespräche und Demonstrationen vor Ort Einblick in den betrieblichen Alltag und in die Aufgabenfelder der eingesetzten Geographischen Informationssysteme gewonnen werden.

3.2 Einsatz in der Rohstoffindustrie

3.2.1 RWE Power AG (Braunkohle/Tagebau)

Die *RWE Power AG* ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der *RWE AG*. Die Rohstoffgewinnung und Stromerzeugung ist ihr Kerngeschäft. Dieser Bereich ist mit seinen 18 702 Mitarbeitern (in- und ausländischer Beteiligungsgesellschaften), 32 727 Megawatt Kraftwerkskapazität in Deutschland (Gesamtkapazität 33 664 Megawatt) und einem Außenumsatz von 6,832 Mrd. Euro einer der größten Stromproduzenten Europas.

Insgesamt sind rund 85 900 Mitarbeiter bei der *RWE AG* national und international beschäftigt. Der Umsatz lag im Geschäftsjahr 2005 bei 42,8 Mrd. Euro. Sie versorgen mit den verschiedenen Bereichen innerhalb der Konzernstruktur (Abbildung 31) 21 Mio. Menschen mit Strom und 11 Mio. Menschen mit Gas sowie 18 Mio. Menschen mit Wasser.

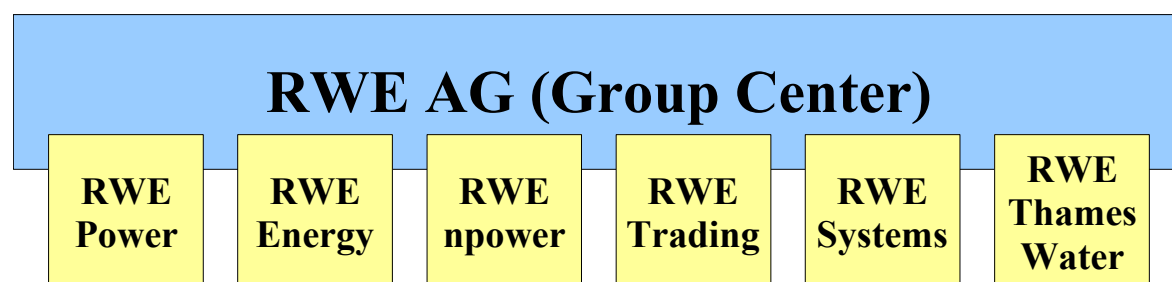


Abbildung 31: Konzernstruktur der RWE AG

Die *RWE Power AG* führt die Gesellschaften *RWE Dea* und *Harpen*. Die Stromerzeugung stützt sich vor allem auf die aus eigenen Tagebauen im Rheinland geförderte Braunkohle (10 839 Megawatt, 32 Prozent der gesamten Kraftwerkskapazität). Tabelle 10 listet die Kraftwerkskapazitäten, geordnet nach den Energieträgern, auf.

Energieträger	Kraftwerkskapazität [Megawatt]	Gesamtkapazität [Anteil in Prozent]	Lastfall
Braunkohle	10 839	32	Grundlast
Steinkohle	9 485	28	Grund- und Mittellast
Kernenergie	6 308	19	Mittel- und Spitzenlast
Gas	3 905	12	Mittel- und Spitzenlast
Sonstige*	3 117	9	Mittel- und Spitzenlast
* Wasserkraft, Öl, Wind und Biomasse			

Tabelle 10: Kraftwerkskapazitäten nach Primärenergieträgern (Stand 31.12.2005), [www.rwe.com]

Der Tagebau *Hambach* gehört neben den Tagebauen *Garzweiler* (I und II) und *Inden* zu den aktiven Braunkohlentagebauen im Rheinischen Revier. Mit circa 350 Meter Teufe ist er der tiefste Tagebau in Deutschland und liegt südlich der *Sophienhöhe*. Innerhalb des 85 Quadratkilometer großen Bewilligungsfeldes lagern rund 2,5 Mrd. Tonnen Braunkohle bis zu einer Teufe von 450 Metern. In Tabelle 11 werden die aktuellsten Kennzahlen des Tagebaus *Hambach* aufgelistet [www.rwe.com].

Tabelle 11: Kennzahlen des Tagebaus Hambach

Tagebau Hambach (Stand 2004)			
Größe des genehmigten Abbaufeldes (Braunkohlenplan)	8 500 Hektar		
Betriebsfläche (Anfang 2005)	3 389 Hektar		
Kohleninhalt (ab Anfang 2005)	1 850 Mio. Tonnen		
Verhältnis Abraum zu Kohle	6,2 : 1		
Jährliche Abraumleistung	250 bis 300 Mio. m ³		
Jährliche Kohlenförderung	40 Mio. Tonnen		
Schaufelradbagger			
Anzahl der Geräte	2	1	5
Kapazität [m ³ /Tag]	110 000	200 000	240 000
Absetzer			
Anzahl der Geräte	1	6 (einer in Bergheim)	
Kapazität [m ³ /Tag]	150 000	240 000	
Bandanlagen			
Gesamtlänge	90 Kilometer		
Rekultivierung			
Landinanspruchnahme bis Ende 2004	4 452 Hektar		
Wiedernutzbarmachung bis Ende 2004	1 063 Hektar		
davon landwirtschaftlich	12 Hektar		
davon forstwirtschaftlich	1 051 Hektar		

Im Tagebau *Hambach* werden, wie auch den beiden anderen Tagebauen, in mehreren Bereichen Geographische Informationssysteme für die Planung und Überwachung der bergbaulichen Tätigkeiten eingesetzt. Beispiele hierfür sind der Einsatz in der Markscheiderei zur kurzfristigen sowie langfristigen Abbauplanung, in der Wasserhaltung zur Koordination

Einsatz von GIS-Anwendungen

des wassertechnischen Betriebes innerhalb und außerhalb des Tagebaus sowie in der Rechtsabteilung zur Bearbeitung von rechtlichen Fragestellungen im Bereich von Liegenschaften. Zum größten Teil greifen diese Systeme auf die gleichen Datenbestände und Datenserver zurück. Abbildung 32 zeigt einen Screenshot des in der Markscheiderei eingesetzten Geographischen Informationssystems *GeoMedia Professional* (Version 5.2) für den Bereich einer Endböschung.

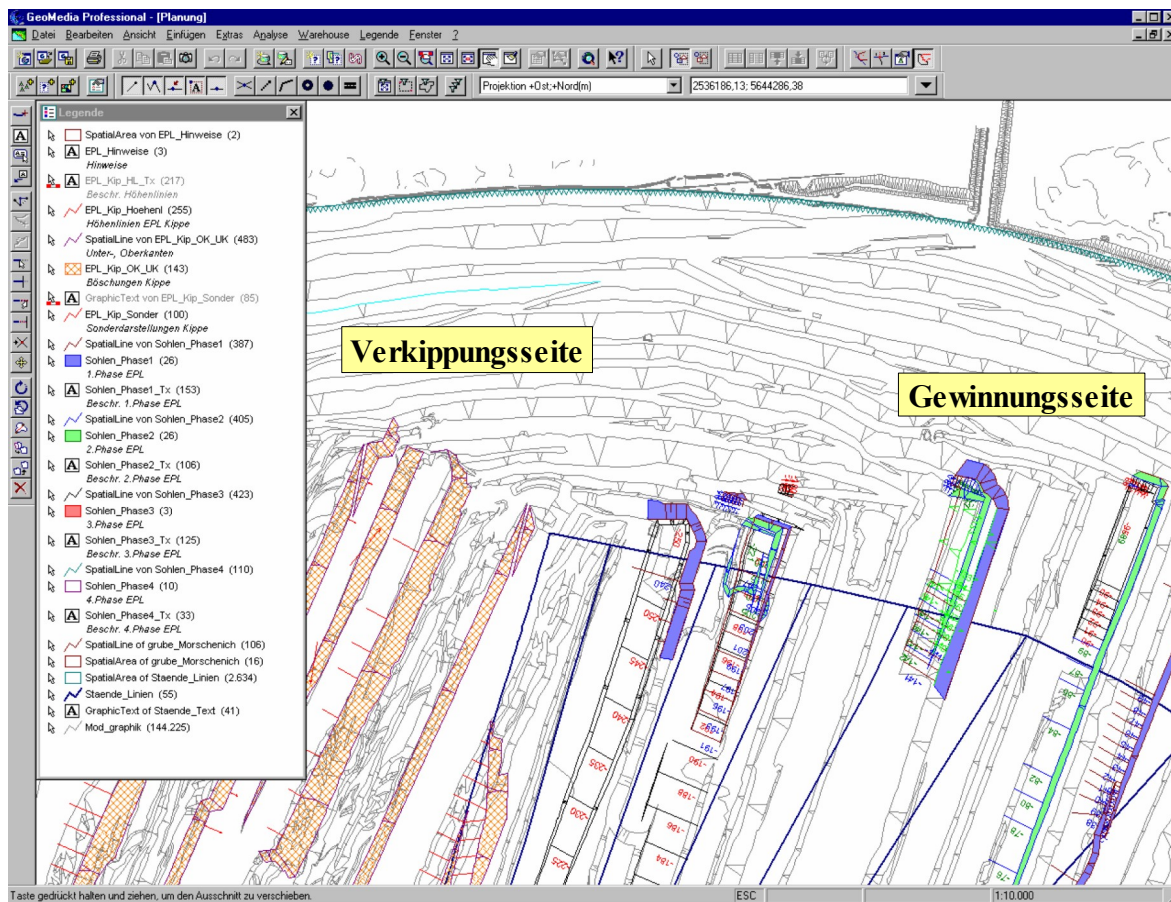


Abbildung 32: Übersicht mit Einsatzplänen für die Gewinnungs- und Verkippsungsseite (DIEB)

Jede Abteilung aktualisiert bei Veränderung der Datengrundlage die Geodaten, für die sie in ihrem Geschäftsfeld verantwortlich ist. Über Nacht werden diese Daten auf den Server geladen, so dass jede Abteilung mit Geodaten arbeitet, die in ihrer Aktualität nicht älter als 24 Stunden sind. Ergänzt werden diese Geodaten in geringem Maße noch durch abteilungseigene Datenmengen wie auch durch zentral über das unternehmenseigene Intranet verfügbare Informationen. Dabei können die Geodaten, die in der *RWE Power AG* Zentrale in Köln verwaltet werden, entweder auf den lokalen Rechner heruntergeladen oder, wie bei modernen Geodateninfrastrukturen üblich, in das Geographische Informationssystem ein-

gebunden werden. Im Tagebau *Hambach* werden die Systeme zurzeit nacheinander auf die neueste Version des Geographischen Informationssystems *GeoMedia* beziehungsweise *GeoMedia Professional* (Version 6.1) der Firma *Intergraph* umgestellt.

Das *Datenbankorientierte Informationssystem Endböschung (DIEB)* soll als Beispiel für den Einsatz von Geographischen Informationssystemen im Tagebau *Hambach* vorgestellt werden. Als Planungs- und Dokumentationswerkzeug umfasst dieses System alle relevanten fachbereichsspezifischen Daten für die Endböschungen im Tagebau. Diese Daten stammen jeweils aus den Datenbanksystemen verschiedener Fachbereiche. So vereint *DIEB* Informationen zur Endböschungsgestaltung der Fachbereiche *Tagebauplanung* und *Einsatz Großgeräte* sowie *Gebirgsmechanik*, *Geologie* und *Hydrologie*.

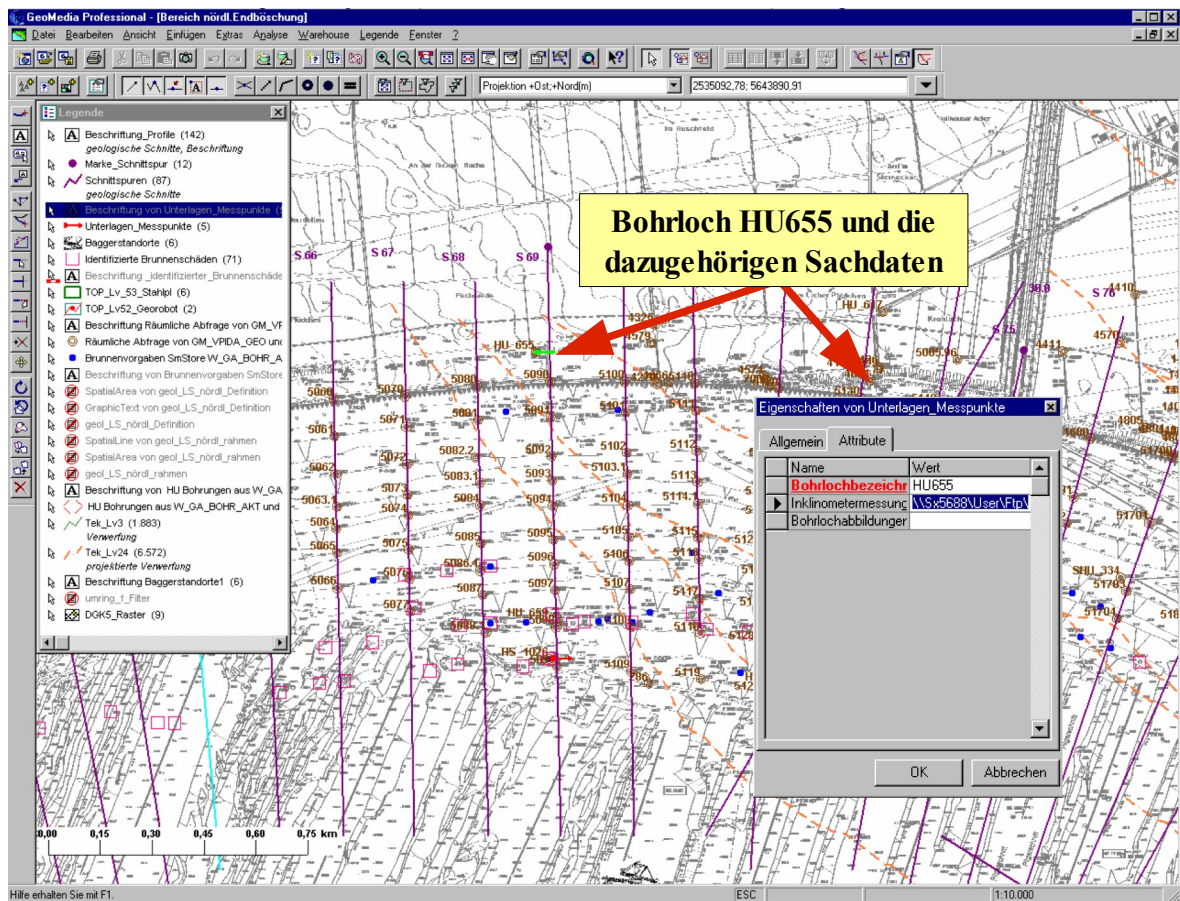


Abbildung 33: Übersicht Endböschung mit Messpunkten - BBM, WABIS, Profile, Situation, Tektonik (DIEB)

Dabei handelt es sich um eine sehr umfangreiche Sammlung von Informationen, wie zum Beispiel Daten und Geodaten aus Datenbanksystemen wie *Oracle*, *Microsoft Access* und anderen auf der ODBC-Technologie basierenden Systemen. Zusätzlich sind in *DIEB* auch

Einsatz von GIS-Anwendungen

CAD-Zeichnungen integriert. Abgerundet wird das System durch die Einbindung von Bildern im *TIFF*-Format und Textdokumenten. Wie bei jedem Geographischen Informationssystem sind die visualisierten Informationen mit einer Vielzahl von sachbezogenen Informationen hinterlegt. So zeigt Abbildung 33 (Seite 71) unter anderem die Lage und die sachbezogenen Informationen des Bohrloches HU655. Dabei können über das Kontextmenü der Sachdaten weitere Informationen wie zum Beispiel Inklinometermessungen des Bohrlochs aufgerufen werden (Abbildung 34).

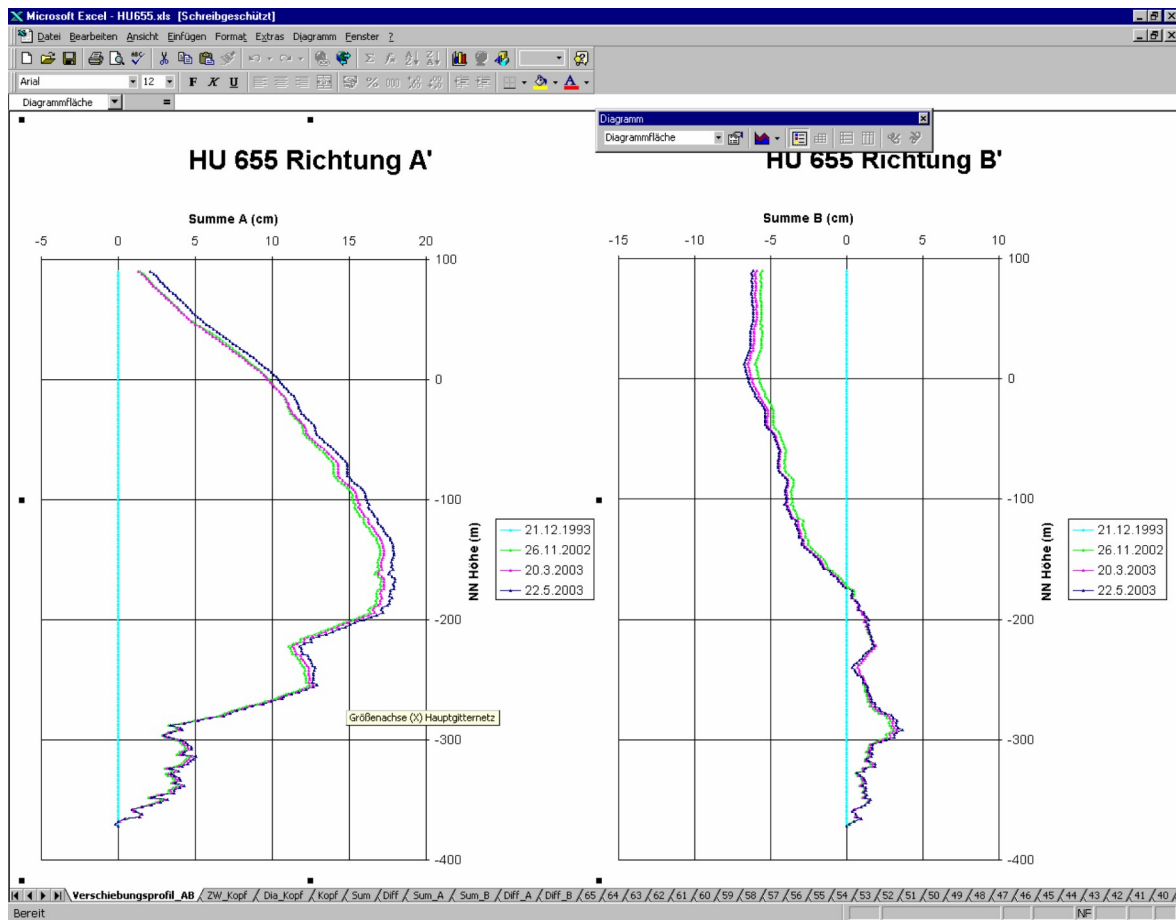


Abbildung 34: Inklinometermessung der Bohrung HU655 (DIEB)

Weitere Informationen, die über die visuelle Schnittstelle des Geographischen Informationssystems abrufbar sind, stellen beispielsweise Ergebnisse von geophysikalischen Messungen sowie die dazugehörigen Verrohrungspläne von Bohrungen im *TIFF*-Format dar. Ebenfalls im *TIFF*-Format liegen Daten über die Lagerstätte und Tektonik auf der Grundlage von CAD-Zeichnungen (*Mikrostation*) vor. Es handelt sich bei diesen lagerstättenrelevanten Daten um Rasterdaten. Somit können diese Daten maßstäblich visualisiert,

aber nicht mit weiteren sachbezogenen Informationen hinterlegt werden.

Abbildung 35 zeigt die gleiche Situation der Endböschung wie in Abbildung 32 und Abbildung 33, die nun mit Informationen wie Geologie und Tektonik aus dem *Fachbereich Geologie* hinterlegt ist.

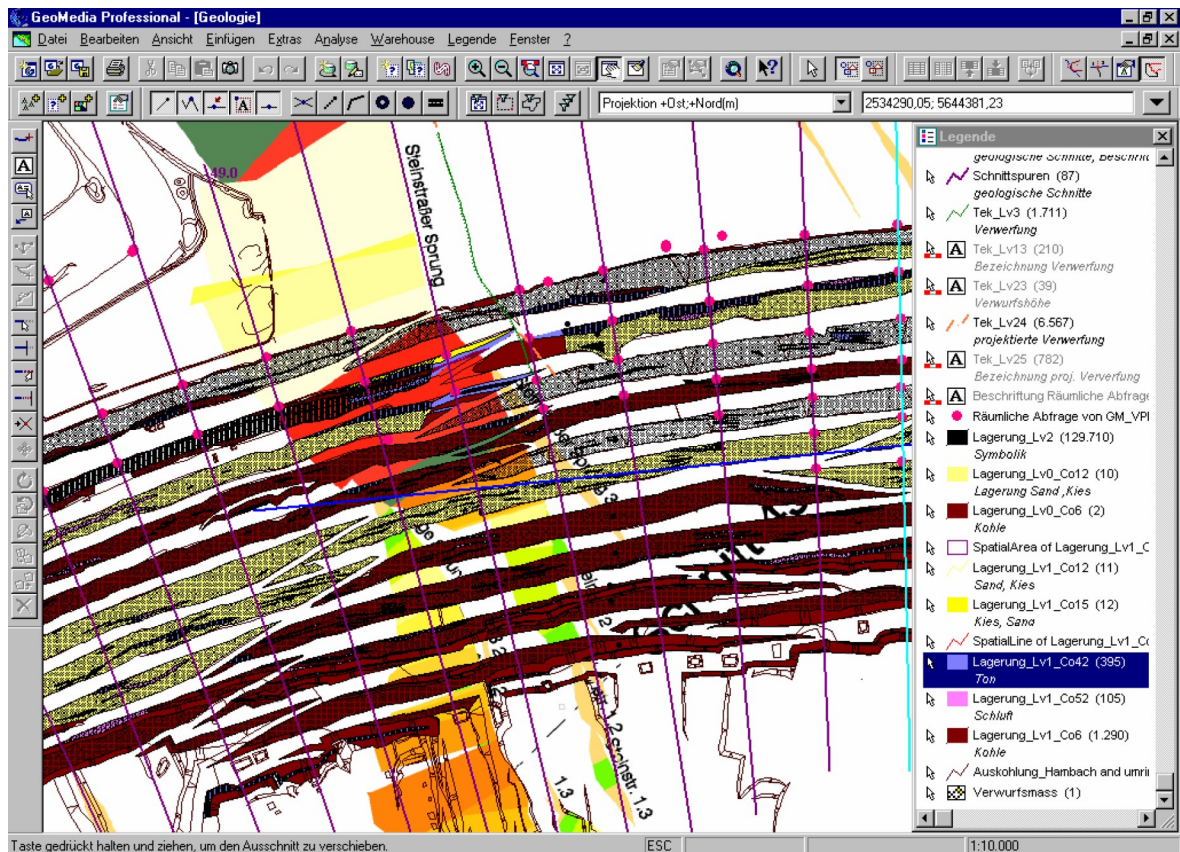


Abbildung 35: Übersicht Endböschung mit Lagerstätteninformationen (DIEB)

Aus dem Bereich *Tagebauplanung* und *Einsatz Großgeräte* können Informationen über aktuelle wie auch historische Positionen der Großgeräte visualisiert werden. Basis für diese Darstellung sind *SABAS*-Daten (*Satellitengestützte Baggereinsatzsteuerung*).

SABAS ermöglicht auf der Grundlage von *GPS*-Technologie und der Vermessung des entsprechenden Großgerätes eine kontinuierliche Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit im Dezimeterbereich [GUDER/WEBER/HOLZHEIM/SCHULTE 04 (a)].

So können die Positionsdaten der Schaufelradbagger im *DIEB* mit den folgenden Zeitintervallen visualisiert werden:

- 0 Stunden bis 2 Stunden (vor Anfragezeitpunkt)

Einsatz von GIS-Anwendungen

- 2 Stunden bis 4 Stunden (vor Anfragezeitpunkt)
- 4 Stunden bis 6 Stunden (vor Anfragezeitpunkt)
- 8 Stunden bis 16 Stunden (vor Anfragezeitpunkt)
- 16 Stunden bis 24 Stunden (vor Anfragezeitpunkt)
- Älter als 24 Stunden (vor Zeitpunkt der Anfrage)

Abbildung 36 zeigt das Ergebnis einer Abfrage aller verfügbaren SABAS-Daten für einen Schaufelradbagger. Blau hinterlegt sind in der Legende des Informationssystems die Datenfiles der Positionsdaten. Dabei steht hinter der Angabe des jeweiligen Zeitintervalls in Klammern die absolute Anzahl der Positionsdaten.

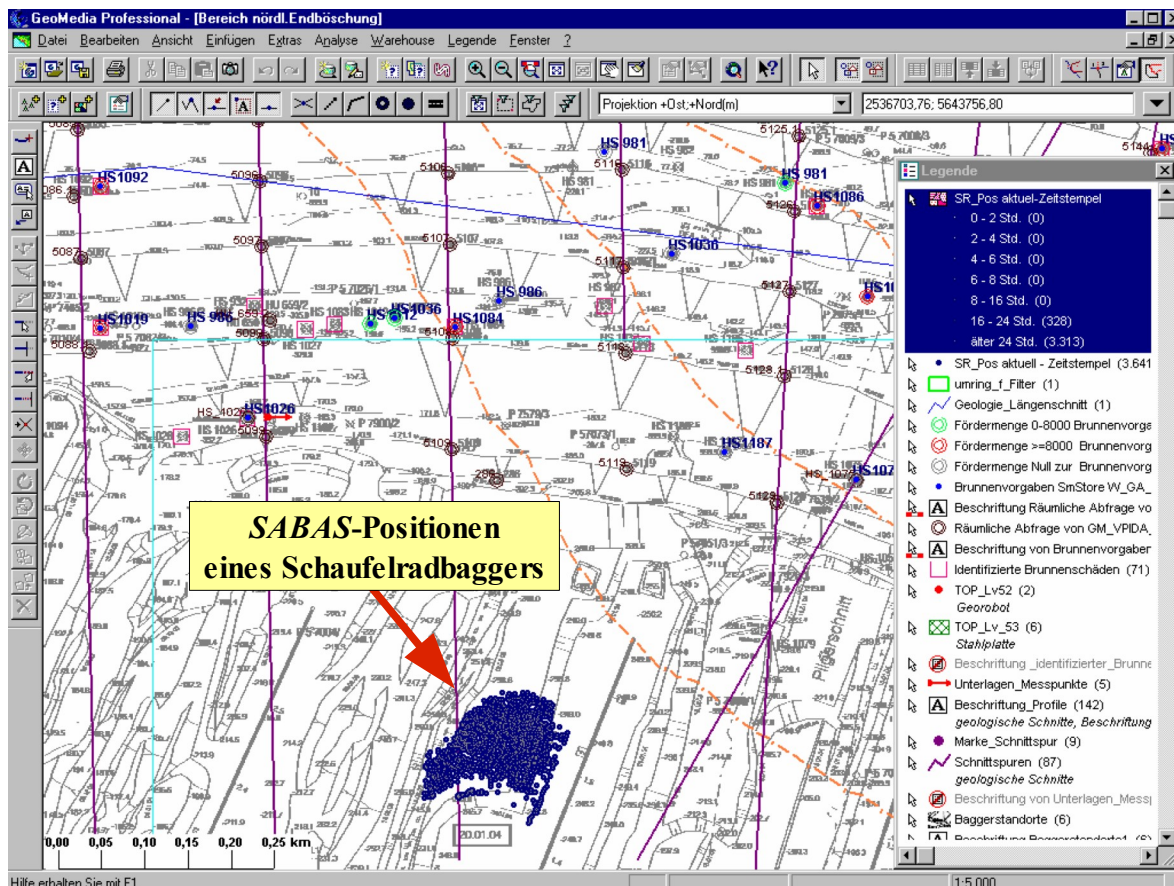


Abbildung 36: Übersicht Messpunkte mit ausgewählten SABAS-Daten - Position eines Schaufelradbaggers über die Zeit (DIEB)

Gut zeichnet sich in Abbildung 36 die bogenförmige Schneidbahn des Schaufelradbaggers ab. Genauso umfangreich wie das hier vorgestellte Geographische Informationssystem *DIEB* ist auch das in der Wasserhaltung eingesetzte *Wasserwirtschaftliche Bohrungs-informationssystem (WABIS)*.

3.2.2 Quarzwerke GmbH (Sand- und Erdenindustrie/Tagebau)

Die Unternehmensgeschichte der heutigen *Quarzwerke GmbH* geht bis ins Jahr 1884 auf die beiden Tiefbauingenieure *Grosspeter* und *Koenen* zurück, die im Auftrag Dritter im Bereich des *Frechener Walds* ein Quarzsandvorkommen erschließen sollten. Ein Jahr später waren sie selber Bergwerksbesitzer. In den letzten 118 Jahren entstand ein großes mittelständisches, auf den Abbau von Quarz, Kaolin und Feldspat spezialisiertes, Bergbauunternehmen mit internationalen Standorten. Mit circa 2 000 Mitarbeitern erwirtschaftet die *Quarzwerke GmbH* mit Tagebauen in Deutschland, Österreich, Polen, der Tschechischen Republik und Südafrika einen jährlichen Umsatz von rund 220 Mio. Euro. Seit 1985 übernimmt das Unternehmen durch Gründung von Beteiligungsgesellschaften mit Partnern aus der Logistikbranche auch den Transport per Bahn und LKW bis zum Kunden. Tabelle 12 zeigt einige ausgewählte Einsatzbereiche für Quarzsande.

Tabelle 12: Einsatzbereiche von Quarzsanden

Glasindustrie		Gießereien		Bauchemie		Keramik-industrie		Chemische Industrie	
Rohstoff	Flachglas	Formengrundstoff	Grauguss	Füllstoff	Klebesysteme	Herstellung	Steingut	Grundstoff	Wasserglas
	Hohlglas		Temperguss		Estrich		Steinzeug		Zeolithe
	Pressglas		Stahlguss		Spachtelmasse		Porzellan		Schichtsilikate
	Gussglas		Metallguss		Mörtel		Verblendern		Siliziumcarbid
	Glasfaser		Präzisionsguss		Putze		Fliesen		
	Glaswolle		Beschichtung	Betonsanierung					
		Bautenschutz							

Die Unternehmensstruktur der *Quarzwerke GmbH* gliedert sich neben der Hauptverwaltung in drei große Geschäftsbereiche. Dabei ist der *Geschäftsbereich 1* für Produktion und Auslieferung von Feucht- und Tockensanden sowie für die im Unternehmen entwickelten Quarzmehle an die in Tabelle 12 aufgelisteten Industriebranchen verantwortlich. Der *Geschäftsbereich 2* liefert darüber hinaus veredelte mineralische Spezialprodukte, die feinstvermahlen und teilweise oberflächenbeschichtet sind. Die Leitung und der Vertrieb von Produkten aus den Betrieben in Polen und der Tschechischen Republik in den osteuropäischen Märkten unterliegt dem *Geschäftsbereich 3*.

Einsatz von GIS-Anwendungen

Die Quarzsandvorkommen in Europa entstanden vor 20 bis 60 Mio. Jahren am Ende der Kreidezeit (Schwerpunkt im Tertiär). Heute werden diese Lagerstätten von der *Quarzwerke GmbH* durch Nass- und Trockengewinnung abgebaut. Die Tagebaue *Gambach* (Hessen) und *Haltern* (Westfalen) sind Nassgewinnungsbetriebe. Im Tagebau *Frechen* wird der Quarzsand mit Hilfe moderner Schaufelradbagger auf zwei Gewinnungstrossen abgebaut [www.quarzwerke.de].

Geographische Informationssysteme werden bei der *Quarzwerke GmbH* in zwei Bereichen eingesetzt. Schwerpunkt der GIS-Anwendungen ist die Abteilung Geologie/Rohstoffsicherung, die auf diesem Sektor für alle Betriebe als interner Dienstleister fungiert. Daneben bedient sich auch die Rechtsabteilung der *Quarzwerke GmbH* eines Geographischen Informationssystems für die Bearbeitung von Fragestellungen im Kontext betriebseigener und -fremder Liegenschaften, die vom Abbau betroffen sind (Abbildung 37).

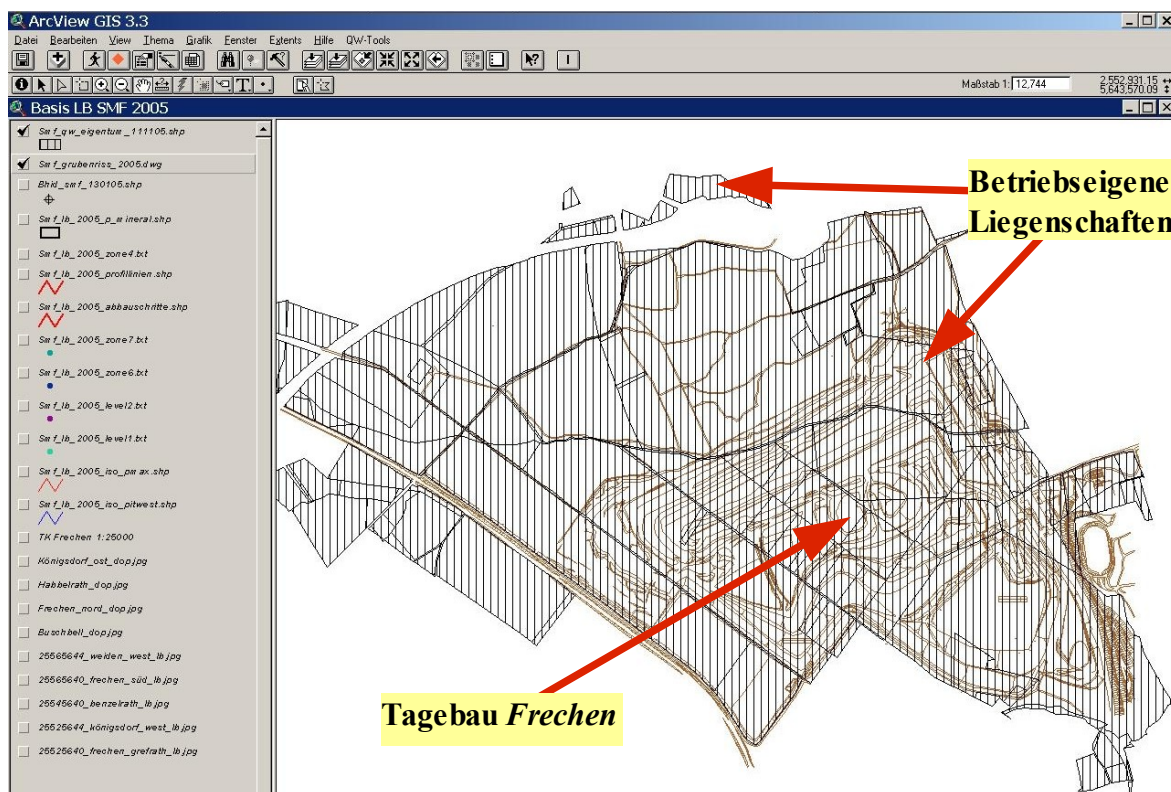


Abbildung 37: Darstellung von betriebseigenen Liegenschaften

In der Abteilung *Geologie/Rohstoffsicherung* werden Geographische Informationssysteme vor allem für die Lagerstättenbearbeitung eingesetzt. Neben thematischen Karten mit Abbauständen für die Tagebauplanung werden hauptsächlich Karten zur Planung und Steuer-

nung der Qualität (Qualitätsmanagement) auf der Basis von Berechnungsergebnissen der Bergbauplanungssoftware *DataMine Studio* der Firma *Datamine Corporate Limited* dargestellt [www.vulcanmaterials.com]. Abbildung 38 zeigt eine dieser geologischen Karten, die auf Explorationsbohrungen mit einem Bohrraster von 200 Metern basieren. Diese Dimension der Exploration reicht aufgrund der homogenen Lagerstätte aus.

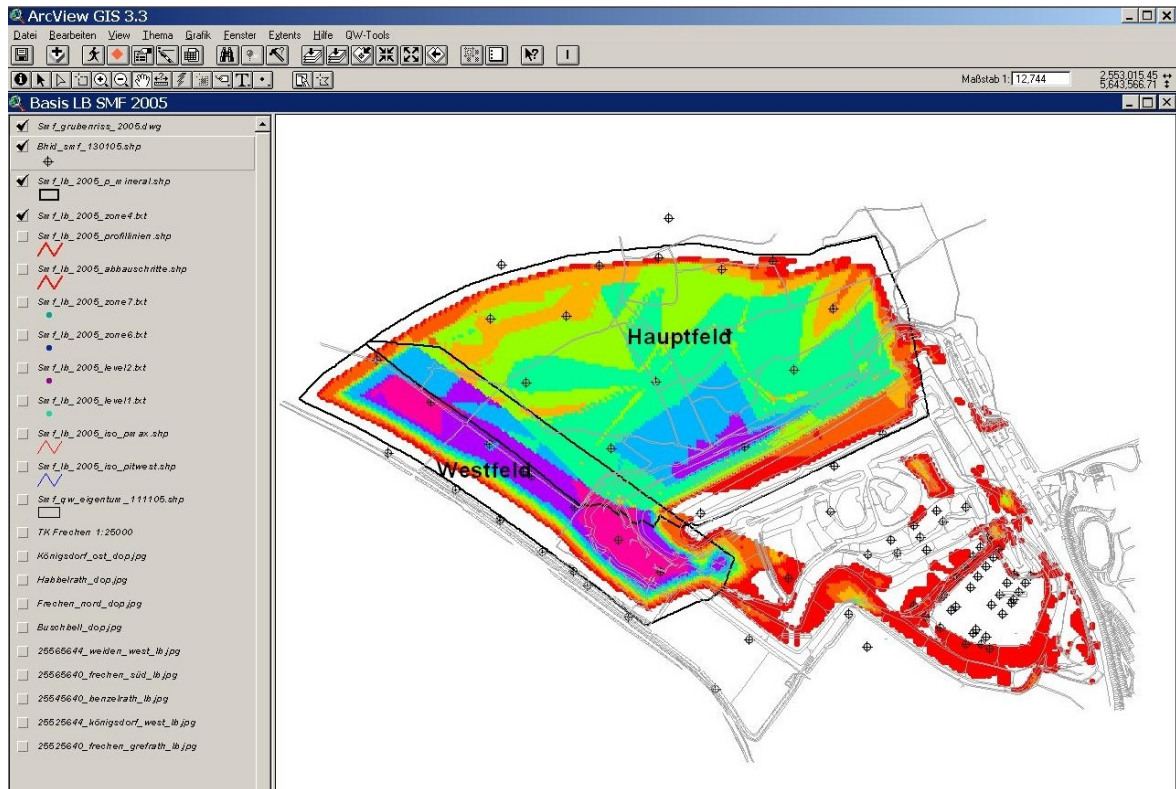


Abbildung 38: Qualitätsparameterdarstellung der Quarzsandlagerstätte im Bereich des Tagebaus Frechen

Die Daten werden in *DataMine Studio* aufbereitet und dienen als Grundlage für ein Blockmodell mit einer Kantenlänge zwischen 10 Metern und 20 Metern. Die Ergebnisse der Berechnungen im Blockmodell werden exportiert und in das Geographische Informationssystem eingelesen. So entstehen geologische Karten mit Lagerstätteninformationen wie zum Beispiel den Eisen- und Titangehalten sowie der allgemeinen Sandqualität des abbaubaren Materials.

Auf dieser Grundlage werden von der Abteilung *Geologie/Rohstoffsicherung* in bestimmten zeitlichen Abständen umfangreiche Lagerstättenberichte des Tagebaus *Frechen* für die Betriebs- und Unternehmensleitung angefertigt. Lagerstättenberichte für andere Betriebe werden nach Anfrage ebenfalls erstellt.

Einsatz von GIS-Anwendungen

Abbildung 39 zeigt neben der Lage der Explorationsbohrungen im Tagebau Frechen und in dessen Vorfeld auch die Lage von geologischen Profilen für das gesamte Bewilligungsfeld des Tagebaus.

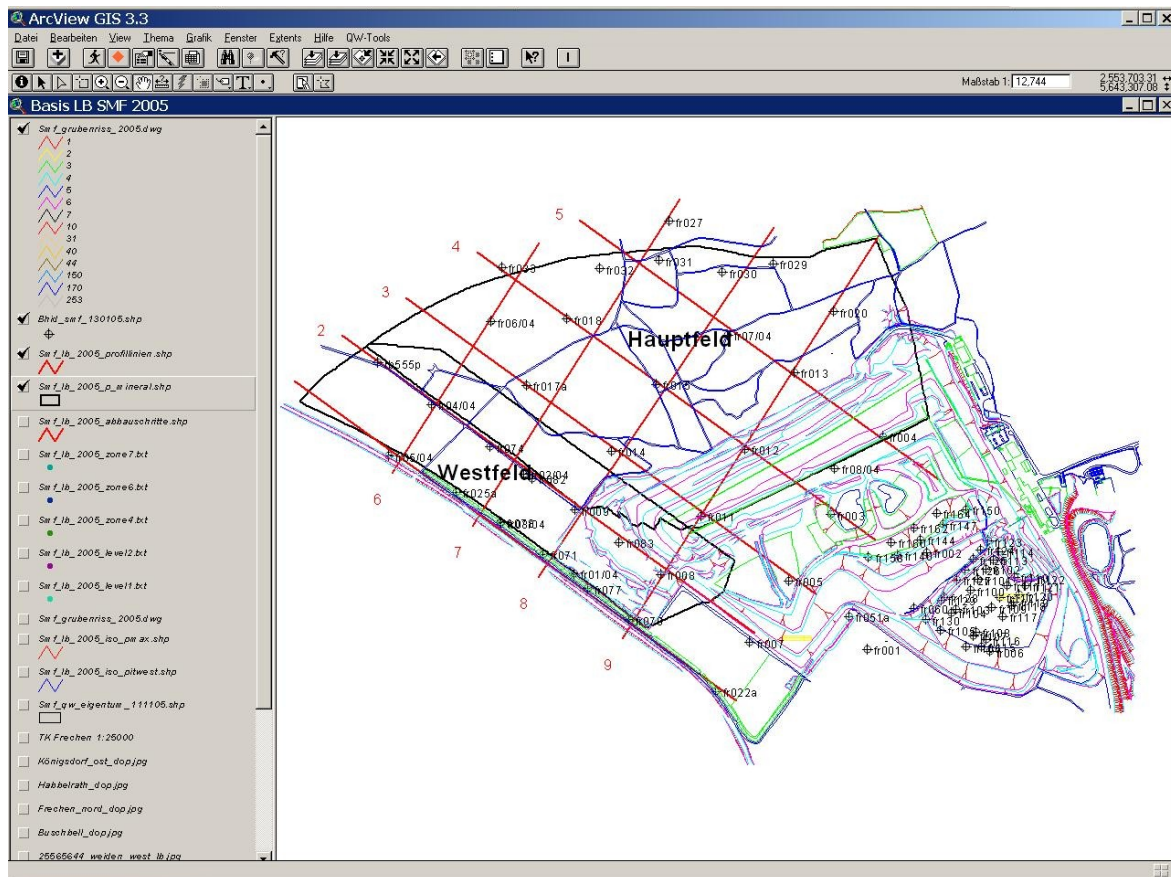


Abbildung 39: Lage von Explorationsbohrungen im Tagebau Frechen und in dessen Vorfeld

Zum Einsatz kommt ein Geographisches Informationssystem der Firma *ESRI*. Dabei handelt es sich um Einzelplatzlizenzen, von denen im gesamten Unternehmen rund ein halbes Dutzend installiert sind. Die Geodaten liegen nicht separat auf einem Geodatenserver, sondern sind in die unternehmensweite Serverarchitektur integriert. Die Daten liegen auf speziellen Serverlaufwerken, geordnet nach den Geschäftsbereichen (Divisionen). Eine Hierarchiestufe tiefer liegen die einzelnen Projektordner, die wiederum allgemein zugängliche Ordner sowie Ordner mit speziellen Zugriffsrechten beinhalten. Ergänzt wird diese Datenstruktur noch durch so genannte *Basisordner*, in denen allgemein zugängliche Informationen abgespeichert sind. Dazu zählen zum Beispiel amtliche topographische und geologische Karten, Orthophotos von der Befliegung der Betriebe und Liegenschaftsgrenzen unternehmenseigener Grundstücke. Durch die Zuordnung zu einem beziehungsweise

Einsatz in der Rohstoffindustrie

die Zuständigkeit bestimmter Sachbearbeiter für ein Aufgabenfeld wird die Aktualität der Geodaten gewährleistet. Bei der Projektarbeit speichert der Sachbearbeiter alle relevanten Daten lokal auf seinem Rechner, bearbeitet die Geodaten und speichert diese und die Ergebnisse seiner Analysen auf dem Server. Zusätzlich werden bei Beendigung von Projekten zur Datensicherung alle Daten mit Ausnahme der großen Rasterdatensätze auf CD gebrannt. Dadurch sind zwar alle Daten eines Projektes zusammen abgelegt, es entstehen jedoch durch diese Arbeitsablauforganisation große Datenredundanzen.

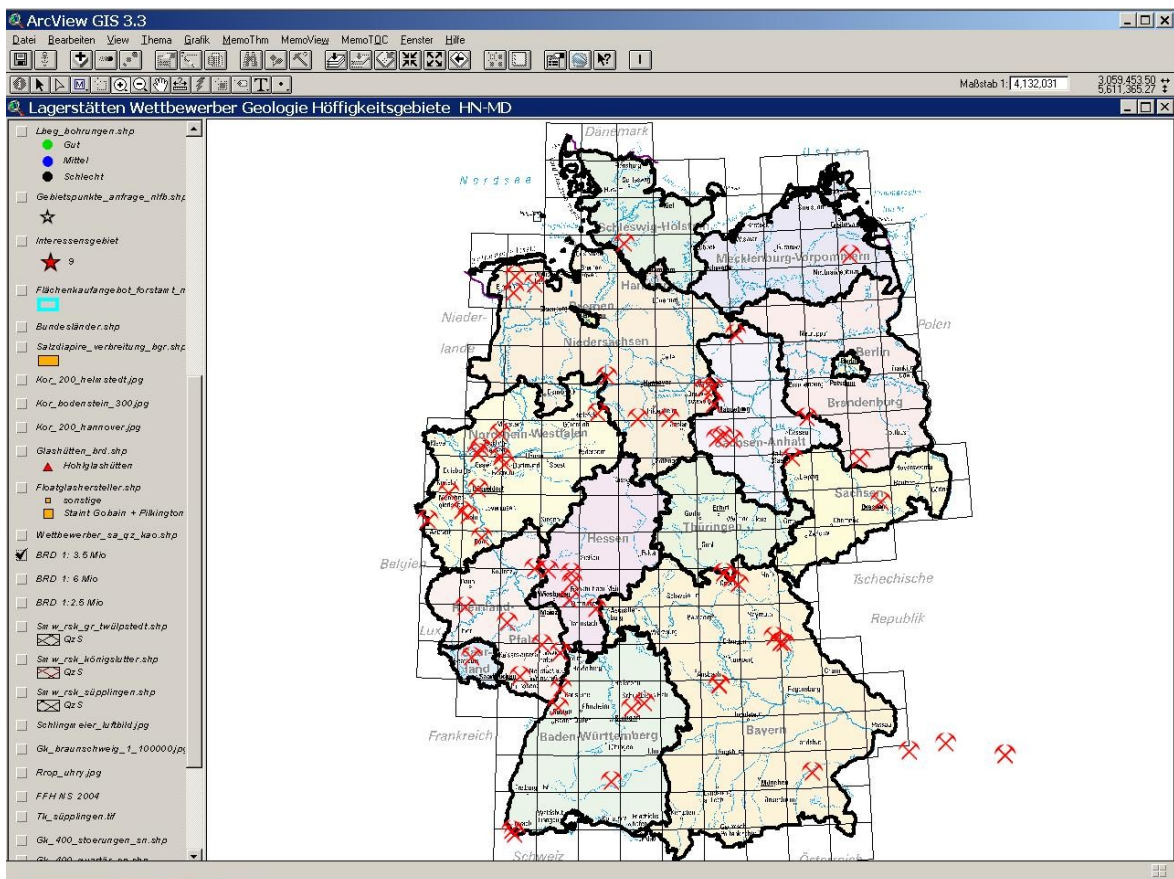


Abbildung 40: GIS-gestützte Explorationsarbeit zur Aufindung höffiger Gebiete

Ein weiteres Einsatzfeld von Geographischen Informationssystemen zeigt Abbildung 40. Die Abteilung *Geologie/Rohstoffsicherung* versucht, mit den vorhandenen Geodaten höffige Gebiete für die weiteren Explorationsarbeiten einzugrenzen. Dabei werden geologische Informationen mit den Koordinaten von bekannten Lagerstättenaufschlüssen wie zum Beispiel unternehmenseigenen und fremden Tagebauen verschnitten. Neben der Eingrenzung dieser höffigen Gebiete konnten auch neue Erkenntnisse wie zum Beispiel der Zusammenhang zwischen Quarzsandlagerstätten und Salzdiapiren für die zukünftigen

Explorationsarbeiten gewonnen werden.

In der nahen Zukunft plant die *Quarzw Werke GmbH* eine Umstellung des Geographischen Informationssystems auf eine neuere Version von *ESRI* (Version 8.x oder 9.x). Durch diese neue GIS-Architektur sollen die Geodaten über das firmeneigene Intranet auch Angehörigen des Unternehmens zur Verfügung gestellt werden, die kein Geographisches Informationssystem haben. Daneben soll das Qualitätsmanagement durch die Einbindung von Laboranalysen des geförderten Materials über GPS-Koordinaten verbessert werden. Hierdurch können die Lagerstättenmodelle kontinuierlich an den jeweiligen neuesten Wissenstand angepasst werden.

3.2.3 *Minegas GmbH* (Grubengas/Bohrlochbergbau)

Die *Minegas GmbH* fördert unter der Führung der *STEAG Aktiengesellschaft* Grubengas aus stillgelegten Bergwerken in Nordrhein-Westfalen (Abbildung 41).



Abbildung 41: Standorte BHKW-Module der *Minegas GmbH*

Das Unternehmen entstand durch ein Joint Venture der G.A.S. Energietechnologie GmbH (Krefeld) und LAMBDA, Gesellschaft für Gastechnik mbH (Wuppertal). Die *Minegas GmbH* produziert im Jahre 2006 in Nordrhein-Westfalen mit 59 Grubengas-Blockheizkraftwerksmodulen (BHKW) mit einer Leistung zwischen 0,3 Megawatt und 1,5 Megawatt je Modul und einer elektrischen Gesamtleistung von 82 Megawatt (elektrisch) insgesamt rund 470 Millionen kWh. Mit dieser Leistung kann der Bedarf an elektrischer Energie von

170 000 Haushalten gedeckt werden.

Die Minegas GmbH ist ein Systemanbieter im Bereich der Grubengasgewinnung mit Dienstleistungen auf dem Gebiet der Projektentwicklung (Exploration, Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsanalysen, Genehmigungsabwicklung), des Anlagenbaus zur Gewinnung und thermischen Verwertung von Grubengas, der technischen und kaufmännischen Betriebsführung von Anlagen zur Grubengasverwertung sowie Serviceleistungen wie zum Beispiel Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Das über Rohrleitungen aus stillgelegten Bergwerken geförderte Grubengas hat einen Methangehalt von bis zu 90 Prozent. Es wird vor der Verbrennung in einem konventionellen Gas-Motor zusätzlich verdichtet. Durch die integrierte Nutzung der Abwärme des Prozesses und der mechanischen Energie durch einen Generator werden Wirkungsgrade von bis zu 87 Prozent erreicht.

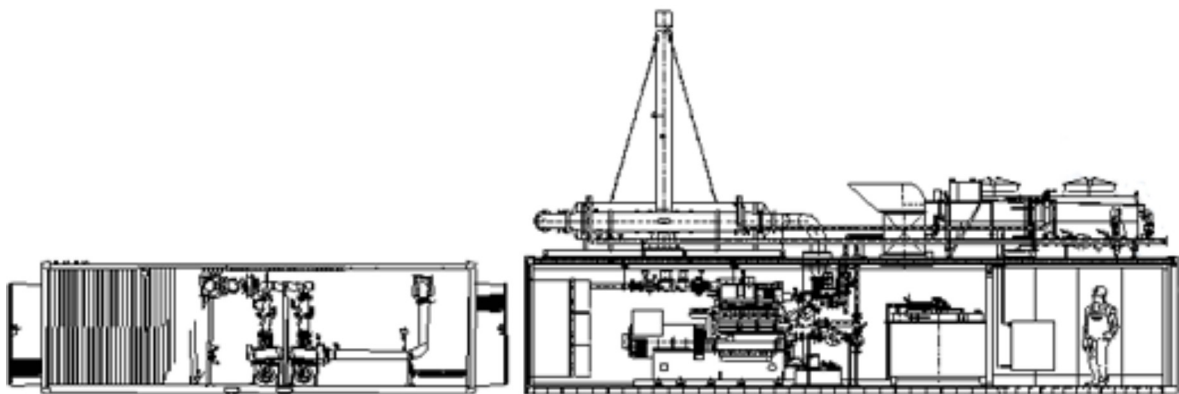


Abbildung 42: Prinzipskizze eines BHKW-Modul

Mit dem im Jahre 2001 gegründeten Schwesterunternehmen *Mingas-Power GmbH*, das mit seinem modular aufgebauten Blockheizkraftwerken das abgesaugte Grubengas aus aktiven Bergwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung benutzt, besteht in Nordrhein-Westfalen ein einzigartiges Know-How auf diesem Energiesektor.

Bei der *Minegas GmbH* ist ein Geographisches Informationssystem mit dem Namen *Landinformationssystem Grubengas* in der Planung. Es wird von der Firma *INFRA CONSULT GmbH* auf der Basis des *ESRI-GIS ArcView 9.2* entwickelt und in die Infrastruktur der *Mingas-Power GmbH* integriert. Grundlage der vielen thematischen Karten dieses Geographischen Informationssystems sind die TK 25, die DGK5 sowie historische Kartenwer-

ke und CAD-Lagepläne.

Darauf aufbauend können unter anderem folgende allgemeine Informationen als Vektordaten visualisiert werden:

- Standorte der BHKW-Module (Punktobjekte)
- Grubengasfundorte der *Minegas GmbH* und anderer Unternehmen (Punktobjekte)
- Grubengasfelder der *Minegas GmbH* und anderer Unternehmen (Flächenobjekte)
- Standorte
- Standorte sensibler Objekte (Punktobjekte)
- Zuständigkeitsgebiet der Bergverwaltungen/Bergämter (Flächenobjekte)
- Bewilligungsfelder der aktiven Bergwerke (Flächenobjekte)
- Kreisgrenzen und Grenzen kreisfreier Städte (Flächenobjekte)

Alle diese geographischen Daten sind mit sachbezogenen Informationen hinterlegt. So können zum Beispiel für 518 Schächte Informationen, basierend auf Daten des Schachtkatasters der *Deutschen Steinkohlen AG*, abgerufen werden. Angaben wie Schachtname, Eigentümer, zuständiges Bergamt, Schachtdurchmesser, -teufe und -verfüllung sowie Informationen über die installierte Protegohaube werden durch Skizzen, Fotos und Schachtschnitte ergänzt.

Obwohl dieses Geographische Informationssystem nicht in die Geschäftsprozesse der *Minegas GmbH* eingebunden ist, könnten durch die Kombination mehrerer thematischer Karten und die Verknüpfung von weiteren betrieblichen Daten die Ist-Situation der Grubengasgewinnung gut abgebildet und Entscheidungsprozesse unterstützt werden. Abbildung 43 (Seite 83) zeigt alle für den Schacht *Victoria 1/2* relevanten Daten. In der linken oberen Ecke befinden sich die durch eine Abfrage gefundenen Schachtdaten (Schacht *Victoria 1*), darunter die Daten der installierten Blockheizkraftwerksmodule (Gesamtleistung 4 074 kW). Ergänzt werden diese Informationen durch eine Skizze der Protegohaube (Mitte) sowie ein Photo der Betriebsanlagen und ein Überfliegungsphoto. Der Hintergrund wird durch Rasterdaten der Deutschen Grundkarte 1:5 000 gebildet. Da es sich um eine ältere Version eines Geographischen Informationssystems von *ESRI* handelt, sind die Daten nicht in einer Geodatenbank oder auf einem Geodatenserver abgespeichert. Die Daten liegen entweder als *ESRI-Shapefile*, wie die Geobjekte, oder als Dateien, wie Photos im *TIFF*-

Format, die mit dem System verknüpft sind, vor.



Abbildung 43: Screenshot aus dem Landesinformationssystem Grubengas

Neben der reinen Datenabfrage bietet das Geographische Informationssystem auch eine große Anzahl von Werkzeugen für geometrische und geographische Operationen im Rahmen räumlicher Analysen. So können über bestimmte Menüs Flächen untereinander oder mit Punkten räumlich verschnitten werden. Zum Beispiel können Standorte von Blockheizkraftwerksmodulen mit den Zuständigkeitsgebieten von Bergämtern oder Gemeinde- und Kreisgebieten zur Informationsbeschaffung für Genehmigungsverfahren verschnitten werden.

Die Abbildung 44 (Seite 84) zeigt das Ergebnis einer Pufferabfrage im Bereich des Schachtes *Hansa 5*. Bei dem gewählten Pufferparameter von drei Kilometern Radius identifiziert das Geographische Informationssystem acht weitere Schächte. Durch die Verknüpfung dieser Informationen mit einer Abfrage der entsprechenden Schachtteufen und deren graphischer Darstellung ergibt sich der Screenshot, der in Abbildung 44 abgebildet ist. Ergänzt werden diese graphischen Informationen durch die Attributstabelle mit den ge-

samtlichen Daten aller Schächte, wobei die identifizierten acht Schächte vom System gelb hinterlegt und an den Anfang der Tabelle gestellt worden sind.

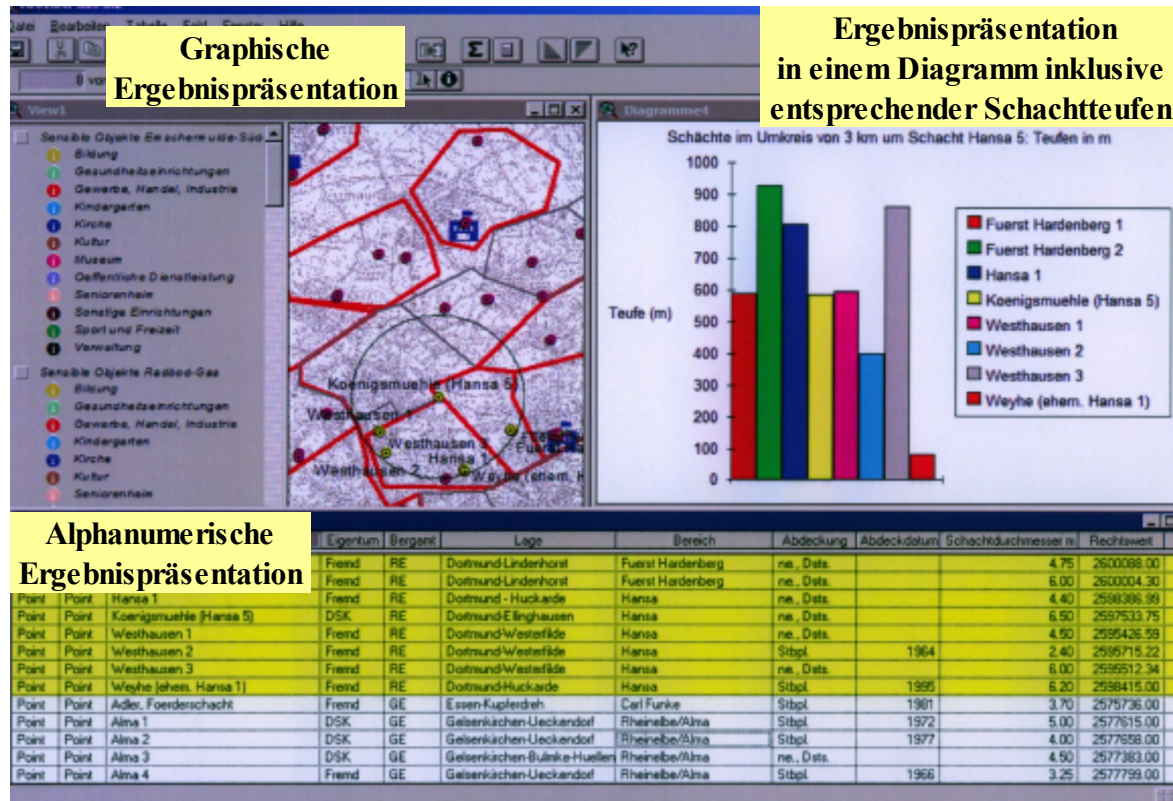


Abbildung 44: Analyse der Schächte in der Nähe eines BHKW-Moduls

3.2.4 Deutsche Steinkohle AG (Steinkohle/Tiefbau)

Die *Deutsche Steinkohle AG (DSK)*, in der seit 1998 alle Aktivitäten des deutschen Steinkohlenbergbaus gebündelt sind, bildet mit der *RAG Coal International* das Kerngeschäftsfeld *Bergbau* des RAG-Konzerns. Zusammen mit den anderen drei Kerngeschäftsfeldern *Energie*, *Chemie* und *Immobilien* erwirtschaftete die *RAG Aktiengesellschaft* im Jahre 2005 mit weltweit circa 100 000 Mitarbeitern und einer Bilanzsumme von über 30 Mrd. Euro einen Umsatz von 22 Mrd. Euro [www.rag.de].

Die *Deutsche Steinkohle AG* förderte im Jahre 2005 in sieben Bergwerken in Nordrhein-Westfalen und einem im Saarland 24,7 Millionen Tonnen Steinkohle (Tonnen verwertbare Förderung). Daneben betreibt die Deutsche Steinkohle AG in Nordrhein-Westfalen eine Kokerei (Abbildung 45, Seite 85).

Einsatz in der Rohstoffindustrie

Trotz des starken Rückgangs der staatlichen Subventionen (2,6 Mrd. Euro im Jahre 2006) und der Steinkohlenförderung existieren im Steinkohlensektor noch über 34 000 Arbeitsplätze, davon rund 3 000 Ausbildungsstellen. Darüber hinaus schafft jeder Arbeitsplatz im deutschen Steinkohlenbergbau laut einer *Prognos*-Studie weitere 1,3 Arbeitsplätze, vor allem in der Zulieferindustrie und im Maschinenbau.

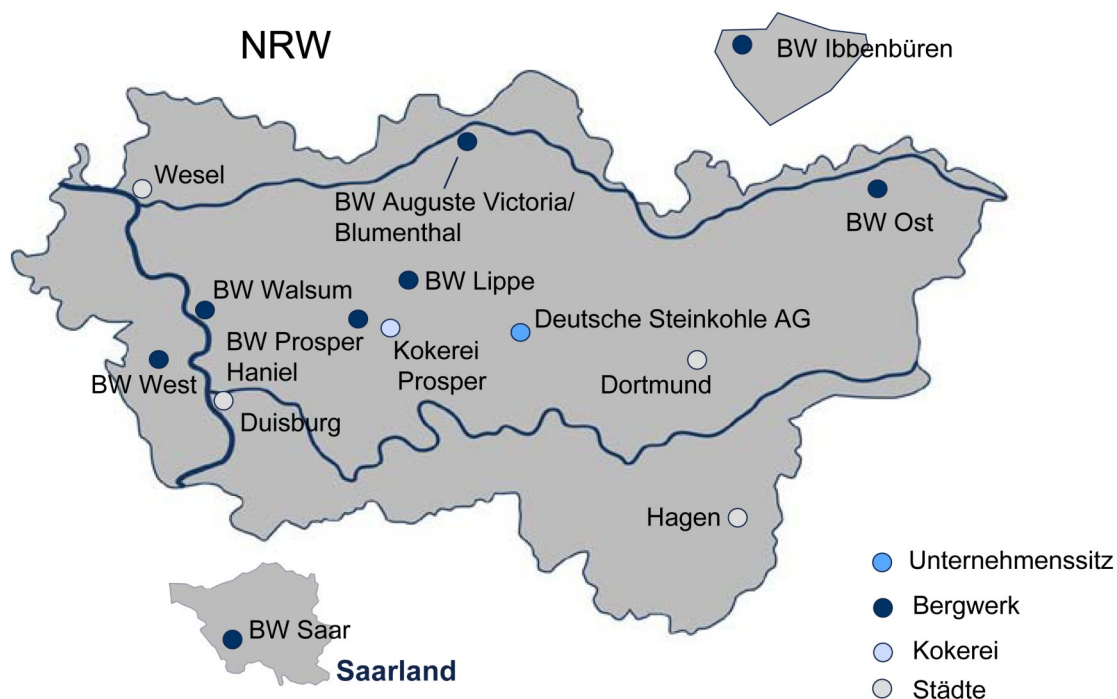


Abbildung 45: DSK-Standorte in Nordrhein-Westfalen und im Saarland [www.deutsche-steinkohle.de]

Seit Mitte der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts ist die durchschnittliche Schichtleistung unter Tage durch Rationalisierung und Automatisierung von 3 855 Kilogramm verwertbare Förderung je Mann und Schicht auf 6 735 Kilogramm verwertbare Förderung je Mann und Schicht im Jahre 2005 gestiegen. Das entspricht einer Steigerung von circa 175 Prozent.

Hauptabnehmer der geförderten sowie der auf Halde liegenden Steinkohle waren im Jahre 2005 mit 19,5 Mio. Tonnen verwertbarer Förderung die Kraftwerksbetreiber, das entspricht rund 75 Prozent des Kohlenumschlagsvolumens. Daneben bezogen Abnehmer aus der Stahlindustrie 6 Mio. Tonnen Steinkohle (23 Prozent am Gesamtvolumen) sowie sonstige Abnehmer 400 000 Tonnen Steinkohle (2 Prozent am Gesamtvolumen) [www.deutsche-steinkohle.de].

Steinkohlen-Absatzmarkt

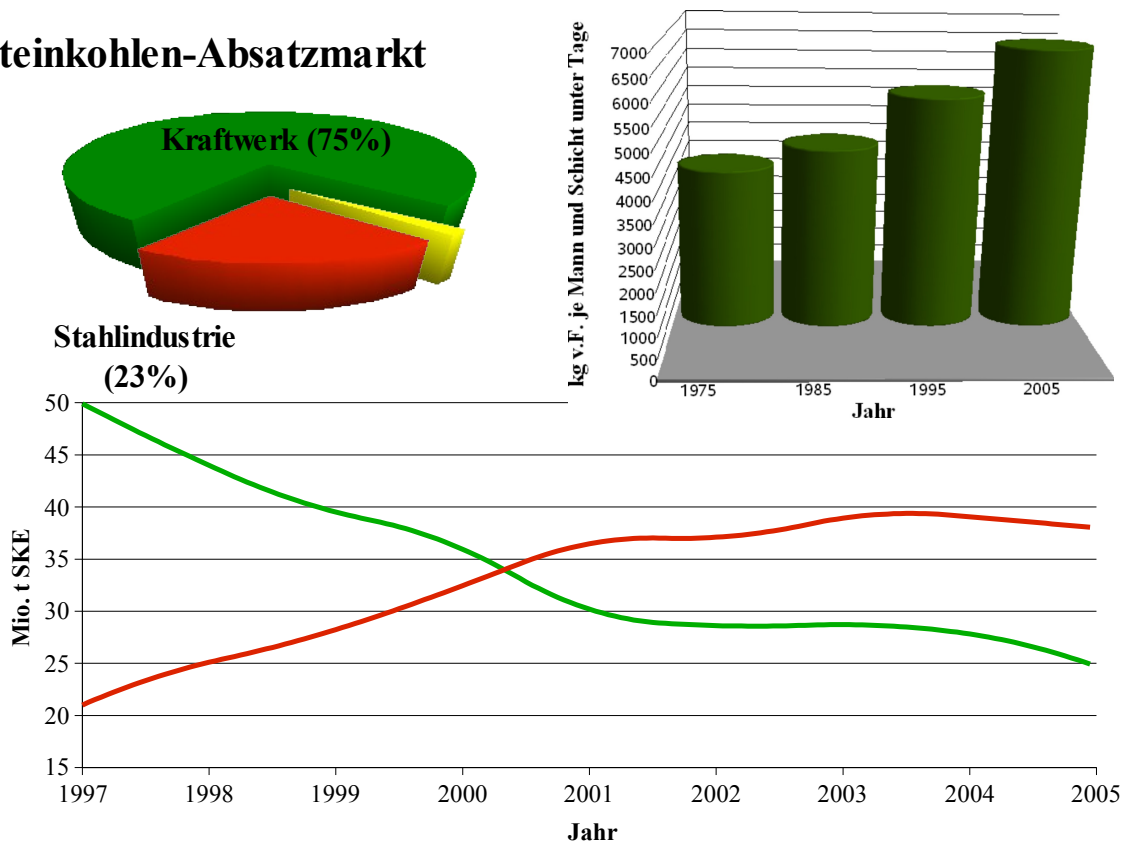


Abbildung 46: Kennzahlen des deutschen Steinkohlenbergbaus

Geographische Informationssysteme werden bei der *Deutschen Steinkohle AG* seit über 17 Jahren eingesetzt. Mit der Einführung der Software-Produkte der Firma *ESRI* 1989 begann die Integration von Geographischen Informationssystemen in die Geschäftsprozesse des Bergbauunternehmens und wird bis heute kontinuierlich weiter verfolgt. Verantwortlich für die Weiterentwicklung und die Erstellung und Pflege des Geo-Datenbestandes ist der *Servicebereich Standort- und Geodienste* des *Geschäftsbereich Geoinformation/Vermessung BG G*. Kernelement der Geodateninfrastruktur ist die *Geodatenzentralbank (GDZB-Geoserver)*.

Die Umweltplanung im Zusammenhang mit der Aufstellung neuer Rahmenbetriebspläne mit integrierter Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) war von Anfang an ein Schwerpunkt des Einsatzes der Geographischen Informationssysteme. Dieser Einsatz erfolgte zunächst im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudien (UVS), welche die gutachtlichen Ergebnisse aller relevanten Untersuchungen innerhalb einer Umweltverträglichkeitsprüfung darstellen, und nach Planfeststellung im Rahmen des Umweltmonitorings. Weitere

Einsatz in der Rohstoffindustrie

Schwerpunkte der Arbeiten im Bereich der Geographischen Informationssysteme sind Intranetdienste, wie zum Beispiel das *Rissarchiv*, das den Mitarbeitern Daten DSK-weit über einen handelsüblichen Browser zur Verfügung stellt. Dazu kommen weitere Anwendungen im Katastrophenschutz/Risikomanagement und im Bereich der Kopplung von Geographischen Informationssystemen an die betriebswirtschaftliche Software SAP wie beispielsweise beim Liegenschafts- oder Bergschadenmanagement.

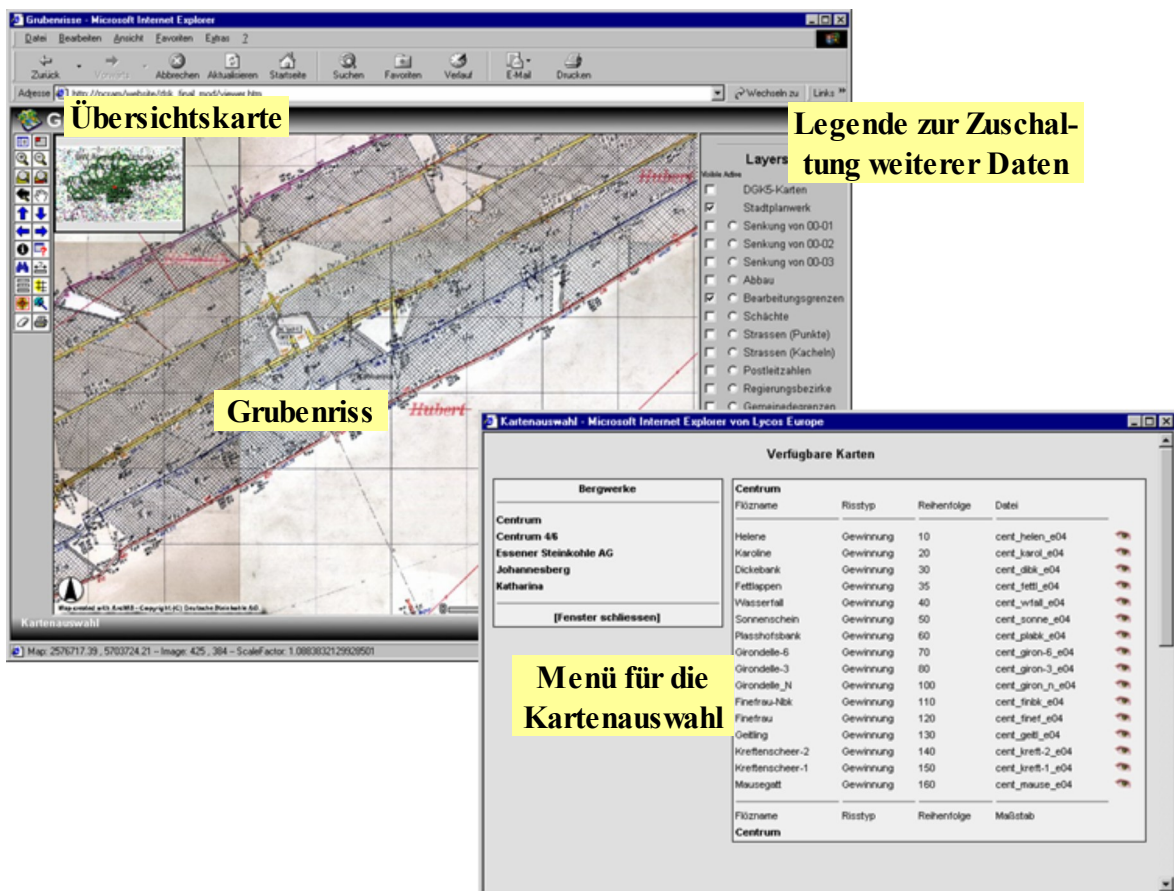


Abbildung 47: Rissarchiv im DSK-Intranet [DSK-Bildmaterial]

Abbildung 47 zeigt zwei Screenshots aus dem Rissarchiv, dessen Daten über das DSK-weite Intranet abgerufen werden können. Über einen handelsüblichen Browser können diese Daten abgebildet (Abbildung 48, oben) und weitere für die jeweilige Aufgabenstellung relevante Daten (*Layer*) können über die Legende zugeschaltet werden. So können zur Orientierung amtliche Kartenwerke wie beispielsweise die DGK 5 oder die Standorte von Schächten (Vektordaten) zusätzlich dargestellt werden. Das Menü *Kartenauswahl* informiert den Anwender über die Bergwerke, von denen rissliche Unterlagen im System vorgehalten werden. Über die Menüs können diese Risse aktiviert und deaktiviert werden.

Einsatz von GIS-Anwendungen

Die Generierung von Daten mit Hilfe von Photogrammetrie und Verfahren der Fernerkundung sind ein Schwerpunkt der Entwicklungs- und Forschungsarbeiten des *Geschäftsbereichs Geoinformation/Vermessung BG G*. So liefern neue Auswertungsverfahren der Photogrammetrie hochpräzise *Digitale Geländemodelle (DGM)*, die in Kombination mit *Digitalen Senkungsmodelle (DSM)* eine wichtige Grundlage in Planungsprozessen (Prognosen) darstellen. Abbildung 48 stellt die komplette Bandbreite der Fachanwendungen des *Geschäftsbereichs Geoinformation/Vermessung BG G*, unterteilt in Anwendungsfelder und eingesetzte Software, dar.

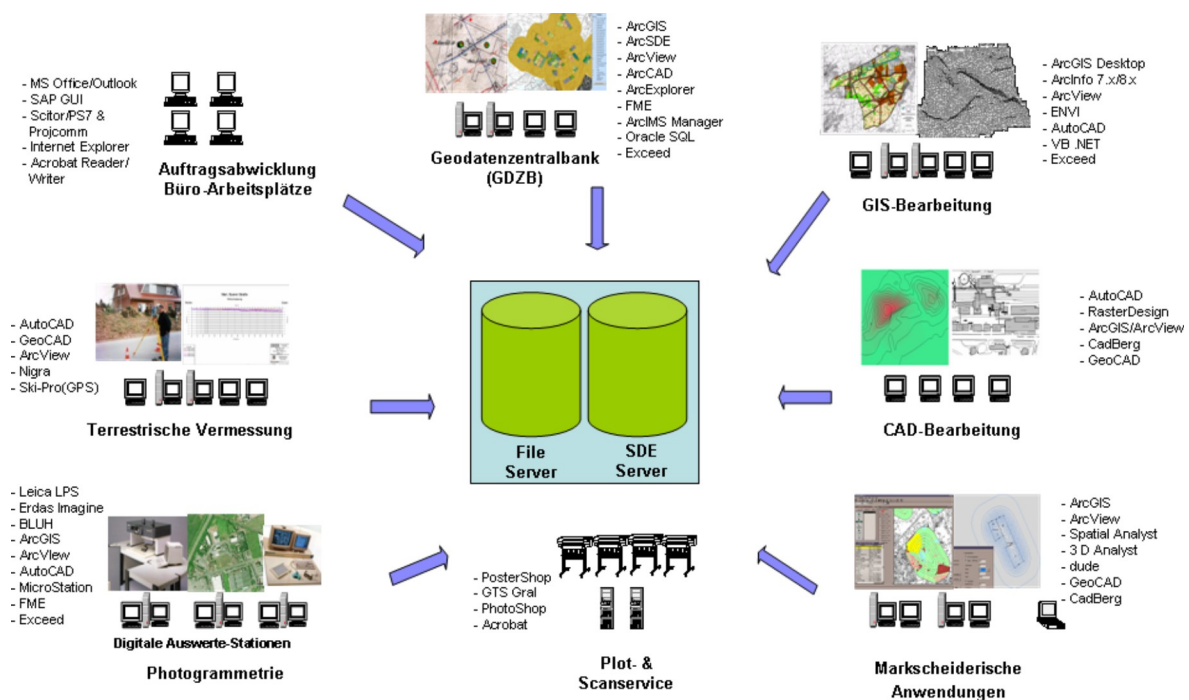


Abbildung 48: Fachanwendungen des Geschäftsbereichs Geoinformation/Vermessung BG G [DSK-Bildmaterial]

Am Beispiel von Anwendungen in der Liegenschaftsverwaltung, in der Bergschadenregulierung und im Umweltmonitoring soll der Einsatz von Geographischen Informationssystemen bei der *Deutschen Steinkohle AG* im Folgenden ansatzweise vorgestellt werden.

Für die vielfältigen Aufgaben im Bereich der Liegenschaftsverwaltung wurde an die kaufmännische Kalkulations- und Verwaltungssoftware *SAP* (*SAP/RE/LUM: SAP/Real Estate/Land use management*) ein Geographisches Informationssystem angekoppelt. So können alphanumerische Daten wie Flurstücknummer, Belastung oder Verwendung mit Geometriedaten des Objektes und weiteren geographischen Informationen wie beispielsweise amtlichen Karten hinterlegt werden. Durch die Digitalisierung der entsprechenden

Flächen im Geographischen Informationssystem können, aufgrund der direkten Verbindung von Geometrie und Sachdaten, fehlerhafte Eingaben kontrolliert werden. Da die Software *SAP* das führende System ist, sind deren Genauigkeitsparameter bindend für die Digitalisierung im Geographischen Informationssystem. Abbildung 49 zeigt neben der Programmoberfläche von *SAP* im oberen Teil die von *ArcGIS* nach der Aktivierung über *SAP*.

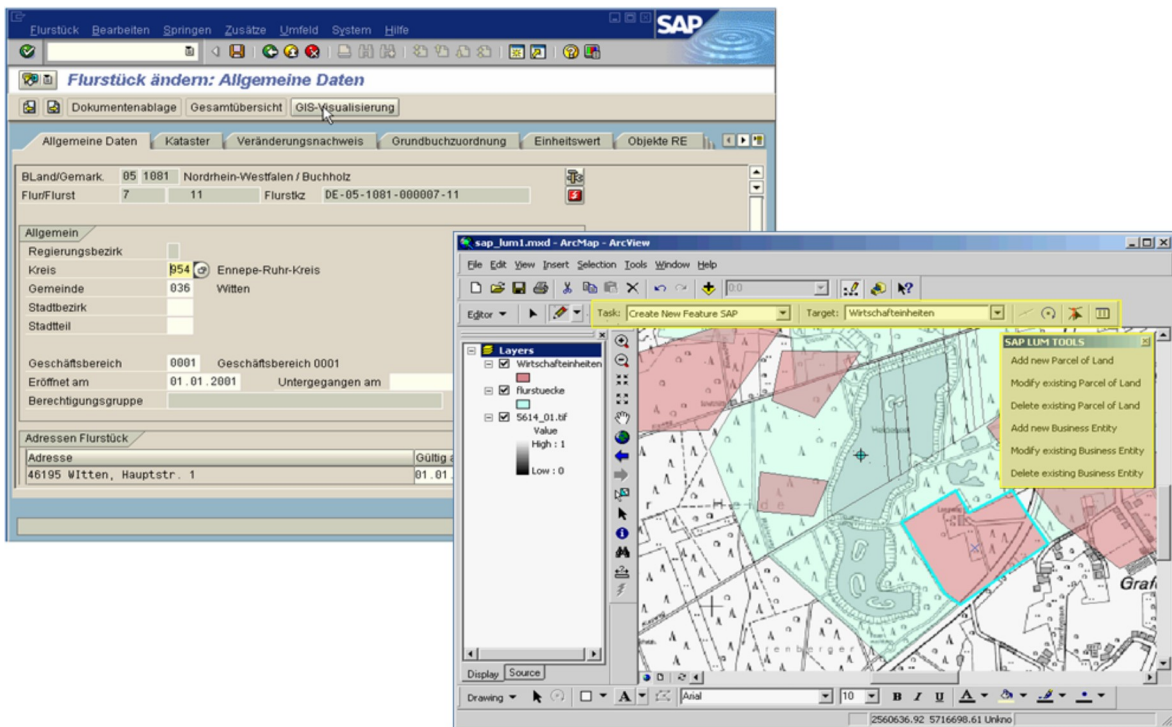


Abbildung 49: Verbindung von *SAP/RE/LUM* mit *ArcGIS* [DSK-Bildmaterial]

Ein Datentransfer oder Zugriff in umgekehrter Richtung, das heißt vom Geographischen Informationssystem nach beziehungsweise auf *SAP* ist zurzeit nicht möglich. Diese Operationen sind allerdings für die Zukunft (2007) geplant. Über die Funktionalität von *SAP* ist auch eine Darstellung von historischen Daten wie zum Beispiel die Vergangenheit einer Liegenschaft (Teilung, Zusammenführung, etc.) möglich.

Im Bereich der Regulierung von Bergschäden werden die Sachbearbeiter ebenfalls durch ein System aus *SAP* und *ArcGIS* unterstützt. Jeder Bergschaden wird betriebswirtschaftlich durch *SAP* erfasst und ist für das System danach ein Kunde (customer). Durch *ArcIMS* wird eine Verbindung zu den räumlichen Daten auf den Servern der *Deutschen Steinkohle AG* hergestellt. Neben amtlichen Karten kann der Sachbearbeiter Geodaten über den historischen, aktuellen und zukünftigen Steinkohlenabbau sowie über dessen Auswirkungen an

Einsatz von GIS-Anwendungen

der Tagesoberfläche abrufen. Durch diese Informationen ist eine erste umfassende Analyse der Situation zeitnah durchführbar.

Eine der Hauptaufgaben des Einsatzes von Geographischen Informationssystemen innerhalb des Unternehmens ist die Unterstützung bei der Umweltplanung und beim Umweltmonitoring. In den letzten 20 Jahren sind die Anforderungen bei der Durchführung von Rahmenbetriebsplänen derart gestiegen, dass die anfallenden Datenmengen, die im Rahmen eines solchen Verfahrens notwendig sind, unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten nur noch durch den Einsatz von Informationssystemen bearbeitet werden können.

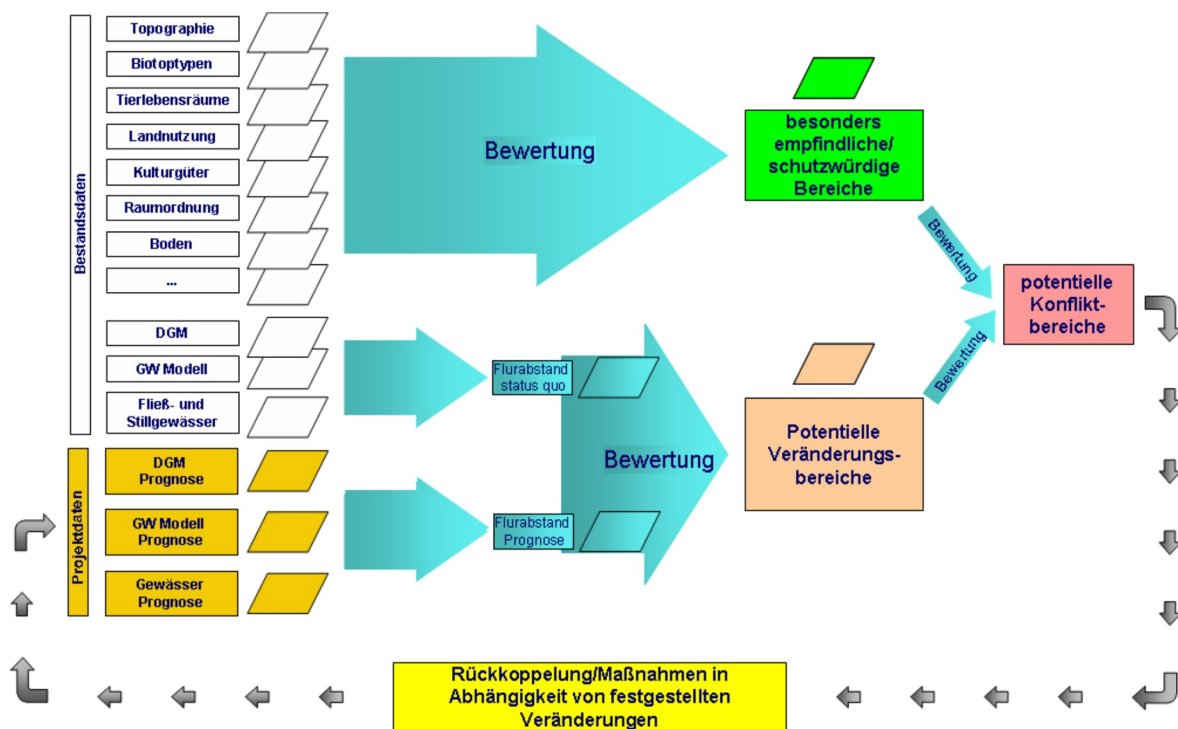


Abbildung 50: GIS gestützte(s) UVS beziehungsweise Umweltmonitoring [DSK-Bildmaterial]

Abbildung 50 stellt den Bearbeitungszyklus einer Umweltverträglichkeitsstudie beziehungsweise des Umweltmonitorings der Deutschen Steinkohle AG dar. Auf der linken Seite der Abbildung 50 werden stellvertretend für die Vielzahl der benötigten Informationen die wichtigsten aufgezählt. Bei der Erstellung der Umweltverträglichkeitsstudie und im Rahmen des anschließenden Umweltmonitorings ist die Rückkopplung ein entscheidender Baustein für die laufende Optimierung des Verfahrens. Wie komplex die einzelnen Aufgabenbereiche sind, zeigt Abbildung 51 (Seite 91) mit einer strukturierten Dar-

stellung der verwendeten Modelle für das Schutzgut Wasser. Das Schutzgut Wasser in Form von Grundwasser, Fließgewässern und Stillgewässern spielt eine zentrale Rolle innerhalb des Umweltmonitorings.

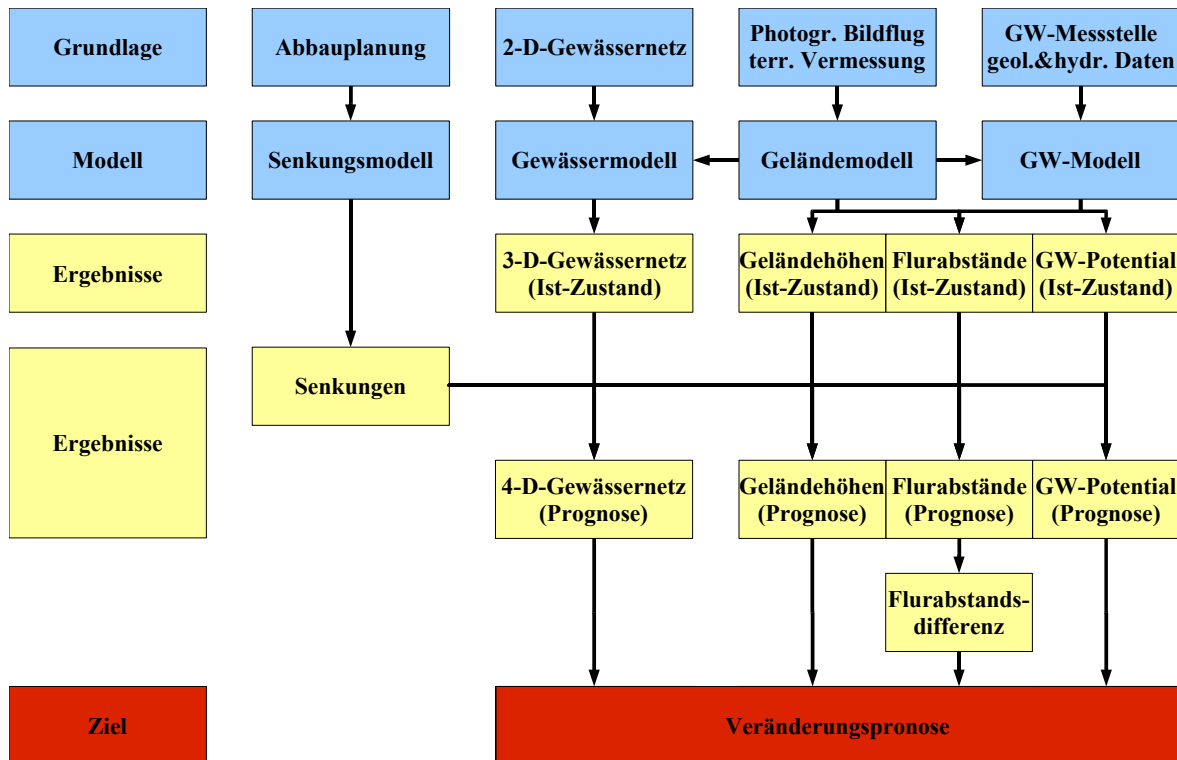


Abbildung 51: Benutzte Modelle für das Schutzgut Wasser [DSK-Bildmaterial]

Für ein zeitnahes Umweltmonitoring entstand innerhalb des letzten Jahrzehntes eine optimierte Prozesskette von der Datenerfassung via Photogrammetrie und Fernerkundung über die Datenaufbereitung bis zur Analyse und Darstellung in einem Geographischen Informationssystem. Ziel ist die Dokumentation, Prognose und Kontrolle der vom Steinkohlenbergbau verursachten Veränderungen in der Umwelt.

Durch den Aufbau dieses *Umweltinformationssystems (UMIS)* ist die *Deutsche Steinkohle AG* in der Lage, trotz der enormen Datenmenge schnell und effektiv die an sie gestellten Aufgaben zu bearbeiten. Zentrale Funktionalität des *Umweltinformationssystems* zur Erfassung und Verwaltung der Daten ist das *Fachinformationssystem Monitoring (FIS-Mon)* auf der Basis von *ArcGIS* sowie einer *Oracle*-Datenbank, die über *ArcSDE* in das System eingebunden ist. Ergänzt wird dieses System durch den *Karten- und Geoprozess-server (KGSMon)* und das Modul *Auswertesystem Fernerkundung (AFEMon)*. Die zuletzt genannten Komponenten erlauben die Generierung von Basisdaten, die Durchführung von

Veränderungsanalysen sowie die Bereitstellung der Geodaten im *DSK*-internen Intranet.

Da es sich bei dem Umweltmonitoring im Bereich des Bergbaus um einen dynamischen Prozess handelt, musste der Geodatenserver um die vierte Dimension Zeit erweitert werden. Dadurch entsteht die Möglichkeit, für Geodaten und deren sachbezogene Daten einen so genannten Zeitstempel zu vergeben, der nicht nur den Entstehungszeitpunkt beschreibt, sondern auch deren Geltungszeitraum angibt.

Für die Bearbeitung der Umweltverträglichkeitsstudie und des Umweltmonitorings ist es notwendig, über die Grenzen einzelner Fachdisziplinen interdisziplinär zusammen zu arbeiten. Damit eine möglichst homogene Datengrundlage sowie Standards für die Bearbeitung der einzelnen Schritte gewährleistet sind, entwickelte die *Deutsche Steinkohle AG* unternehmensweite Richtlinien wie zum Beispiel für die Vergabe von Kartierschlüsseln oder für die *Digitale Erfassung von Erhebungs-Protokollen (DEEP)*. Das grundsätzliche Vorgehen bei der Umweltverträglichkeitsstudie und beim Umweltmonitoring basiert auf der *DSK-Umweltrichtlinie (Umweltrichtlinie der Deutschen Steinkohle AG, DSK RL 05/2002)* und weiteren Standardisierungsrichtlinien für die Aufbereitung und Auswertung von Geodaten.

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz eines Geographischen Informationssystems als Hilfsmittel ist das Expertensystem *Beeinflussungskataster (BeKat)* im Bereich des Risikomanagements (Abbildung 52, Seite 93). Dieses System unterstützt die Beurteilung der Folgen eines bergbaulichen Eingriffes durch die Standardisierung der Bewertungskriterien. Da jeder Abbau unter den gleichen Gesichtspunkten beurteilt wird, können verschiedene Projekte miteinander verglichen und somit eine Risikoabschätzung vorgenommen werden. Durch die individuelle Abschätzung der einzelnen Risikopunkte kann der Gutachter auf die Besonderheiten des jeweiligen Abbaus eingehen. Jedem Risikopunkt, wie beispielsweise Vorschäden oder das Vorhandensein einer geologischen Anomalie, kann eine Gewichtung in Form eines Zahlencodes zugeordnet werden. Nach der Berechnung der Summe dieser Bewertungen vergibt das Expertensystem eine Risikogruppe, zum Beispiel über eine graphische Visualisierung mittels Ampeldarstellung.

Zurzeit sind unternehmensweit circa 60 *ArcGIS*-Lizenzen vorhanden. Der größte Teil der Geodaten wird den Sachbearbeitern über *ArcSDE*-Datenbanken zur Verfügung gestellt. In

Einsatz in der Rohstoffindustrie

Zukunft sollen die Dienste für die Benutzung des konzerneigenen Intranets weiter ausgebaut werden. Geplant ist eine Erweiterung der Dienste, so dass Geodaten durch einen Browser nicht nur visualisiert, sondern in bestimmten Grenzen auch bearbeitet werden können.

Beschreibendes Element

Status / Bilanz für Risikomerkmale 7700 (bekatav)

Status	Schnittmenge im EWB vorhanden
Wald in ha	17.91

Visualisierung

Bewertung mittels Zahlencode

Merkmal: 7700 Wald
Projekt: av-bh607-bew140200 (bekatav)

Info	Karte	Link	
Vorschädigung	5	Mittelwert	
tagesnaher Abbau	1	Abwandsfaktor	
Erdstufen	1	Ergebnis	
Senkung	2	Minderungsmaßnahmen	
Schiefelage	1	Einschränkung Abbaufäche	n
Zerrung	1	Veränderung Abbaugeschwindigkeit	n
Pressung	1	Einschränkung Senkungsbetrag	n
Erderschütterung	1	Veränderung Betriebszeit	n
Grundwasseränderung	3	Individuelle Vorsorgemaßnahme	n

Bemerkung: Information fehlt, ob Wald GW-Stand verträgt

Bewertungskriterien

Risikomerkmale(Bauobjektarten) Vers. 1.0 - 13.02.03

Abbildung 52: Risikoanalyse eine Abbaus mit Hilfe des Beeinflussungskatasters [DSK-Bildmaterial]

3.3 Einsatz bei Behörden

3.3.1 Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8

Die *Bezirksregierung Arnsberg* ist eine Bündelungsbehörde für viele Bereiche. In ihre Zuständigkeit fallen neben der Abteilung *Bergbau und Energie* unter anderem auch die Abteilungen *Schule, Kultur und Sport, Sicherheit und Verkehr, Umwelt, Planung und Wirtschaft* sowie *Förderung*. Die Abteilung Bergbau und Energie in NRW ist unter anderem für die Genehmigung und Überwachung aller bergbaulichen Tätigkeiten (gemäß BBergG) sowie den Altbergbau verantwortlich. Sie gliedert sich in folgende Bereiche⁴:

Bergbau

- Genehmigungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung, Rechtsfragen
- Altbergbau
- Grubensicherheit, Technik unter Tage
- Arbeits- und Gesundheitsschutz im Bergbau, Berichtswesen und Statistik; Bergbauliche Qualifizierung; Sozialpolitische Angelegenheiten
- Immissionsschutz
- Wasser, Abfall, Altlasten und Ökonomie, Braunkohlen- und Nichtkohlenbergbau
- Markscheidewesen, Bauanfragen, bergbauliche Situation
- Vorschriftensammlung Bergbau (Elektronisches Sammelblatt)
- Information und Service

Energie

- Energiewirtschaftliche Verfahren
- Schornsteinfeger
- Förderprogramme, REN-Programm

Das Dezernat 87 (Markscheidewesen) definiert sich unter anderem über seine aus dem klassischen Markscheidewesen stammenden Sachgebiete Abbaueinwirkung, Berechtigtenswesen und Altbergbau. Darunter fallen die Leitnivelements und andere Höhennetze des Bergbaus sowie markscheiderische Aufgaben im Bereich Altbergbau wie die Beurteilung von Nachwirkung des (Alt-)Bergbaus, insbesondere im oberflächen- (Festgesteinsüberdeckung kleiner 30 Meter) und tagesnahen (Festgesteinsüberdeckung kleiner 100 Meter) Be-

⁴ Zum 01.01.2007 werden die Bergämter in die Bezirksregierung integriert und bestehen dann nicht mehr als eigenständige Behörden

reich. Im Rahmen der Sonderbetriebspläne „*Abbaueinwirkungen auf Einrichtungen der Gemeinden und Gemeindeverbände*“ und „*Abbaueinwirkungen auf das Oberflächeneigentum*“ erfolgt eine Beurteilung bergbaubedingter Einwirkungen, die aus der Umsetzung der entsprechenden Betriebsplanverfahren resultieren können. Daneben übernimmt das Dezernat für die Behörde übergreifende Aufgaben und Serviceleistungen für Dritte (Auskünfte, Bereitstellung von Karten, Daten, Reproduktion und Einsichtnahmen in rissliche Unterlagen des Bergbaus) sowie das Verfahren für die Anerkennung von *Markscheidern* und *anderen anerkannten Personen*. Weitere Aufgaben liegen im Bereich Raumordnung und Landesplanung, Geoinformation sowie Karten- und Risswesen. Viele dieser Aufgaben greifen ineinander, wie zum Beispiel die Dokumentation, Auswertung und Beurteilung des in Nordrhein-Westfalen umgegangenen Bergbaus. Risswerke stillgelegter Bergwerke werden gelagert, dokumentiert (*Digitales Rissarchiv*) und digital aufbereitet (*Bergbau-Informationssystem*), um mögliche Gefährdungsmomente zu erkennen beziehungsweise privaten Anfragstellern mitzuteilen. [www.bezreg-arnsberg.nrw.de].

Von den Aufgaben, die die Bergbehörden in Nordrhein-Westfalen wahrnehmen müssen, haben viele einen räumlichen Bezug. Eine dieser Aufgaben ist die Abwehr von Gefahren, die aus dem Bergbau der Vergangenheit entstehen, laut *Ordnungsbehördengesetz* des Landes Nordrhein-Westfalen (*OBG NW*). Gemäß § 48 Abs. 4 *OBG NW* sind die Bergbehörden zuständig für „*Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren aus verlassenen Grubengebäuden, die nicht mehr der Bergaufsicht unterliegen*“. Ein weiterer Schwerpunkt sind schriftliche Stellungnahmen zu raumbezogenen Planungen anderer Behörden (*Baugesetzbuch BauGB*) sowie zu privaten Bauvorhaben. Durch § 4 *BauGB* in Verbindung mit den §§ 5 und 9 *BauGB* werden die Bergbehörden in die Verfahren für die Entwicklung von zum Beispiel *Vorbereitenden Plänen (Flächennutzungspläne)* und *Verbindlichen Plänen (Bebauungspläne)* sowie bei den Planungen von Schutzgebieten, Verkehrswegen und Versorgungsstraßen mit eingebunden. Hierfür werden jährlich rund 670 Stellungnahmen von den Bergbehörden geschrieben. Zusätzlich wurden im Jahr 2006 circa 2 000 Stellungnahmen für die Auskunftserteilung an Privatpersonen erarbeitet. Dazu kommen noch circa 250 Grubenbildeinsichtnahmen gemäß § 4 *Bundesberggesetz (BBergG)* beziehungsweise eingeschränkt gemäß *Umweltinformationsgesetz (UIG)* und *Informationsfreiheitsgesetz (IFG NRW)*. Zusätzlich sind die Bergbehörden durch das *Landesbodenschutzgesetz*

behörde in Nordrhein-Westfalen zur Verfügung zu stellen, sowie eine schnelle und einfache Auskunftserteilung durch ein zu entwickelndes, einheitliches Informationssystem zu ermöglichen. Durch die Einführung einer in die Organisation der Bergbehörden integrierten Geodateninfrastruktur und entsprechender Fortführungskonzepte sollte der Aufwand für die Anfertigung und Nachtragung von Kartenwerken erheblich reduziert werden.

Die Umsetzung in den 1990er Jahren war mit wesentlichen Problemen im Bereich der Schnittstelle zwischen Hardware und Software sowie der personellen (Qualifikation) und organisatorischen Rahmenbedingungen verbunden. 1997 schließlich wurde das *Bergbau-Informationssystem (BIS)* in Betrieb genommen. Das *Bergbau-Informationssystem* umfasst die Geometrien und Sachdaten folgender Geoobjekte:

- Tagesöffnungen des Bergbaus (Schächte und Stollenmundlöcher)
- Tagesbrüche
- Verbreitungsgebiete des oberflächennahen Bergbau
- Bergbauliche Flächen (bergaufsichtliche Belange)
- Bergbauberechtigungen (Erlaubnisse, Bewilligungen, Bergwerkseigentum)
- Bergbau-Altlast-Verdachtsflächen (Daten des Dezernates 86)

Bis heute sind Daten aus analogen risslichen Unterlagen, Akten, Sekundärkarten und Verzeichnissen in einer Größenordnung von über 800 Gigabyte digitalisiert und in das Informationssystem eingebunden worden. Darunter befinden sich über 110 000 Grubenbilder und 7 000 Lagerisse und Karten der Bergbauberechtigungen. Aus Akten der Bergbehörden stammen Informationen über die bisher 23 500 erfassten Tagesöffnungen. Ergänzt wird dieser Datenbestand durch die Auswertung von über 3 600 Berechtsamsakten und mehreren Tausend Betriebsakten. Resultat dieser Informationen sind die daraus hervorgehenden rund 1 100 Kartenblättern von Tagesöffnungen des Bergbaus und rund 640 Kartenblätter des oberflächennahen Bergbaus. Jedes Jahr sollen durch die Umsetzung eines Fortführungskonzeptes weitere 200 Gigabyte an Daten erfasst und in das Geographische Informationssystem integriert werden.

Entwickelt und umgesetzt wurde das *Bergbau-Informationssystem* für die Software *SICAD/SD* der AED SICAD Aktiengesellschaft [www.aed-sicad.de]. Zurzeit wird das System auf Softwareprodukte der Firma *ESRI* umgestellt. Die graphische Datenverarbeitung

Einsatz von GIS-Anwendungen

erfolgt an den schon in Kapitel 2.1 erwähnten *Graphischen Interaktiven Arbeitsplätzen* in Form von *ALK-GIAP (Automatische Liegenschaftskarte - Graphisch-Interaktiver Arbeitsplatz)*. Die dahinter liegenden Datenbanken sind neben *Microsoft Access-Datenbanken* für kleinere Anwendungen vor allem *INGRESS II* Datenbanken der Firma *Computer Association (CA, Inc.)* [www.ca.com/de/]. Die Auskunftsplätze sind mit dem Geographischen Informationssystem *SICAD/SD* ausgerüstet und sollen im Jahr 2007 auf ESRI-Produkte umgestellt werden.

Am Beispiel einer Stellungnahme zu einem privaten Bauvorhaben beziehungsweise einer Grubenbildeinsichtnahme im Bereich des *Leierweges* in Dortmund sollen im Folgenden die Arbeitsweise und einige Ergebnisse eines *Auskunftsarbeitsplatzes* des *Bergbau-Informationssystems (BIS)* aufgezeigt werden.

Selektion des Geoobjektes „Dortmund, Leierweg 24“ (gelb)

Aufruf von Informationen über die Schächte im Bereich des Leierweges (Schachtschnitt Tremonia II)

Suchergebnis für die Anfrage „Dortmund, Leierweg“

Hinterlegung des gewählten Bildschirmausschnittes mit historischen Kartenwerken (Bergwerk Tremonia)

Index	Hektar	Rechtswert	Hochwert	Verwaltungs-	Stadt / Gemeinde	Straße	Raumnummer
5.A	2599668	570824	Stadt	Dortmund	Leierweg	0017	
6.A	2599693	570819	Stadt	Dortmund	Leierweg	0019	
7.A	2599671	570859	Stadt	Dortmund	Leierweg	0021	
8.A	2599672	570858	Stadt	Dortmund	Leierweg	0023	
9.A	2599673	570858	Stadt	Dortmund	Leierweg	0025	
10.A	2599674	570877	Stadt	Dortmund	Leierweg	0025	
11.A	2599676	570856	Stadt	Dortmund	Leierweg	0027	
12.A	2599686	570845	Stadt	Dortmund	Leierweg	0029	
13.A	2599692	570849	Stadt	Dortmund	Leierweg	0031	
14.A	2599718	570856	Stadt	Dortmund	Leierweg	0036	
15.A	2599692	570844	Stadt	Dortmund	Leierweg	0037	
16.A	2599746	570823	Stadt	Dortmund	Leierweg	0038	
17.A	2599693	570845	Stadt	Dortmund	Leierweg	0039	
18.A	2599717	570838	Stadt	Dortmund	Leierweg	0040	
19.A	2599693	570844	Stadt	Dortmund	Leierweg	0041	

Abbildung 54: Ergebnisse einer ersten räumlichen Analyse an das BIS

Abbildung 54 zeigt im oberen Bereich das Ergebnis einer Adressanfrage an das *Bergbau-Informationssystem* auf der Basis des Namens der Gemeinde oder Stadt sowie der gesuchten Straße. Das Geographische Informationssystem zeigt neben den Sachdaten aller ge-

Einsatz bei Behörden

fundenen Geoobjekte auch deren räumliche Lage auf der Basis amtlicher Kartenwerke. Durch die Markierung eines Datensatzes in der Sachdatentabelle oder eines graphischen Objektes können einzelne Geoobjekte selektiert werden. Durch die Hinterlegung des ausgewählten Bereiches mit diversen historischen Kartenwerken kann die Situation bezüglich des Altbergbaus analysiert werden. Neben alten Grubenbildern können unter anderem auch geologische Karten hinzugeschaltet werden. Wichtige Objekte, wie zum Beispiel Schächte, sind nicht nur als Rasterdaten sondern auch als Vektordaten vorhanden. So können, wie die Abbildung 54 (unten) zeigt, Informationen für Schächte separat abgerufen werden.



Abbildung 55: Hinterlegung des ausgewählten Bereiches mit historischen Grubenbildern, geologischen Karten und Luftbildern

Zur weiteren Unterstützung von Stellungnahmen können historische Abbaugeometrien und Luftbilder dazugeschaltet werden. In Zukunft sollen nach der Umstellung auf das Geographische Informationssystem der Firma ESRI weitere Werkzeuge für die Analyse und Auswertung der räumlichen Daten modifiziert oder weiterentwickelt werden. Die laufende Optimierung der verschiedenen Systemkomponenten sowie die Komplettierung der Daten sind geplant.

3.4 Einsatz bei Versorgern

3.4.1 *E.ON Ruhrgas AG* (Erdgas)

Im Jahre 2004⁵ wurde in der Bundesrepublik Deutschland über 101 Milliarden Kubikmeter Erdgas verbraucht. Das entspricht bei einem angenommenen Umrechnungsfaktor von 11,5 kWh pro Kubikmeter einer Leistung von 1 161,5 Mrd. kWh. Sieben überregionale Ferngasunternehmen gewinnen Erdgas im Inland oder importieren das Gas (Abbildung 56, Seite 101). Dazu gehören folgende Konzerne:

- *E.ON Ruhrgas AG*
- *RWE AG*
- *Wingas GmbH*
- *ExxonMobil AG*
- *Verbundnetz Gas AG (VNG)*
- *Shell AG*
- *Erdgas Münster AG*

Acht regionale Ferngasgesellschaften ohne eigene Förderung und ohne Importaktivitäten übernehmen das Gas von den zuvor genannten Unternehmen und beliefern regionale und örtliche Gasversorger und Endverbraucher.

Diese Gasunternehmen der zweiten Verteilungshierarchie sind:

- *GVS Gasversorgung Süddeutschland GmbH*
- *Bayerngas GmbH*
- *Gas-Union GmbH*
- *Saar Ferngas AG*
- *EWE AG*
- *E.ON Avacon AG*
- *Ferngas Nordbayern (FGN) GmbH*
- *Erdgasversorgungsgesellschaft Thüringen Sachen mbH (EVG)*

Die *E.ON Ruhrgas AG* mit ihren rund 200 Mehr- und Minderheitsbeteiligungen an den gasversorgenden Unternehmen in Deutschland gehört seit Anfang 2003 vollständig zu der

5 Zahlen für das Jahr 2005 lagen zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit noch nicht vor

E.ON AG und ist im Konzern für das pan-europäische Erdgasgeschäft zuständig. Die Eingliederung der circa 2 502 Mitarbeiter (Stand 2004) erfolgte noch im gleichen Jahr wie auch die Umbenennung in *E.ON Ruhrgas AG*.

Der Ferngasversorger lieferte im Jahre 2004 über sein firmeneigenes Leitungsnetz von 11 280 Kilometern und Verdichteranlagen mit einer Gesamtleistung von circa 833 Megawatt insgesamt 641,4 Mrd. kWh.

Erdgasverbrauch in der BRD 2004: ca. 101 Mrd. m³

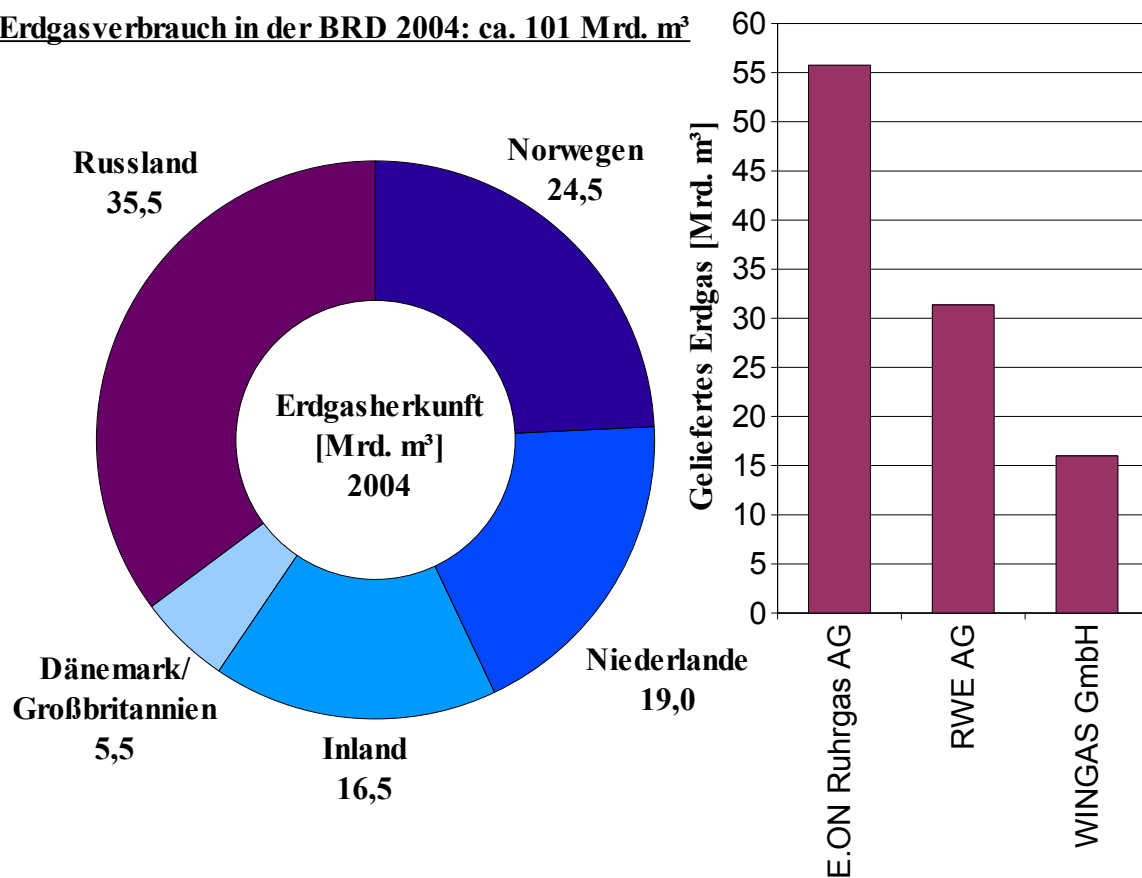


Abbildung 56: Herkunft und Lieferanten von Erdgas auf dem deutschen Markt

Aus dem *E.ON Ruhrgas AG* Online-Jahresbericht 2004 geht hervor, dass die *E.ON*-Tochtergesellschaft im Jahre 2004 eine Bilanzsumme in Höhe von 22,721 Mrd. Euro (Umsatzerlöse 14,426 Mrd. Euro) und ein Jahresergebnis vor Gewinnabführung von 968 Mio. Euro verbuchen konnte [www.eon-ruhrgas.com].

Innerhalb der *E.ON Ruhrgas AG* werden Geographische Informationssysteme unter anderem im Bereich *Systemplanung* sowie für die Dokumentation des Rohrleitungssystems eingesetzt. Zum Beispiel bildet ein Geographisches Informationssystem die Basis für die

gesetzlich vorgeschriebene Überwachung des Rohrleitungsnetzes mit Hilfe eines Helikopters. *E.ON Ruhrgas* hat mit zwei weiteren Projektpartnern das auf Infrarot-Laserlicht basierende Fernmesssystem *CHARM* (CH₄ Airborne Remote Monitoring) für die Detektion von Leckagen entwickelt. Das in der Erprobungsphase befindliche Messsystem soll eine alternative Lösung für die aufwändige Begehung mit Gasspürsonden bieten. Damit in Zukunft per Helikopter Gasleitungen kontrolliert werden können, muss das Fernerkundungssystem *CHARM* auch kleinste Methanspuren im Bereich von 50 l/h identifizieren. In einer zweijährigen Aufbau- und Untersuchungsphase wurde das System derart modifiziert, dass mit einem 100 Herz-Doppelpulslasersystem bei Messentfernungen von 80 Metern bis 200 Metern oberhalb der Rohrleitungstrasse diese Kleinstmethanmengen hundertprozentig erkannt werden.

Die Planung der Überfliegungen und die automatische Positionierung des Laserstrahles erfolgt mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems in Kombination mit Satellitennavigationssystemen. Potentielle Gasdetektionspositionen werden automatisch in das Geographische Informationssystem (Meldesystem) eingelesen und dort zur Unterstützung des weiteren Arbeitsprozesses visualisiert [RUHRGAS FORUM 10/2004].

Im Bereich der *Systemplanung Versorgungsnetze* und in der *Arbeitsplanung* werden neben anderen Anwendungen auch Geographische Informationssysteme eingesetzt. *E.ON Ruhrgas* tritt seit über 40 Jahren mit seiner Abteilung *Systemplanung Versorgungsnetze* als Dienstleister für Rohrnetzplanung und deren Berechnung auf dem freien Markt auf. Kunden sind kleinere Gemeinden und Städte, die nicht die finanziellen Mittel haben, eigenes Personal und somit Know-how für diese Aufgabe vorzuhalten. Die Betreiber von Gas- und Wasserrohrnetzen vor Ort brauchen allerdings für die kontinuierliche Instandhaltung und Weiterentwicklung ihrer Rohrnetze detaillierte Informationen über den Zustand und die Kapazität ihrer Leitungsinfrastrukturen.

Die Abteilung *Systemplanung Versorgungsnetze* unterstützt die Versorger bei der optimalen Nutzung ihrer Ressourcen, um dem ständig wachsenden Kostendruck wirksam zu begegnen. Effektive Sanierung von Rohrleitungsnetzen, Ausnutzung von Kapazitätsreserven, Planung des Ausbaus von Leitungsinfrastrukturen sowie Erstellung und Umsetzung von Anforderungskatalogen zur Anpassung von Rohrnetzsystemen bei sich ändernder gesetzli-

cher Grundlage sind Maßnahmen, um dieses Ziel zu erreichen. Zur Bearbeitung der Kundenaufträge hat die *E.ON Ruhrgas AG* maßgeschneiderte Softwareanwendungen programmiert, die die Daten der Kunden aufbereiten, analysieren und die verschiedenen Ergebnisse visualisieren. Eines dieser Programme ist das Rohrnetzplanungs- und Berechnungsprogramm *OptiPlan*, das von *E.ON Ruhrgas AG* konzipiert und gemeinsam mit den Kunden kontinuierlich weiterentwickelt wird. Dieses leistungsstarke Analysewerkzeug wird nicht nur bei *E.ON Ruhrgas AG* selbst eingesetzt, sondern auch an Versorgungsunternehmen inklusive der notwendigen Schulungen vertrieben.

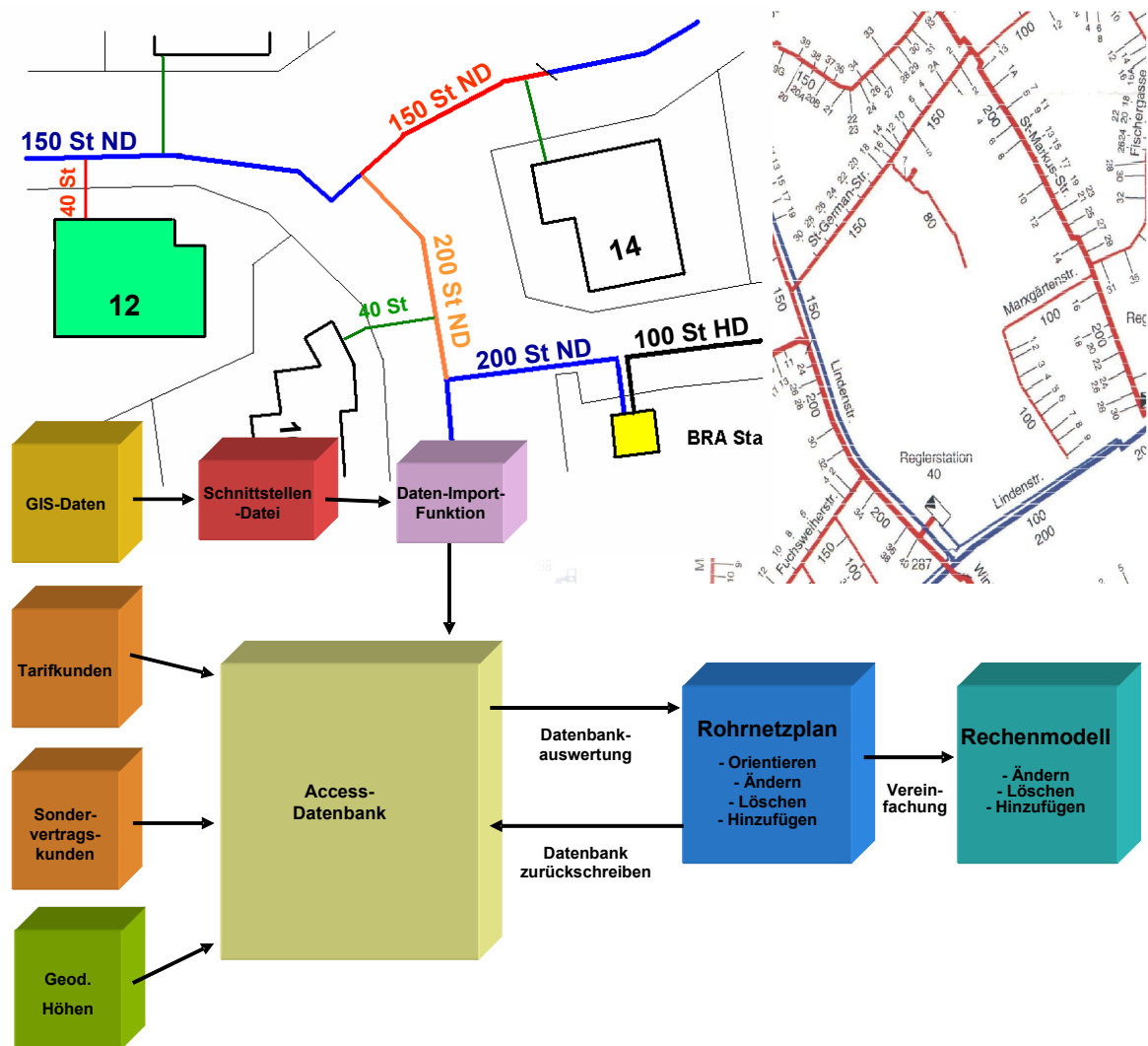


Abbildung 57: GIS-Daten als Basis für das Rohrnetzrechnungsprogramm *OptiPlan* von *E.ON Ruhrgas*

Abbildung 57 zeigt neben dem Aufbau und der Programmarchitektur des Programmes *OptiPlan* eine Detailansicht einer größeren innerstädtischen Kreuzung (rechts oben) sowie einen Ausschnitt eines städtischen Rohrnetz- und Anschlussplanes (links oben). Grundlage

für die Berechnungen mit *OptiPlan* sind Daten der Kunden. Diese liegen zum größten Teil schon in digitaler Form als Geodaten in einem Geographischen Informationssystem vor. Viele Kunden haben mit der Einführung von Geographischen Informationssystemen allerdings kein Qualitätsmanagement und Weiterführungskonzept entwickelt, so dass die Geodaten ihren betrieblichen Aufgaben beim Kunden gerecht werden, aber einer genaueren Datenanalyse oft nicht standhalten. Deshalb müssen vor der eigentlichen Rohrnetzanalyse die Geodaten der Kunden einer Überprüfung auf Plausibilität, Vollständigkeit und Geometrie- sowie Sachdatenfehler unterzogen werden. Nach erstmaligem Import von GIS-Daten werden dem Kunden nicht nur die verbesserten Daten zur Verfügung gestellt, sondern er wird auch auf systematische Fehler hingewiesen. Darauf aufbauend werden mit dem Kunden Konzepte für eine optimale Weiterführung des Datenbestandes erarbeitet. Danach werden die Daten des Rohrleitungsnetzes analysiert und dem Kunden die Ergebnisse verschiedener Planungsvarianten übergeben. Die Leistungen innerhalb eines Projektes werden von der Abteilung wie folgt beschrieben:

- Erstmaliger Import der GIS-Daten und Auswertung der Verbrauchsdaten
- Überprüfung auf Plausibilität, Vollständigkeit, Geometrie- und Sachdatenfehler
- Protokollierung aller notwendigen Veränderungen der Ursprungsdaten
- Beseitigung von Zuordnungsfehlern der Verbrauchsstellenadressen
- Kopplung der Geodaten an andere relevante Datenbestände wie zum Beispiel aus dem kaufmännischen und dem technischen Bereich
- Nach der Datenkorrektur nochmaliger Import der GIS-Daten (Qualitätskontrolle durch *OptiPlan*)
- Erzeugung eines funktionsfähigen Rechenmodells
- Auswertung mehrerer Lösungsvarianten und Übergabe der Ergebnisse an den Kunden

Diese Leistungen werden durch die Programmierung von Schnittstellen zwischen dem Kunden-GIS und *OptiPlan* ergänzt. So können die Kunden und *E.ON Ruhrgas* jederzeit mit den aktuellen Geodaten des vom Kunden kontinuierlich geführten Geographischen Informationssystems arbeiten.

Da *OptiPlan* die geometrischen und sachbezogenen Informationen der Geodaten über-

nimmt, bearbeitet, analysiert und die Ergebnisse präsentiert, kann das von der *E.ON Ruhrgas AG* entwickelte Programm laut den verschiedenen Definitionen als ein Geographisches Informationssystem bezeichnet werden. So können zum Beispiel Daten von Entnahme- und Verteilerstellen abgefragt und Auswertungen von Strömungsvorgängen durchgeführt und visualisiert werden [SYSTEMPLANUNG VERSORGUNGSNETZE].

Auch in der Abteilung *Systemplanung Arbeitsplanung* kommt ein Geographisches Informationssystem zum Einsatz. Hier werden geplante sowie nicht geplante Arbeitsprozesse am Rohrleitungssystem vorbereitet und koordiniert. Zu den geplanten Einsätzen gehören zum Beispiel Wartungsarbeiten an Verdichtungsanlagen, für die Teile der Rohrleitungsinfrastruktur in der näheren Umgebung des Einsatzes vorübergehend gesperrt werden und der Gasstrom umgeleitet werden muss. Die gleichen Aufgaben müssen auch bei Störungen umgesetzt und der Arbeitseinsatz koordiniert werden. Dazu bedient sich die Abteilung keines handelsüblichen Geographischen Informationssystems, sondern eines Systems, das für diese Aufgabe speziell entwickelt wurde. Abbildung 58 zeigt schematisch dessen Aufbau.

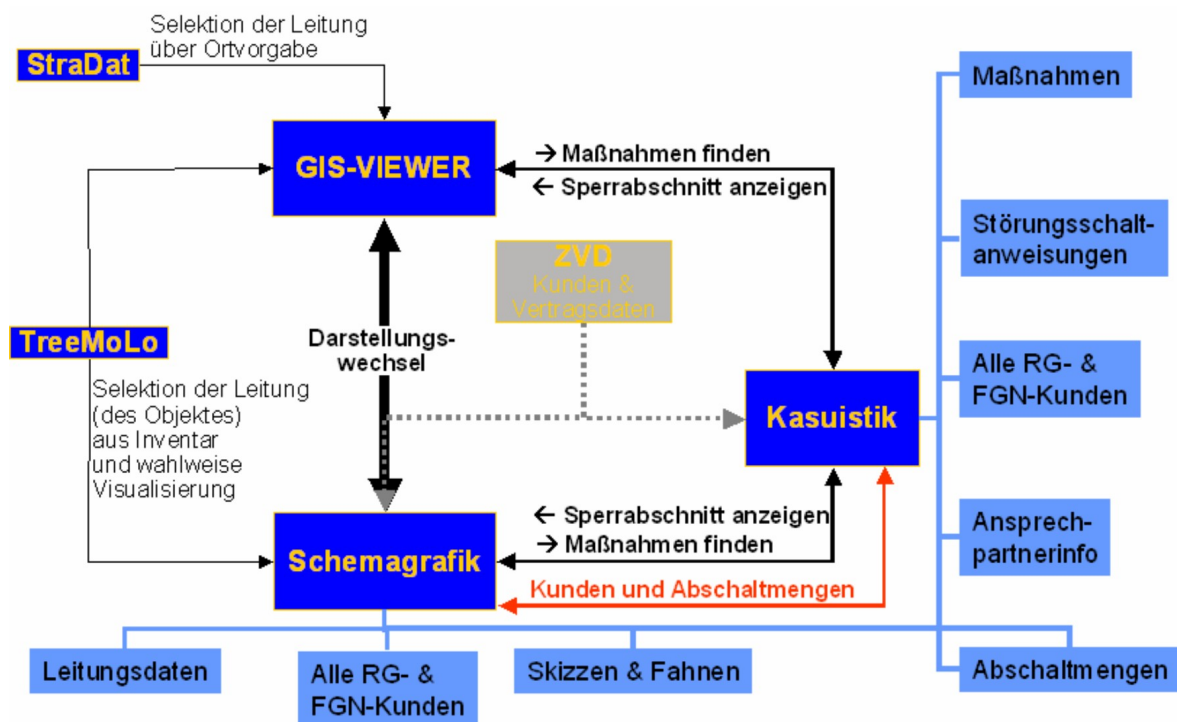


Abbildung 58: Systemarchitektur der Ruhrgas-Kasuistik

Dieses Geographische Informationssystem hat gegenüber den handelsüblichen Systemen

zwei voneinander unabhängige Darstellungsebenen. Zum einen können topographische Informationen über einen GIS-Viewer dargestellt werden. Hierzu sind verschiedene topographische Karten sowie die Koordinaten der Rohrleitungsinfrastruktur im System abgelegt. Abfragen über bestimmte topographische Koordinaten sowie Kundenadressen und -namen sind über einen nachgeschalteten Dienst möglich. Zum anderen kann durch Umschalten der Schemaplan des angezeigten Bereiches abgerufen werden. So können technische Details schneller und besser beurteilt werden.

Kernstück der sachbezogenen Informationsstruktur ist eine integrierte Datenbank mit Kunden- und Vertragsdaten sowie die betriebsinterne Datenbank *Kasuistik*, die dem gesamten System auch den Namen gibt. Über diese *Kasuistik* können bei einer Störung für jedes Element in der Rohrleitungsinfrastruktur, wie zum Beispiel Rohrleitungsabschnitte oder Verteilerknotenpunkte, Informationen über die einzuleitenden Gegenmaßnahmen abgefragt werden. Zu diesen Informationen gehören neben den Bezeichnungen der zu sperrenden Leitungselemente auch die Namen der Kunden, die bei einer Absperrung direkt betroffen sind. Weiterhin zeigt das System potentielle Umleitungswege für das Gas, die einen ungestörten Regelbetrieb des restlichen Rohrleitungsnetzes garantieren. Alle diese Informationen sind durch übersichtliche Menüführung und Masken schnell und auf einen Blick abrufbar und garantieren im Ernstfall ein schnelles und effektives Eingreifen des koordinierenden wie auch operativ eingesetzten Personals.

3.5 Einsatz in Wissenschaft und Forschung

3.5.1 Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme

Die *Fraunhofer Gesellschaft* vereinigt 58 Institute an über 40 Standorten in Deutschland. Die rund 12 400 Mitarbeiter bearbeiten Forschungs- und Drittmittelprojekte mit einem Gesamtvolumen von 1,25 Mrd. Euro. Daneben unterhält die *Fraunhofer Gesellschaft* auch Niederlassungen im europäischen Ausland sowie in den USA und in Asien [www.fraunhofer.de].

Anhand des von der *Fraunhofer Gesellschaft* im Rahmen eines EU-Projektes entwickelten Geographischen Informationssystems *CommonGIS (ESPRIT project 28983)* soll die Bandbreite und Flexibilität solcher Programme vorgestellt werden. *CommonGIS* dient dem *Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme* als zentrales Element für die Projektarbeit innerhalb seiner Geschäftsfelder *Information Mining* und *Geo-Intelligenz*. Mehrere Hochschuleinrichtungen, darunter auch das *Institut für Markscheidewesen*, besitzen Forschungslizenzen und setzen *CommonGIS* in Forschung und Lehre ein. Zurzeit werden eine neue Benutzeroberfläche sowie verbesserte Ausgabemöglichkeiten für dieses Geographische Informationssystem entwickelt. Die zweite Version von *CommonGIS* soll nach Fertigstellung auch kommerziellen Anwendern zur Verfügung gestellt werden.

Das *Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme* verfolgt mit seinen Forschungstätigkeiten drei weit reichende Ziele. Zum einen arbeitet das Institut an der Entwicklung von technischen Systemen, die in bestimmten Grenzen autonom arbeiten können. Daneben werden intelligente Systeme entwickelt, die im Rahmen ihrer Möglichkeiten „lernen“ können. Die Kombination dieser Fähigkeiten – Autonomie und Intelligenz – ermöglicht die Entwicklung von technischen Systemen wie zum Beispiel Robotern, die auch in unbekannt und schwierigen Situationen beispielsweise im Rettungswesen oder in der Überwachung von Rohrleitungen, selbstständig und ohne das Eingreifen des Menschen arbeiten können. Als drittes Ziel definiert das *Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme* die Entwicklung von Gesamtsystemen aus Menschen, Strukturen und Technik. Der Systemgedanke ist das Kernelement der zuvor genannten Entwicklung von autonomen und intelligenten technischen Systemen.

Für die Bearbeitung dieser Ziele ist das *Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme*

Einsatz von GIS-Anwendungen

in vier Geschäftsfelder mit insgesamt circa 140 Mitarbeitern aufgestellt. Neben den schon erwähnten Geschäftsfeldern *Information Mining* und *Geo-Intelligenz* bestehen die Geschäftsfelder *Erkundungsrobotik* und *Ausbildungsrobotik*. Neben diesen festen Bestandteilen der Organisation existieren noch die zwei Explorationsfelder *E-Partizipation* (computergestütztes Innovations- und Ideenmanagement) und *Intelligente Kinematiken, Aktuatoren und Prothetik* [www.ais.fraunhofer.de].

Das Geographische Informationssystem *CommonGIS* wird seit Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts kontinuierlich weiterentwickelt. Es vereint die klassischen Methoden der GIS-Technologie mit denen der uni- und multivarianten Statistik, selbstentwickelten Konzepten für das Data Mining sowie Planungs- und Optimierungsalgorithmen.

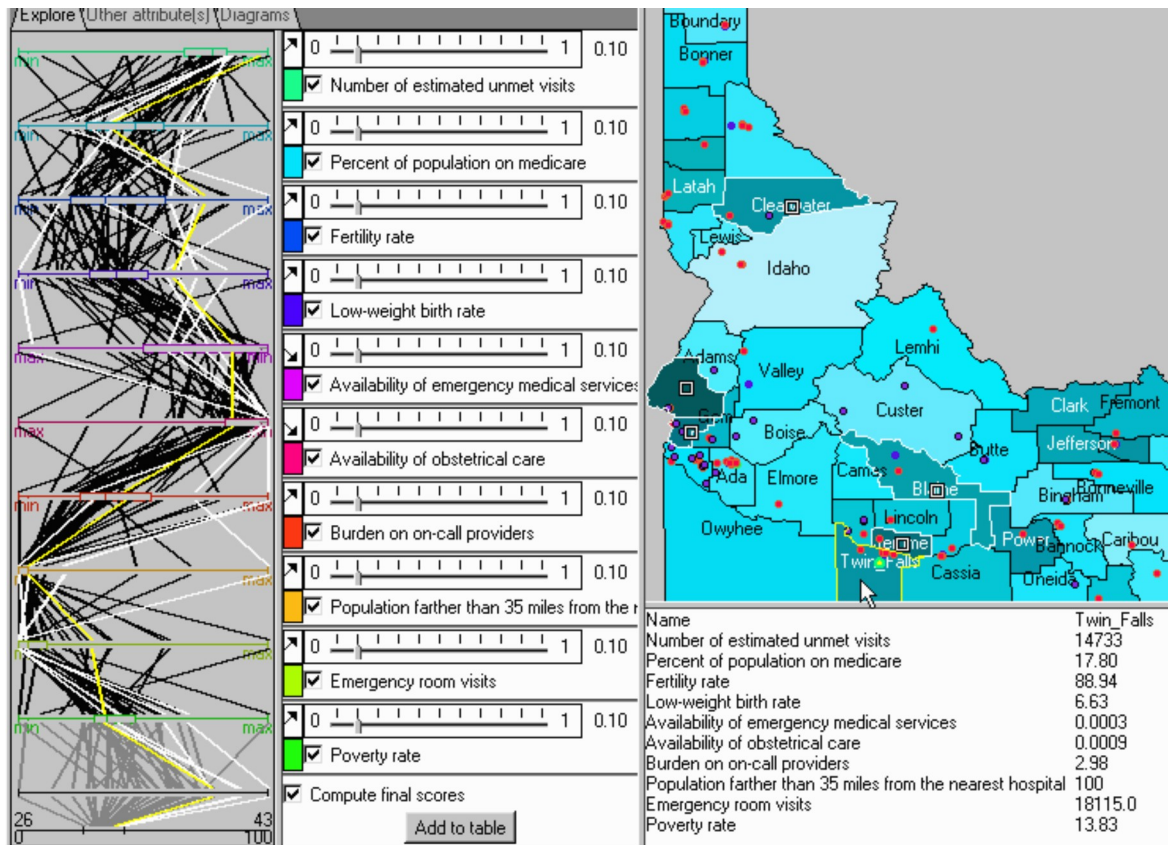


Abbildung 59: Analysewerkzeuge (Methode der Visuellen Analytik) von CommonGIS

Die Sourcecodes von *CommonGIS* basieren auf der Programmiersprache JAVA und sind somit unter fast allen Betriebssystemen und Computerplattformen einsetzbar. Der Schwerpunkt bei der Entwicklung von *CommonGIS* lag im Bereich der Analyse und Auswertung von Geodaten. Abbildung 59 zeigt am Beispiel der *Methode der Visuellen Analytik* ansatz-

weise die Komplexität dieser Analysewerkzeuge. Hierbei können die Auswirkungen innerhalb eines Systems von Parametern, die durch die Veränderung eines dieser Parameter hervorgerufen werden, visualisiert und somit Zusammenhänge erkannt werden. Weitere Analysemethoden dieses Geographischen Informationssystems sind:

- Methoden der uni- und multivariaten Statistik
- Multikriterielle Entscheidungsunterstützung
- Mehrdimensionale Datenanalyse
- Kombination mit Data Mining- und Optimierungswerkzeugen
- Dynamisch skalierbare Vektorgitter

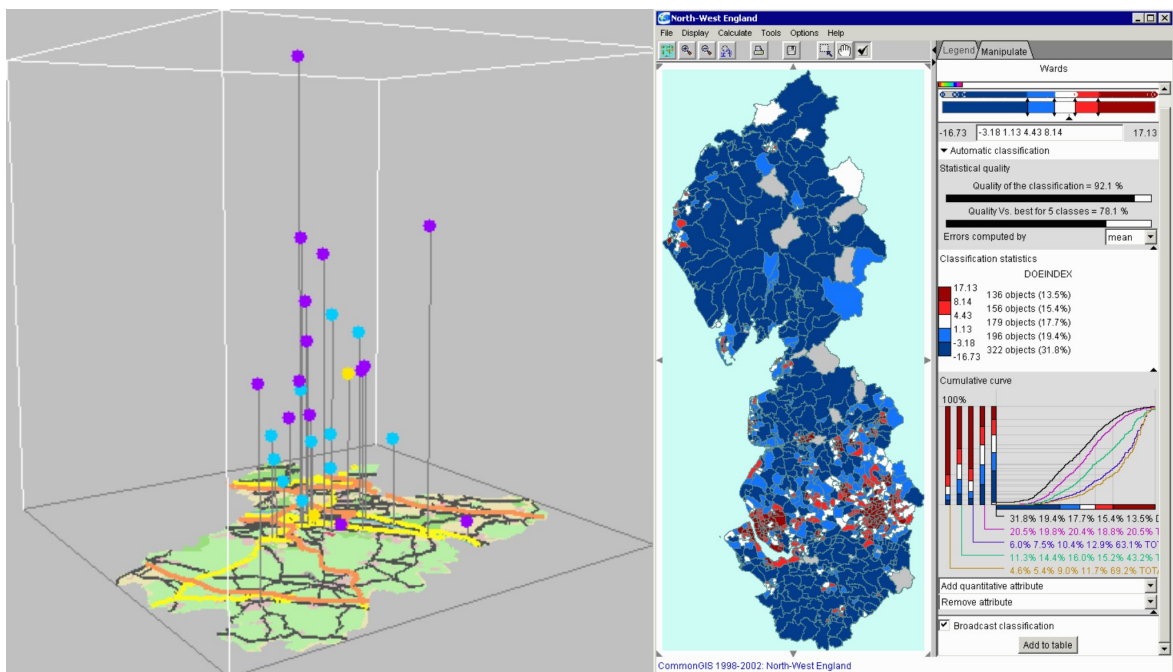


Abbildung 60: Dreidimensionale Analyse von Geodaten sowie komplexe Auswertungswerkzeuge von CommonGIS

Abbildung 60 zeigt weitere Analysewerkzeuge von CommonGIS. Auf der linken Hälfte der Abbildung 60 wird das Ergebnis einer Datenauswertung dreidimensional dargestellt. Das zweite Beispiel (Abbildung 60, rechtes Bild) demonstriert weitere Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten von CommonGIS anhand von Geodaten im Gebiet von Nord-West England [www.commongis.de].

Das Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme plant in Zukunft nach der zuvor erwähnten Weiterentwicklung der Benutzeroberfläche und der Verbesserung der Ausgabemöglichkeiten von CommonGIS, diese Software in Form eines Open Source Produktes

frei am Markt anzubieten. Kommerziellen Nutzen möchte das Institut durch kundenorientierte Dienstleistungen rund um *CommonGIS* ziehen.

3.5.2 Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrologie (RWTH Aachen)

Neben dem Einsatz von Geographischen Informationssystemen am Institut für Marktscheidewesen (Kapitel 4) soll am Beispiel des *Lehrstuhls für Ingenieurgeologie und Hydrologie (LIH, Univ.-Prof. Dr. Rafiq Azzam)* die Verwendung solcher Programme innerhalb der *Fakultät Georessourcen und Materialtechnik* exemplarisch an einem Beispiel beschrieben werden.

Der *Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrologie* beschäftigt neben Professor *Azzam* noch weitere vier Professoren sowie 26 wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Mitarbeiter. Unterstützt werden sie in ihren Tätigkeiten durch neun studentische Mitarbeiter, vier Lehrbeauftragte und drei Gastwissenschaftler. Neben der Anfertigung von hydrogeologischen und hydrologischen Kartenwerken, bei deren Erstellung der Lehrstuhl auf eine über fünfzigjährige Erfahrung zurückblicken kann, liegen die Schwerpunkte der aktuellen Forschungstätigkeit im Bereich der Evaluierung der Deckschichtenschutzfunktion unter besonderer Berücksichtigung von Bodentyp und Flächennutzung sowie in der Entwicklung und Bewertung von Strategien zur mineralischen und physikalischen Bindung von CO₂ in geologischen Formationen [www.lih.rwth-aachen.de].

Im Auftrag des *Geologischen Dienstes des Landes Nordrhein-Westfalen* erstellt der Lehrstuhl die Grundlagen für ein dreidimensionales Modell der *Venloer Scholle*. Dabei kommt, wie vom Auftraggeber gewünscht, die neueste Version der Geographischen Informationssysteme der Firma *ESRI (ArcGIS/ArcInfo, Version 9.2)* zum Einsatz. Die Grundlage für die aktuellen Arbeiten im Nordteil der Scholle, der circa 240 Quadratkilometer umfasst, sind 2 500 Bohrungen inklusive einer sehr detaillierten geologischen Ansprache. Insgesamt hat die *Venloer Scholle* eine Größe von über 1 600 Quadratkilometer ist mit circa 8 400 Bohrungen geologisch erkundet.

Ziel dieses Drittmittelprojektes ist die Konstruktion von Hangendflächen und Liegendflächen der einzelnen geologischen Schichten, die später bei der dreidimensionalen Modellierung der Scholle als Grenzflächen zwischen den jeweiligen Schichten verwendet

werden. Das Konzept basiert auf zwei von einander abhängigen geologischen Darstellungsformen. Zum einen werden aus den Bohrlochdaten und geologischen Karten Isolinienkarten jeder geologischen Schicht hergestellt. Die Projektion dieser Isolinienkarten ist vergleichbar mit dem markscheiderischen Grundriss. Die andere Darstellungsform ist eine Profillinienkarte, deren Projektion mit dem markscheiderischen Seigerriss identisch ist. Die Konstruktion dieser geologischen Kartenwerke erfolgt nicht in einer bestimmten Reihenfolge, sondern gleichzeitig und iterativ.

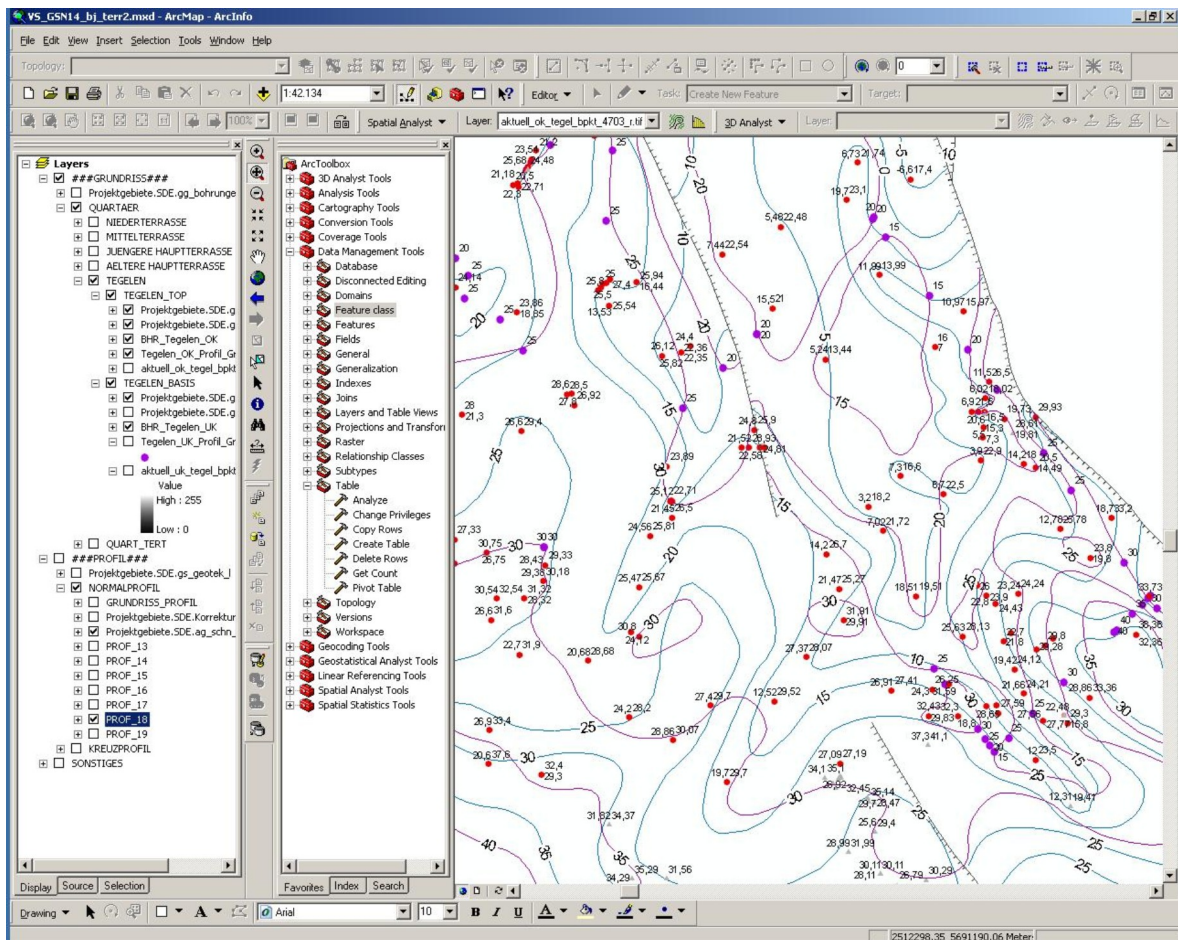


Abbildung 61: Isolinienkarte der Oberfläche der geologischen Schicht Tegelen (Quartaer)

Abbildung 61 zeigt einen Ausschnitt der Isolinienkarte der Oberfläche der geologischen Schicht *Tegelen* aus dem *Quartaer*. Weiterhin ist die Lage der Bohrungen in Form der roten und lila Punkte dargestellt, die die Basis für die Isolinien bilden. Für jede geologische Schicht existieren zwei Isoliniendarstellungen, für die liegende und hangende Schichtgrenze. Parallel zu diesen Arbeiten werden alle 100 Meter Profillinien der gesamten geologischen Situation konstruiert. Die maximale Teufe der gesamten Datengrundlage und der

Einsatz von GIS-Anwendungen

darauf basierenden Darstellung ist abhängig von den vorliegenden Bohrlochdaten und reicht bis zu einer Tiefe von 1 000 Meter unter Normalnull. Die Herstellung dieser beiden geologischen Darstellungsformen ist iterativ, da die komplexe geometrische Form nur durch die Kombination der beiden Kartenwerke erschlossen werden kann. Abbildung 62 zeigt neben den Schnittlinien (blaue Linien) der einzelnen Profilliniendarstellungen zwei dieser geologischen Profile.

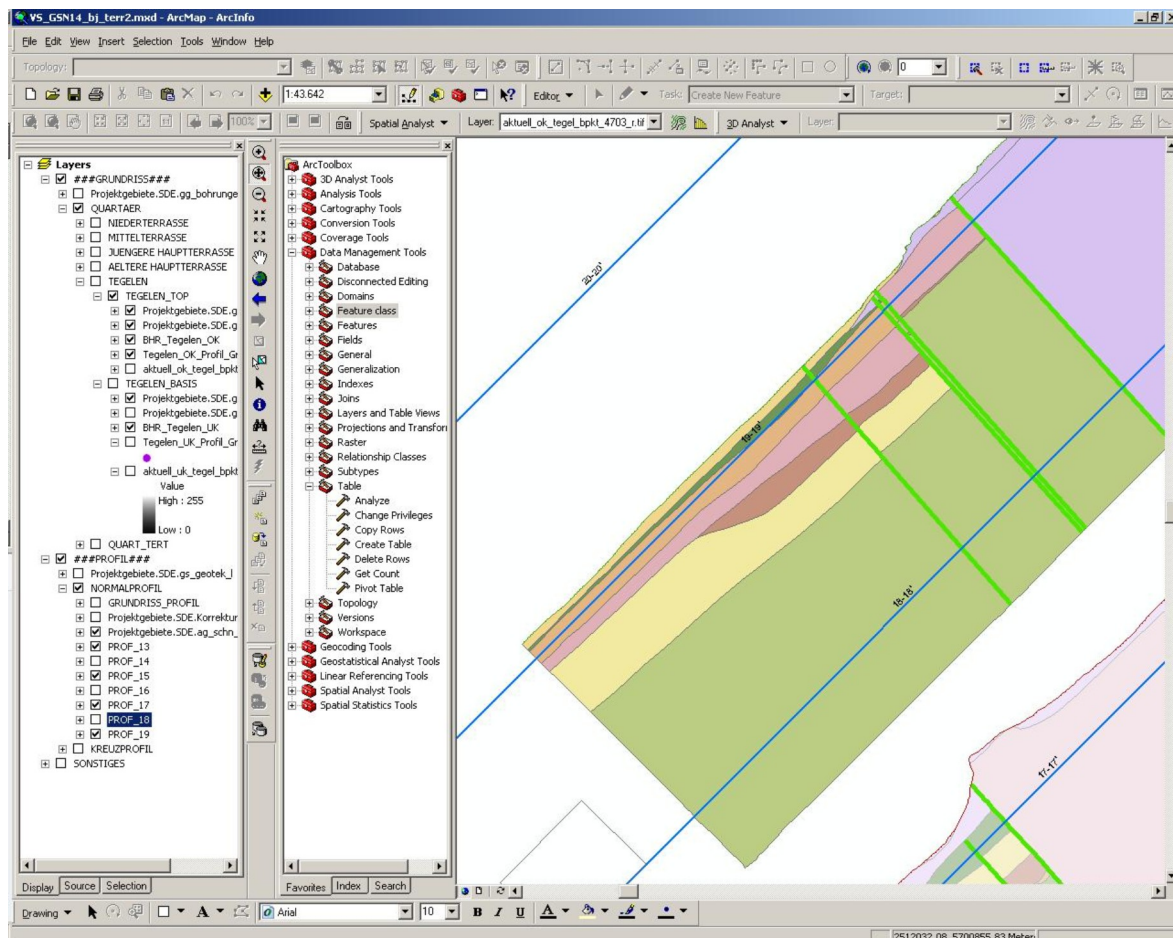


Abbildung 62: Geologische Profilliniendarstellung aus dem Bereich der Venloer Scholle

Die einzelnen Quer- und Längsprofile können über die Legende des Geographischen Informationssystems separat zugeschaltet oder ausgeblendet werden.

Vor der eigentlichen Verarbeitung der Bohrlochdaten zu Isolinien- und Profillinienkarten mussten die Teufenangaben mit Hilfe von digitalen Geländemodellen (DGM) des *Landesvermessungsamtes NRW* modifiziert werden. Die Teufenangaben bezogen sich teilweise auf den Bohrlochansatzpunkt und nicht auf den Höhenwert Normalnull. Zudem sind in den

Bereichen von größeren Eingriffen des Menschen, wie zum Beispiel Halden und Autobahnen, die Teufenangaben der Bohrlöcher angepasst worden. Danach erfolgte eine Ansprache der in den Bohrlochdaten ausgewiesenen Schichten über geologische Karten.

Bei der Erstellung der Isoliniendarstellung wird in einem ersten Schritt ein so genanntes Verbreitungspolygon für die jeweilige Schicht konstruiert, das die ungefähre flächen- und teufenhafte Verbreitung der Schicht beschreibt. Darauf aufbauend erfolgt in dem schon zuvor erwähnten iterativen Prozess die Detailkonstruktion der Isolinien- und der Profilliniendarstellung.

Der Lehrstuhl hat für eine automatische Kontrolle der Isolinien- und Profilliniendarstellungen und für die korrekte Wiedergabe der Zusammenhänge zwischen den beiden Darstellungsformen über ein Dutzend maßgeschneiderte Subroutinen programmiert. Die Programmierung dieser Subroutinen erfolgte in *Visual Basic for Application*. So konnte ein effektives und nachvollziehbares Qualitätsmanagement eingeführt werden.

3.5.3 Institut für Markscheidewesen (RWTH Aachen)

Der Einsatz von Geographischen Informationssystemen am *Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau* (kurz: *Institut für Markscheidewesen, ifm*) wird im folgenden Kapitel beschrieben.

4 GIS-Einsatz am *Institut für Markscheidewesen*

4.1 Allgemeine Aspekte

4.1.1 Eingrenzung des Themenbereiches

Die Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit liegen in der Formulierung der theoretischen Grundlagen und deren gedanklicher Weiterentwicklung sowie in der Kurzbeschreibung der im Bergbau eingesetzten Geographischen Informationssysteme. Beide Themenbereiche sollen als Grundlagen für die Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte für die Lehre des *Instituts für Markscheidewesen* dienen, die im Zusammenhang mit der Umstellung des Diplomstudienganges Markscheidewesen auf die Abschlüsse Bachelor/Master angepasst werden müssen.

In den nachfolgenden Kapiteln wird der Einsatz von Geographischen Informationssystemen am *Institut für Markscheidewesen* an ausgesuchten Beispielen vorgestellt. Darüber hinaus werden theoretische Überlegungen und Konzepte für Verbesserungen und Weiterentwicklungen sowie für den zukünftigen Einsatz von Geographischen Informationssystemen entwickelt.

Eine Umsetzung dieser Konzepte in Form von einzelnen Sourcecode-Modulen erfolgte parallel zur Erstellung dieser Arbeit, um die Richtigkeit der getroffenen Annahmen zu belegen. Eine Erstellung von vollständigen Programmierungen inklusive einer benutzerfreundlichen Menüführung ist im zeitlichen Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

So wird der Einsatz eines Geographischen Informationssystems bei der Erstellung der Unterlagen für einen Antrag auf die Vergabe eines wissenschaftlichen Erlaubnisfeldes nach § 7 des Bundesberggesetzes für die Aufsuchung von Flözgas beschrieben und das Rationalisierungspotential eines solchen Einsatzes inklusive der Verwendung in der Lehre dargestellt.

Ein Geographisches Informationssystem und die dazugehörige GIS-Architektur sind das Kernelement innerhalb des F & E-Vorhabens *Haldentherm RWTH*. Die Entwicklung eines Systems zur thermischen Nutzung von Schwelbränden innerhalb von Halden des Steinkohlenbergbaus ist Ziel einer interdisziplinär aufgestellten Forschungsgemeinschaft. Die GIS-

Allgemeine Aspekte

Technologie dient hierbei nicht nur als Basis für die Kommunikation zwischen den einzelnen Projektpartnern, sondern ist auch Grundlage für eine dreidimensionale Simulation des Haldenschwelbrandes und für die Erschließung neuen Wissens. Hierzu wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Konzept für die Ankopplung der Software *ArcGIS* an die Bergbauplanungssoftware *Surpac Vision* über die Schnittstelle *Geological Database* erarbeitet.

Das am Institut für Markscheidewesen im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg entwickelte Bergschaden-Expertensystem *SAB* für die Berechnung der Senkungs- und Zerrungs- sowie Pressungspotenziale in Folge tages- und oberflächennahen Abbaus wird durch die Ankopplung an ein Geographisches Informationssystem erweitert.

4.2 Konzept für den wirtschaftlichen GIS-Einsatz

4.2.1 Manuelle Anfertigung von Antragsunterlagen mit Hilfe von CAD-Software

Das *Institut für Markscheidewesen* stellt im Rahmen seiner wissenschaftlichen Arbeit unter anderem für Projekte innerhalb der Fakultät *Georessourcen und Materialtechnik* und für die *RWTH Aachen* Anträge für die Erteilung von wissenschaftlichen Erlaubnissen und Bewilligungen nach §§ 7 und 8 BBergG. So wurden im Vorfeld des F & E-Vorhabens *SuperC* für die Aufsuchung von tiefer Erdwärme sowie für die 2 500 Meter tiefe innerstädtische Bohrung *RWTH-1* verschiedene bergrechtliche Verfahren zur Erlangung einer wissenschaftlichen sowie gewerblichen Erlaubnis und Bewilligung durchgeführt.

Den Antragsunterlagen für eine Erlaubnis muss neben der Bezeichnung der Bodenschätze, die aufgesucht werden sollen, und einem detaillierten Arbeitsprogramm eine Karte mit geeignetem Maßstab beigelegt werden (§ 11 BBergG). Die Erstellung dieser Karte und der ergänzenden Unterlagen unterliegt behördlichen Richtlinien. So müssen zum Beispiel die durch die Aufsuchung betroffenen Regierungsbezirke mit den entsprechenden Kreisen beziehungsweise kreisfreien Städten sowie die Gemeinden selbst, innerhalb deren Grenzen das Erlaubnisfeld liegt, genannt werden. Eine weitere behördliche Auflage ist die Berechnung der Fläche des Feldes unter Berücksichtigung der Projektionsverzerrung mittels der Gauß'schen Flächenreduktionsformel [MarkschBergV] [UnterlagenBergV]. Hierzu müssen die Eckpunkte des Feldes tabellarisch aufgeführt und die Gesamtfläche berechnet werden.

Gauß'sche Flächenreduktion:

$$v_F = F * (R_{W_M}^2) / r^2$$

mit

F: berechnete Fläche [m²]

R_{W_M}: Abstand der Fläche vom Mittelmeridian; R_{W_M} wird errechnet als arithmetisches Mittel aus allen Rechtswerten der für die Flächenberechnung relevanten Eckpunktkoordinaten unter Fortlassung der Kennziffern [m]

r: mittlerer Krümmungshalbdurchmesser; 6 381 000 Meter für die mittlere Breite der BRD [m]

In der Praxis werden diese markscheiderischen Arbeiten durch einen Verwaltungsangestellten des Instituts durchgeführt. Dabei werden folgende Schritte nacheinander ausgeführt:

- Beschaffung der entsprechenden topographischen Karten
- Einbindung der topographischen Karten in ein CAD-Programm und Skizzierung der Feldgrenzen
- Recherche im Internet und in alternativen Quellen, beispielsweise analogen Karten, für die Ermittlung der betroffenen Regierungsbezirke, Kreise/kreisfreien Städte und Gemeinden
- Festlegung der Grenzen und mathematische Rundung der Koordinatenwerte
- Herstellung der Karte mit entsprechender Legende
- Manueller Abgriff der Koordinatenwerte der Feldeseckpunkte und die Berechnung der Fläche innerhalb eines handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogramms wie zum Beispiel *MS Excel*

Dieser Arbeitsablauf hat sich in den letzten Jahren als Standard für die vielen wissenschaftlichen und gewerblichen Anträge innerhalb von Drittmittelprojekten herauskristallisiert. Dabei handelt es sich vor allem um Felder mit relativ kleinen Flächen. Eine Teil- beziehungsweise Vollautomatisierung und somit eine betriebswirtschaftliche Rationalisierung fand nicht statt. Alle zuvor genannten Punkte wurden manuell und für jedes Projekt gesondert durchgeführt. Fehler bei der Auflistung der Gemeinden wie auch bei der Übertragung der Koordinatenwerte für die Flächenberechnung können nur durch manuelle, mehrfache Kontrolle ausgeschlossen werden. Eine Optimierung der Feldesgrenzen im Kontext der Verwaltungsgrenzen ist nur schwer oder überhaupt nicht möglich. Theoretisch könnte durch die Verschiebung einer Koordinate die administrative Arbeit durch die Nicht-Einbeziehung einer weiteren Bezirksregierung erheblich verringert werden (Kapitel 4.2.2).

Bei großflächigen Feldern stößt die zuvor beschriebene Vorgehensweise an ihre Grenzen. So bei der Erstellung der Antragsunterlagen für das F & E-Vorhaben *CBM-RWTH* (Abkürzung für *Coal Bed Methane*), dessen Ziel die Gewinnung von Flözgas aus unverritztem Karbongebirge zwischen dem Ruhrgebiet und dem Münsterland zur Energiegewinnung mittels Tiefbohrungen ist.

Abbildung 63 zeigt die Größe und Lage des Erlaubnisfeldes *CBM-RWTH* mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von circa 60 Kilometern und einer Ost-West-Ausdehnung von rund 80 Kilometern. Das Feld in seinen endgültigen Grenzen liegt auf dem Gebiet der Regierungsbezirke Arnsberg und Münster. Neben den sieben Kreisen mit insgesamt 44 Gemeinden sind fünf kreisfreie Städte in das Verfahren involviert.

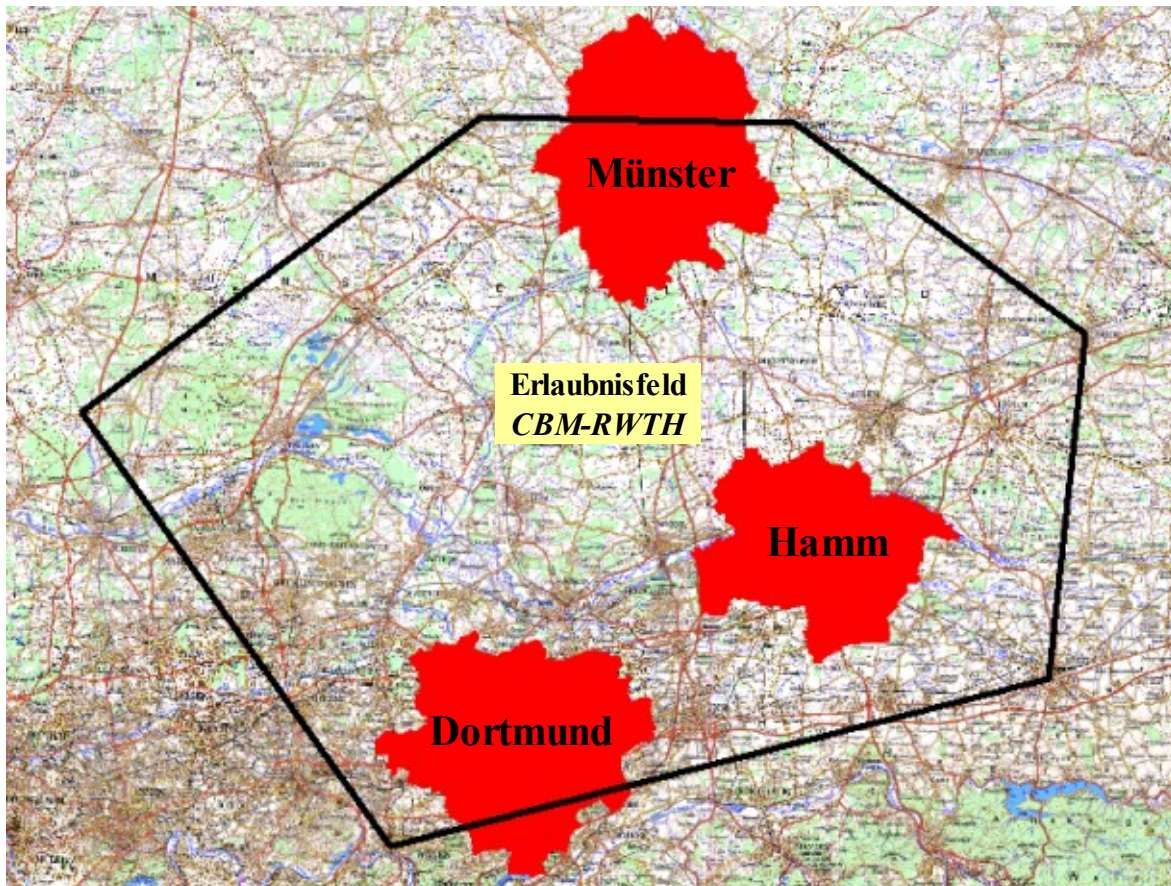


Abbildung 63: Erlaubnisfeld des F & E-Vorhabens *CBM-RWTH*

Die Erstellung der risslichen Unterlagen dauerte sechs Tage inklusive vier Tagen Recherchearbeit für die Bestimmung der betroffenen Kreise.

Parallel zu der Erstellung der Unterlagen für den *Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis zur Aufsuchung bergfreier Bodenschätze zu wissenschaftlichen Zwecken nach § 7 Bundesberggesetz (BBergG) für das Feld „CBM-RWTH“* wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht, welche Rationalisierungspotentiale der Einsatz eines Geographischen Informationssystems bei der Bearbeitung solcher markscheiderischen Aufgaben bietet.

4.2.2 GIS-Einsatz zur Erschließung von Rationalisierungspotentialen

Ansatzpunkt für die Entwicklung eines Konzeptes für die Steigerung der Effizienz war die Analyse der einzelnen Arbeitsschritte bei der Erstellung der benötigten Unterlagen, die im letzten Kapitel vorgestellt wurden. Dabei zeigte sich, dass die Benennung der von dem jeweiligen Verfahren betroffenen Kreise und Gemeinden den zeitaufwendigsten Arbeitsprozess darstellt. Für die Lösung dieser Aufgabe gibt es keine einheitliche Vorgehensweise. Eine Kontrolle der Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben ist nur schwer möglich.

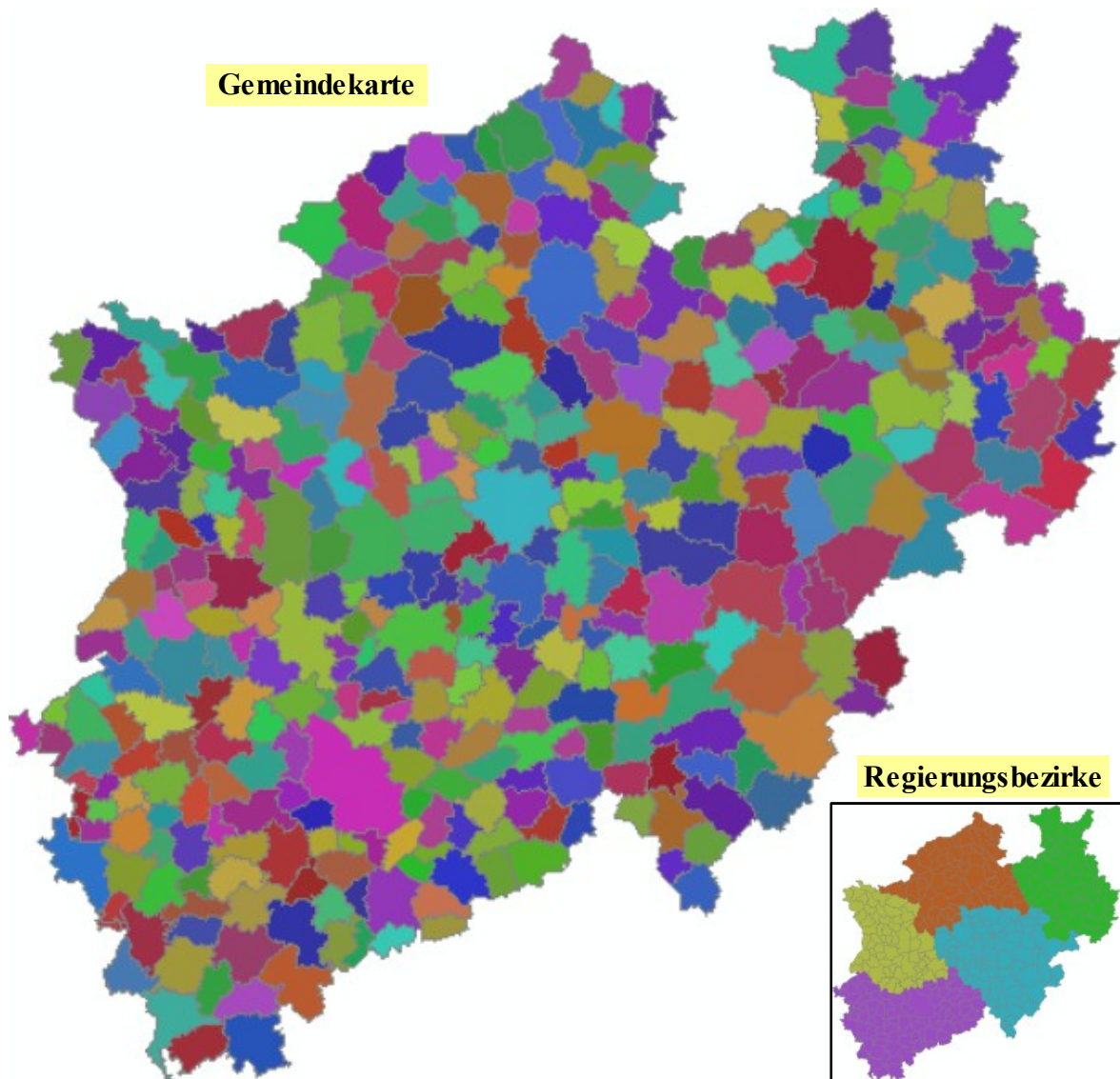


Abbildung 64: Gemeindekarte des Landes NRW sowie eine Übersicht über die Regierungsbezirke

Kernelement des Konzeptes zur Verbesserung dieser Arbeitsprozesse bei der Erstellung von marktscheiderischen Unterlagen ist ein Geodatenatz mit den Geometrien der 396 Ge-

meinden des Landes Nordrhein-Westfalen (Abbildung 64). Solche Daten können für das Geographische Informationssystem *ArcGIS* bei verschiedenen Anbietern von Geodaten wie beispielsweise bei Landesbehörden oder bei der Herstellerfirma *ESRI* kostengünstig oder kostenfrei bezogen werden. Der Datensatz des Instituts entstand im Rahmen der Lehre. Unter Anleitung konzeptionierten, erstellten und kontrollierten Studenten des Markscheidefachs diese Daten. Eine der Zielsetzungen war die Entwicklung eines Datenkonzeptes, das Datenredundanz ausschließt und eine Schnittstelle beinhaltet, um externe Daten an den Geodatenatz anknüpfen zu können. So wurden nicht drei separate Datensätze für die Regierungsbezirke, Kreise und kreisfreien Städte sowie Gemeinden erstellt, sondern nur ein Datensatz auf der Grundlage der Gemeindegrenzen. Über die sachbezogenen Informationen erfolgte eine Zuordnung der Gemeinden zu den entsprechenden Kreisen und Regierungsbezirken.

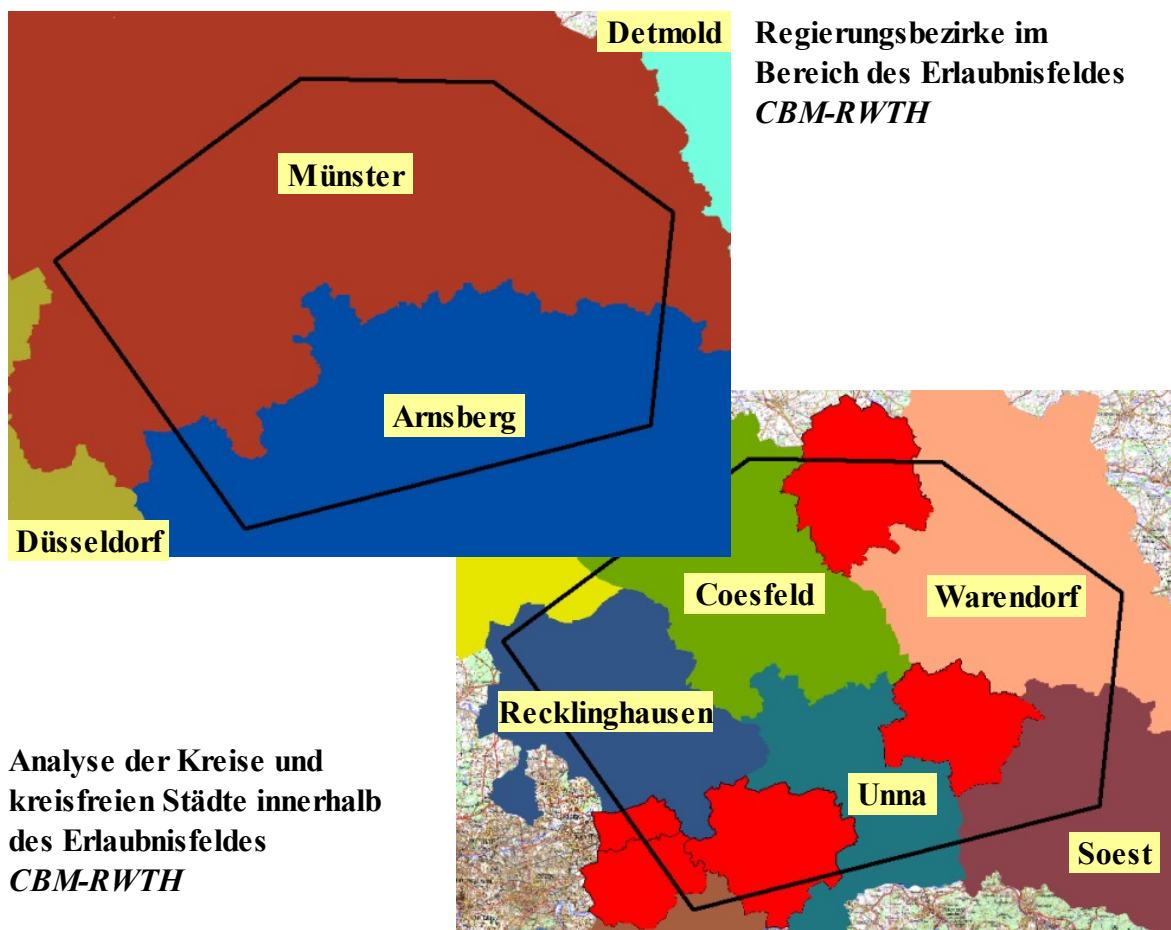


Abbildung 65: Regierungsbezirke und Kreise/kreisfreie Städte im Bereich des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH

Über die GIS-internen Funktionalitäten für Flächenverschneidungen und Analyse der dar-

Konzept für den wirtschaftlichen GIS-Einsatz

aus abgeleiteten Ergebnissen kann nun die Ermittlung von Regierungsbezirken, Kreisen, kreisfreien Städten und Gemeinden innerhalb eines Erlaubnis- oder Bewilligungsfeldes per Knopfdruck erfolgen. Abbildung 66 zeigt das Ergebnis der Flächenverschneidung des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH mit dem Geodatenatz der Gemeinden.

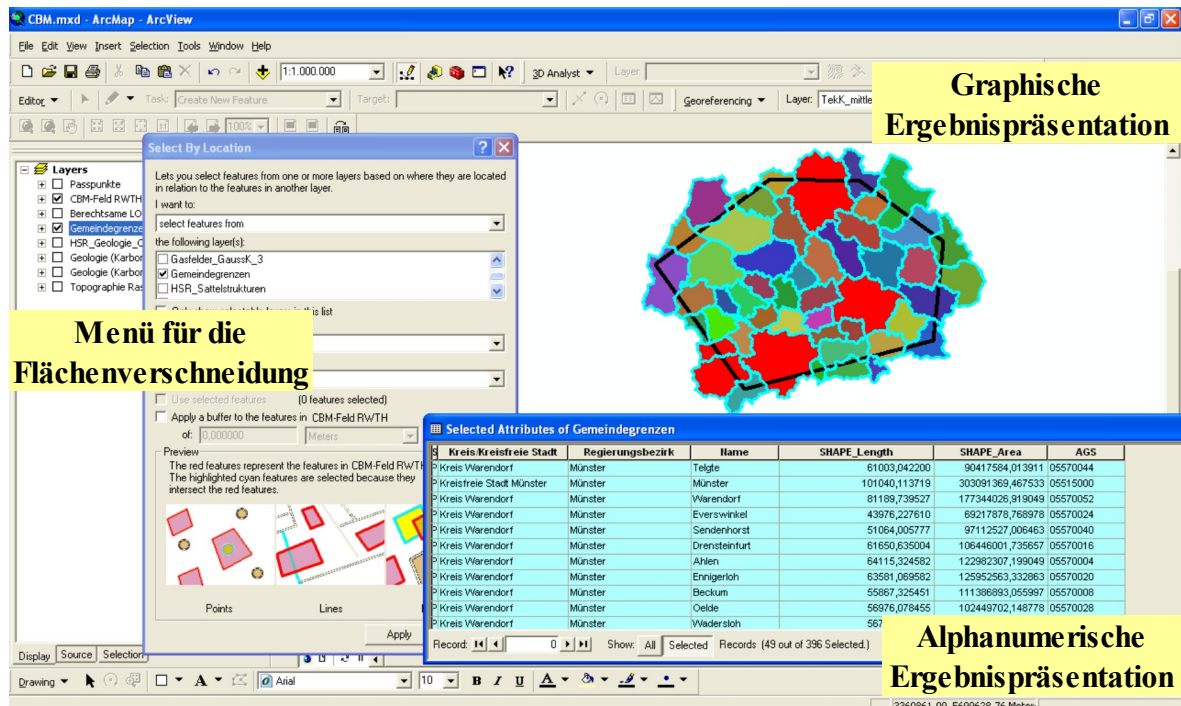


Abbildung 66: GIS-Analyse der vom Erlaubnisfeld CBM-RWTH betroffenen Gemeinden/kreisfreien Städte

Die alphanumerische Ergebnispräsentation in Form der Attributstabelle kann durch Exportfunktionen in die Programme *MS Excel* oder *MS Access* überführt werden. Durch die Programmierung von Subroutinen werden die exportierten Daten automatisch in verschiedene Formate umstrukturiert. Zum einen entsteht eine komplette Auflistung aller Gemeinden, sortiert nach Regierungsbezirken und Kreisen, für eine separate Anlage innerhalb der Antragsunterlagen. Da diese Auflistung im Falle des Erlaubnisfeldes *CBM-RWTH* zu groß für die Abbildung als Legende innerhalb der Karte ist, wird zum anderen eine verkürzte Version nur mit den Namen der Regierungsbezirke, Kreise und kreisfreien Städte erzeugt. Äquivalent zu dem zuvor beschriebenen Verfahren können auch die zuständigen Bergämter ermittelt werden. Der entsprechende Geodatenatz mit den Zuständigkeitsgrenzen der Bergämter des Landes Nordrhein-Westfalen kann über die Bezirksregierung Arnsberg bezogen werden. Die so entstandene Tabelle kann nun in das Geographische Informationssystem eingebunden und im Kartenlayout dargestellt oder in die Legende einer CAD-Soft-

ware kopiert werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: Automatisch erstellte Legende für die Karte des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH

Land	Nordrhein-Westfalen
Regierungsbezirk	Arnsberg
Kreise	Ennepe-Ruhr; Soest; Unna
Kreisfreie Städte	Bochum; Dortmund; Hamm; Herne
Regierungsbezirk	Münster
Kreise	Borken; Coesfeld; Recklinghausen; Warendorf
Kreisfreie Städte	Münster
Bergverwaltung	Bezirksregierung Arnsberg Abt. Bergbau und Energie in NRW Bergämter Kamen und Recklinghausen

Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise ist neben der Zeitersparnis durch die Automatisierung der Arbeitsprozesse und dem Wegfall der Kontrollzeiten, die Möglichkeit, die Grenzen der Felder den Kreis- oder Gemeindegrenzen anzupassen. So konnten durch den Einsatz des Geographischen Informationssystems die Feldesgrenzen durch kleine Veränderungen so optimiert werden, dass der Regierungsbezirk Düsseldorf nicht mehr in das Verfahren involviert ist.

Eine weitere Automatisierung erfolgte im Bereich der Flächenberechnung für die Antragsunterlagen. Durch den Export der Feldeseckpunkte nach *MS Excel* und deren Aufbereitung und Weiterverarbeitung durch Visual-Basic-Subroutinen werden das Koordinatenverzeichnis der Legende der Feldeskarte sowie die Tabelle für die Anlage mit der Flächenberechnungen automatisch erzeugt. Diese Tabellen können dann in die Antragsunterlagen eingebunden werden. Neben der Berechnung der Fläche mit Hilfe der Gauß'schen Flächenreduktion und den dafür notwendigen Teilschritten müssen die Nummern der Feldeseckpunkte angepasst werden. Feldeseckpunkte von Flächen in *ArcGIS* beginnen bei Null, die Aufzählung innerhalb der Antragsunterlagen mit Eins. Abbildung 67 (Seite 123) zeigt schematisch den Ablauf bei der automatischen Erstellung der Anlage für die Flächenberechnung des Erlaubnisfeldes *CBM-RWTH*.

Durch das Geographische Informationssystem können weitere Informationen, wie beispielsweise die Geologie des Karbongebirges oder die für dieses Projekt relevanten geolo-

Konzept für den wirtschaftlichen GIS-Einsatz

gischen Störungssysteme, dargestellt werden. Dadurch kann in der zukünftigen Projektarbeit ein effektives Hilfsmittel für die wissenschaftliche Arbeit entwickelt werden. Das Geographische Informationssystem dient zusätzlich auch als Werkzeug für die Dokumentation und Visualisierung der Projektergebnisse.

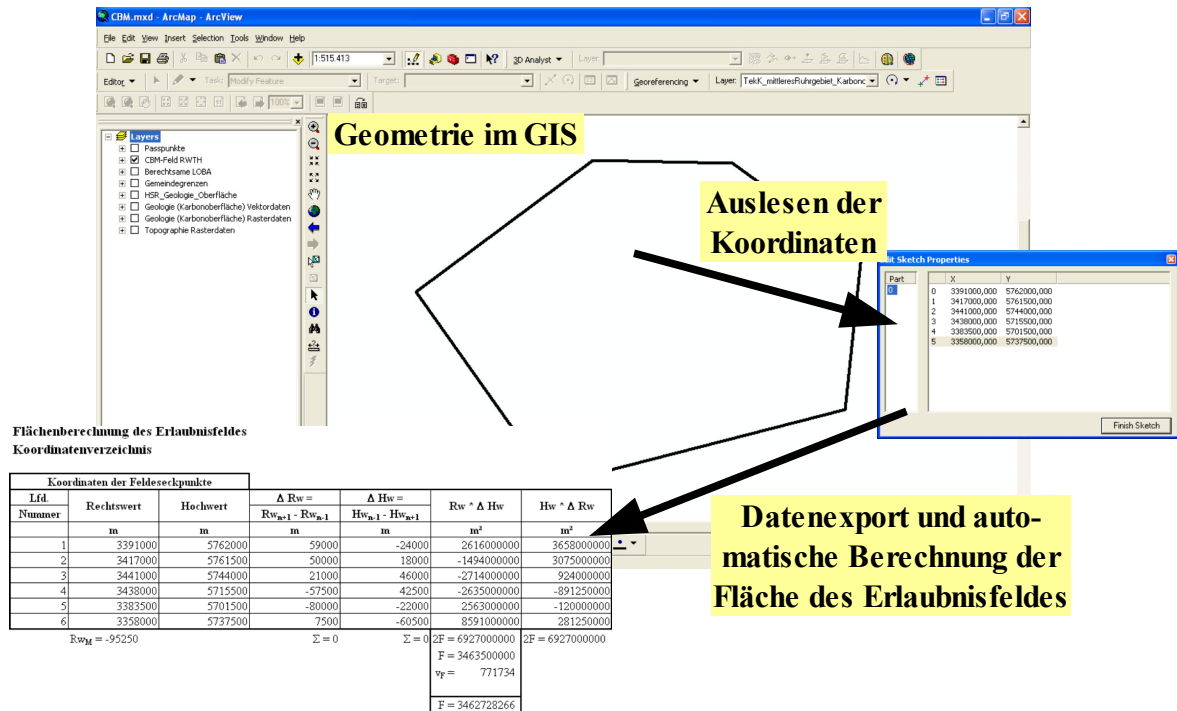


Abbildung 67: Automatische Flächenberechnung des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH

4.3 Geographische Informationssysteme in der Forschung

4.3.1 GIS-Einsatz im F & E-Vorhaben *HaldenTherm RWTH*

Eine interdisziplinär aufgestellte Projektgruppe aus Forschungseinrichtungen der *RWTH Aachen* und Unternehmen aus der freien Wirtschaft unter der Führung des *Instituts für Markscheidewesen* plant die Entwicklung eines Systems zur thermischen Nutzung von brennenden Halden des Steinkohlenbergbaus.

Ein Geographisches Informationssystem ist das zentrale Element für die Kommunikation innerhalb des Projektes *HaldenTherm RWTH*. Dieses System dient nicht nur dem Informationsaustausch zwischen den einzelnen Projektpartnern, sondern ist auch ein Werkzeug für die Generierung von neuem Wissen aus den vorliegenden Daten. Die Datengrundlage des Systems bilden zurzeit die Informationen des Haldeneigentümers und weitere Archive, die für verschiedene Anträge aufbereitet und analysiert wurden. Während der Projektarbeit sollen diese Daten durch folgende Informationen ergänzt werden:

- Geodätische Vermessungsdaten
- Messergebnisse aus der seismischen Untersuchung der Halde
- Messergebnisse der geoelektrischen Untersuchung der Halde
- Fotos und andere Dokumente

Jeder Projektpartner speichert seine Daten und Ergebnisse auf einem Geodatenserver und kann gleichzeitig die Ergebnisse der anderen Beteiligten abrufen. Zur Visualisierung der Ergebnisse ist allerdings kein Geographisches Informationssystem notwendig, da neben dem Geodatenserver ein Applikationsserver installiert wird, der auf Basis von Java und HTML interaktive Kartenwerke im Internet zur Verfügung stellt. Durch die umfassende Datengrundlage entsteht so aus dem Geographischen Informationssystem ein Managementinformationssystem zur Detailplanung und Führung des Forschungsprojektes.

Das Geographische Informationssystem dient weiterhin als Werkzeug für die Erstellung von Karten und Anlagen im Rahmen behördlicher Genehmigungsverfahren. Neben speziellen Karten für die Abbildung der Wärmeanomalien und der Ausgasungswerte auf der Halde können auch Simulationen für die Lärmemissionen von Bohranlagen auf der Halde durchgeführt werden.

Die Daten des Geographischen Informationssystems dienen auch als Grundlage für eine dreidimensionale Simulation des Schwelbrandes.

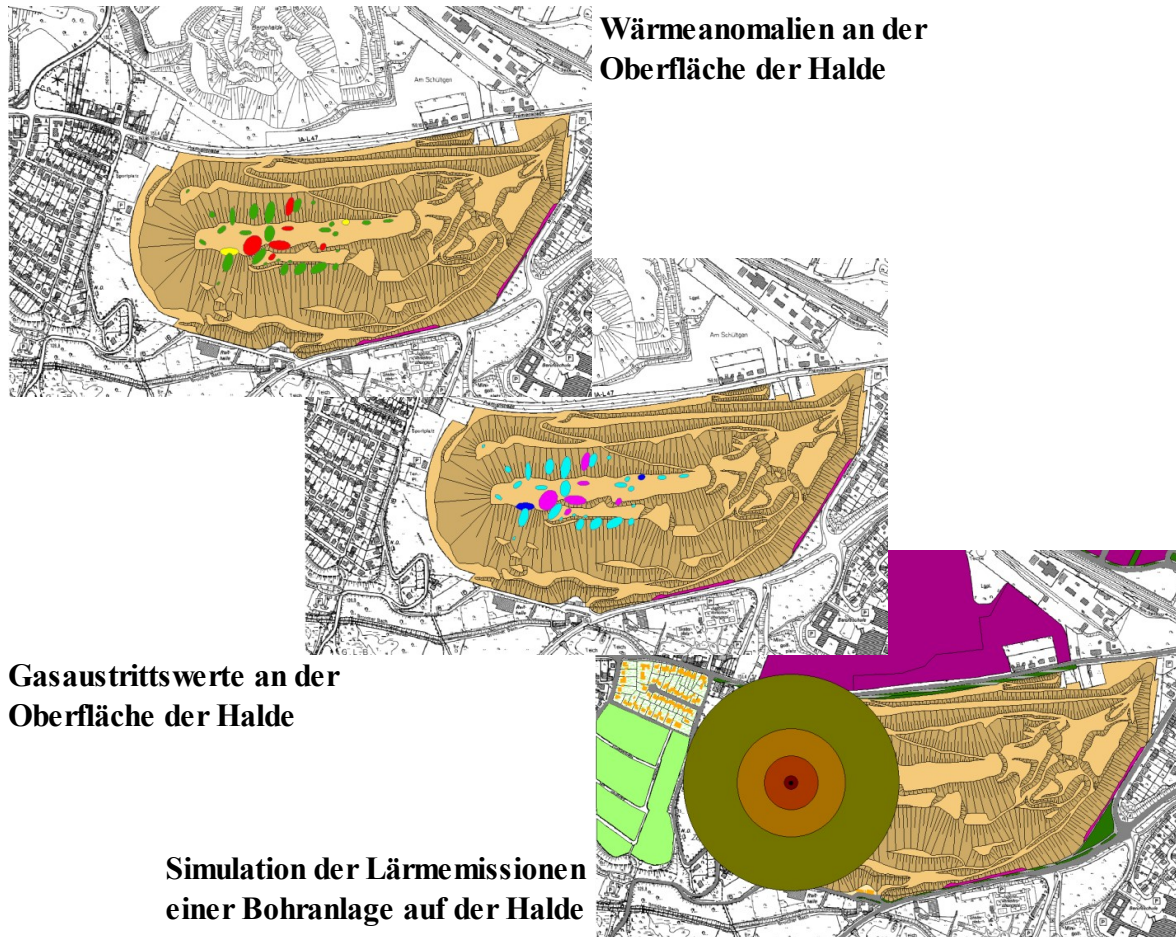


Abbildung 68: Screenshots aus dem Geographischen Informationssystem für das F & E-Vorhaben HaldenTherm RWTH

4.3.2 GIS-Erweiterung für dreidimensionale Analysen

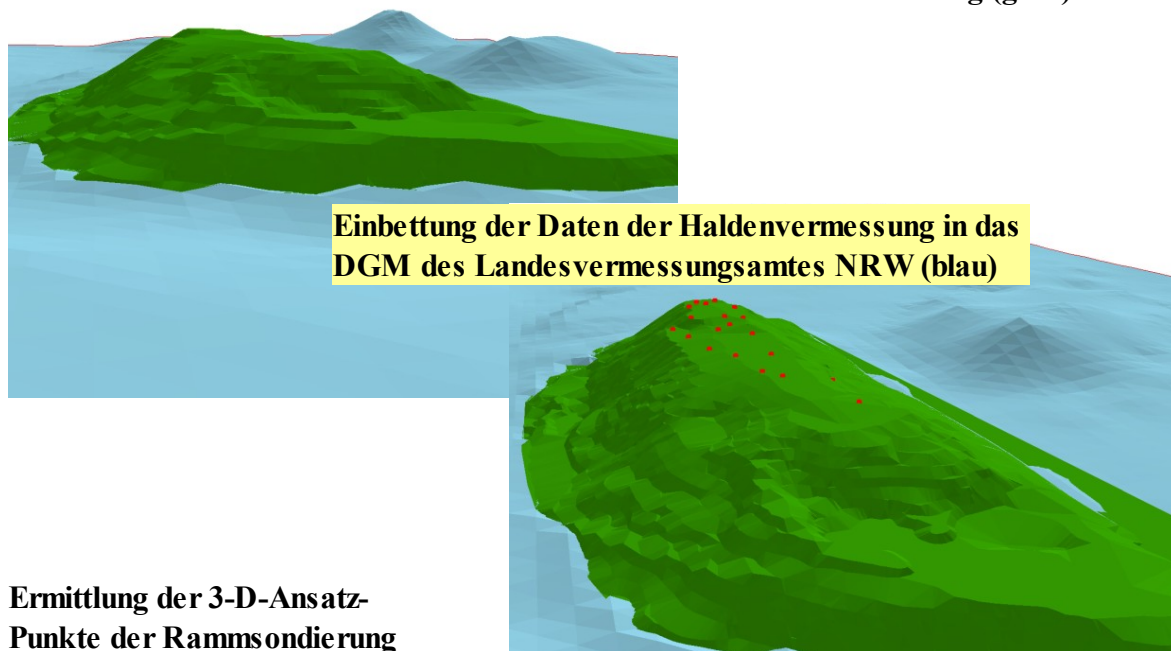
Für die Dokumentation und Simulation der Halde sowie des Haldenschwelbrandes reichen die 3-D-Flächenanalysewerkzeuge des Geographischen Informationssystems nicht aus. Als Grundlage hierfür werden 3-D-Volumendaten benötigt.

Am Beispiel der Rekonstruktion der obersten Schichten der Halde aus den analogen Daten einer Rammsondierung des Haldeneigentümers wird nachfolgend diese Arbeit mittels eines Geographischen Informationssystems und der Bergbauplanungssoftware *Surpac Vision* erläutert.

Nachdem das analoge Kartenmaterial des Haldeneigentümers mit den Ansatzpunkten von

20 Rammsondierungen auf der Halde eingescannt, georeferenziert und in das Geographische Informationssystem eingebunden war, wurden durch das Verschneiden eines 3-D-Flächenmodells der Halde die zu den Ansatzpunkten gehörenden Höhenwerte ermittelt (Abbildung 69). Danach wurden Ergebnisse der Rammsondierungen mit Materialkennzahlen und den dazugehörigen Teufenangaben in die Attributstabelle übernommen.

3-D-Fächenmodell aus Daten der Haldenvermessung (grün)



Ermittlung der 3-D-Ansatzpunkte der Rammsondierung

Abbildung 69: 3-D-Flächenmodell der Halde

Schnittstellenprogrammierungen zu der Bergbauplanungssoftware *Surpac Vision* ermöglichen über eine gemeinsame Datenbankanbindung eine dreidimensionale Simulation des inneren Aufbaus der Halde in einem Blockmodell. Hierzu werden mit Hilfe einer Programmierung in *Visual Basic for Application* die Datenbanktabellen des Geographischen Informationssystems zunächst kopiert und danach so verändert, dass die Bergbauplanungssoftware mit ihrer Schnittstelle für geologische Datenbanken auf diese Daten zurückgreifen kann. Die nun von *Surpac Vision* lesbaren Daten dienen als Grundlage für die Modellierung eines Blockmodells zur Simulation des inneren Aufbaus der Halde.

Durch weitere Datenbank-Programmierungen können auch Daten, die in der Bergbauplanungssoftware generiert worden sind, im Geographischen Informationssystem verwendet werden.

So können die Ergebnisse der Modellierung des inneren Haldenaufbaus und der geplanten Simulation der zukünftigen Entwicklung des Haldenschwelbrandes visualisiert und somit als Grundlage für die technische Umsetzung der Projektziele verwendet werden.

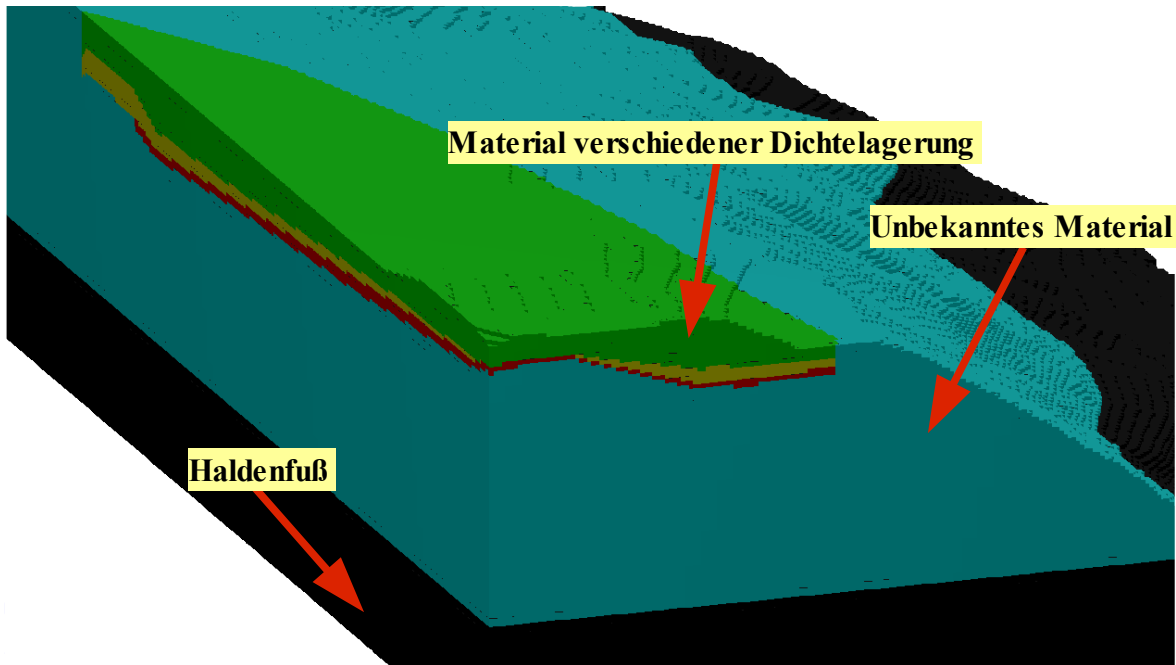


Abbildung 70: 3-D-Schnitt des Blockmodells der Halde

4.4 GIS-Ankopplung an das Bergschaden-Expertensystem *SAB*

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg wurde am *Institut für Markscheidewesen* auf der Grundlage von *MS Excel* und *Visual Basic for Application* ein Expertensystem für die Ermittlung von Beeinträchtigungen der Oberflächenstruktur in Folge tages- und oberflächennahen Abbaus entwickelt.

Nach Eingabe der Geometrie des Abbaus errechnet das Programm die Senkungs- und Zerungs- sowie Pressungspotenziale an der Tagesoberfläche und stellt diese in Diagrammen dar. Durch einfache Ankopplung dieser Tabellenkalkulation an ein Geographisches Informationssystem können diese durch das Expertensystem berechneten Grenzen für die Beeinflussungen der Tagesoberfläche visualisiert und mit topographischen Karten wie beispielsweise der *Deutschen Grundkarte 1:5 000 (DGK 5)* hinterlegt werden (Abbildung 71).

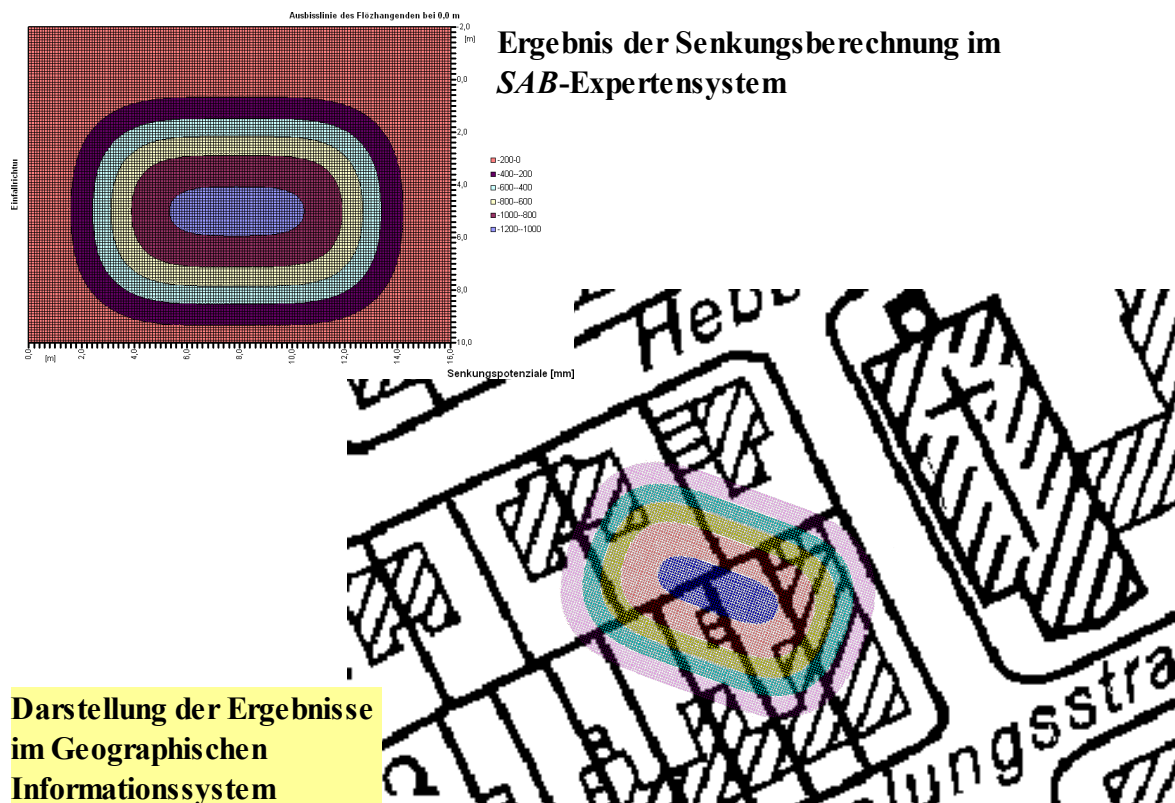


Abbildung 71: Ankopplung eines Geographischen Informationssystems an das *SAB*-Expertensystem

Dies könnte über Passpunktkoordinaten und die Transformationsformel, welche die Umwandlung des lokalen Systems der *SAB*-Darstellung in Gauß-Krüger-Koordinaten beschreibt, geschehen. Hierdurch können betroffene Gebäude sowie sonstige Einheiten der privaten und öffentlichen Infrastruktur sofort identifiziert werden.

GIS-Ankopplung an das Bergschaden-Expertensystem SAB

Eine Vereinfachung dieser aufwendigen Vorgehensweise kann durch die Einbettung der mathematischen Formel zur Berechnung der Oberflächeneinwirkungen in das Geographische Informationssystem erfolgen. Dadurch werden durch Zusammenfassen der notwendigen Prozessschritte mögliche Fehlerquellen minimiert. Es wird so eine benutzerfreundliche Benutzeroberfläche zur Ausführung aller erforderlichen Operationen wie auch zur Darstellung der Ergebnisse geschaffen.

5 Zusammenfassung

Die historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme kann in fünf Phasen unterteilt werden. Im Jahre 1963 wurde in Kanada das erste großräumige, rechnergestützte „raumbezogene Informationssystem“ eingerichtet und prägte durch seinen Namen *CGIS* derartige Anwendungen. Von diesen Anfängen entwickelten sich Geographische Informationssysteme über den Einsatz innerhalb staatlicher Einrichtungen und der Großindustrie zur Standardsoftware für Wirtschaft und Forschung. Die Übergänge der einzelnen Phasen waren fließend. Meilensteine waren die Entwicklung der *Personal Computer* sowie die einfach zu bedienenden graphischen Benutzeroberflächen. In den letzten Jahren übernahmen das *Internet* und *Open Source Programme* beziehungsweise *Freie Software (Freeware)* den Motor für weitere Innovationen. Der Geoinformationssektor gilt als einer der Märkte der Zukunft. In einem Zeitraum von fünf Jahren (zwischen 2003 und 2008) können nach einer Studie der Unternehmensberatung *MICUS Management Consulting GmbH* bis zu 13 000 Arbeitsplätze entstehen. Diese Studie misst dem wirtschaftlichen Nutzen von Geoinformationen ein hohes ökonomisches Potential zu.

Die Kartographie hat im Laufe der Zeit Methoden entwickelt, um den Arbeitsaufwand bei der Fortführung von Kartenwerken zu minimieren. So wurde schon Anfang des letzten Jahrhunderts das Prinzip der separat übereinander zu legenden Kartenschichten, das so genannte Folienprinzip, entwickelt. Die Beispiele eines fiktiven Tagebaus in der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die meisten Objekte informations-, aber nicht darstellungsgleich sind. Kritische Punkte sind die verschiedenen Darstellungsformen des gleichen Geobjektes innerhalb diverser betrieblicher Kartenwerke sowie die Änderung der Darstellung bei verschiedenen Maßstäben, zum Beispiel bei der Generalisierung von Geobjekten. Aus diesem Grund stößt die klassische Kartographie an ihre Grenzen, vor allem wenn der betriebswirtschaftliche Nutzen als Grundlage für die Bewertung von Arbeitsprozessen ange setzt wird.

Das Konzept und der Einsatz eines Geographischen Informationssystems dürfen somit nicht auf den Ansätzen der klassischen Kartographie basieren, sondern müssen sich von diesen lösen und den aktuellen Stand der Technologie für Informationssysteme wie die Regeln der Normalisierung und der objektorientierten Programmierung widerspiegeln.

Grundlage jedes Geographischen Informationssystems sind Geodaten. Sie bilden den Ausgangspunkt für die Lösung räumlicher Fragestellungen. Die Geodateninfrastruktur (GDI; englisch: Spatial Data Infrastructure, SDI) stellt dem Anwender diese Daten zur Verfügung. Die kleinste Organisationseinheit einer Geodateninfrastruktur sind Geodaten, die auf einem lokalen Speichermedium liegen und ohne Verwaltung von Zugriffsrechten direkt über ein Geographisches Informationssystem angesprochen werden. Große Geodateninfrastrukturen von Regierungseinrichtungen und kommerziellen Anbietern von Geodaten basieren auf moderner Servertechnologie. Strukturen mit einem oder mehreren Applikationsserver(n), Proxyserver(n) und Webserver(n) sind Stand der Technik. Zusätzlich beinhalten diese Systeme auch Serverdienste zur Abrechnung von Benutzerentgelten.

Mit dem Begriff GIS-Architektur werden der Aufbau und die Verknüpfung von Betriebssystem, Anwendersoftware und der Geodateninfrastruktur beschrieben. Somit ist die Geodateninfrastruktur Teil der GIS-Architektur. Grundsätzlich können moderne GIS-Architekturen unabhängig von der eingesetzten Software in zwei Gruppen unterteilt werden. Zur ersten Gruppe gehören die so genannten Desktop-GIS mit lokal gespeicherten Geodaten. Hierbei handelt es sich um Einzelplatzlösungen. Die gewachsene Komplexität der Geographischen Informationssysteme spiegelt sich in den modernen GIS-Architekturen wider. Es handelt sich dabei um Mehrbenutzerlösungen. Die Anforderungen, die zur Lösung von räumlichen Fragestellungen nötig sind, sind in der Vergangenheit stetig gestiegen und werden heute zumeist von mehreren Spezialisten in einer interdisziplinären Gruppe zusammen bearbeitet. Die Mitglieder solcher Gruppen (GIS-Anwender, *Fat Client*, *Thin Client*) greifen alle auf einen zentral abgelegten Geodatenbestand auf einem Server zurück. Auf diesem werden auch sämtliche Ergebnisse sowie Zwischenergebnisse abgelegt. Über Gruppenrichtlinien sind das Daten- und Metadatenkonzept sowie die Verantwortlichkeiten für das Vorhalten aktueller Daten festgelegt.

In der heutigen Informations- und Kommunikationsgesellschaft gehört akkumuliertes Fachwissen mehr noch als in der Vergangenheit neben Arbeit, Boden und Kapital als vierte Ressource zu den betriebswirtschaftlich bedeutenden Produktionsfaktoren. Wirtschaftlicher Erfolg ist nur durch dauerhafte Speicherung von bekannten und durch Gewinnung von neuem Wissen zu sichern. Dieses Wissen liegt in vielen Bereichen in zwei voneinander unabhängigen und sehr unterschiedlichen Formen vor. Zum einen existiert Know-how als

gespeicherte Daten und Dokumentationen zum Beispiel in Form von Abschlussberichten oder Detailbeschreibungen von Berechnungen und Analysen. Dieses gespeicherte Wissen ist das explizite Wissen. Dagegen kann im ungünstigsten Fall ein Großteil des betrieblichen Know-how im so genannten implizierten Wissen verankert sein. Dieses Wissen basiert auf dem individuellen Erfahrungsschatz einzelner Mitarbeiter. Die Grundlage für den Schutz von Investitionen und für einen reibungslosen Betrieb ist das Vorhandensein einer umfassenden Dokumentation und Katalogisierung sowie von ausführlichen Kontextinformationen über explizites und implizites Wissens. Das Instrument hierfür sind Metadaten; ihre Struktur wird durch die Umsetzung eines Metadatenkonzeptes festgelegt und als Metadateninformationssystem bezeichnet.

Die Entwicklung der Definition von Metadaten von der Beschreibung einzelner Datensätze bis hin zur Dokumentation ganzer Geoinfrastrukturen spiegelt sich auch in den nationalen und internationalen Normen wider. Eine gute Grundlage für die Beschreibung von Datensätzen mit Geodaten liefert die *ISO 19115:2003* oder der *FGDC-STD-001-1989*. Trotzdem besteht die Notwendigkeit der Modifikation dieser althergebrachten Standards für Metadaten mittels Verwendung von Schlüsselworten. Dieser selten umgesetzte Teil eines Metadatenkonzeptes ist jedoch eine Grundvoraussetzung für die Einbindung von Geodaten und ganzen Kartenwerken in große Geodateninfrastrukturen. Nur durch die Abfrage von Schlüsselworten können Dritte, die nicht in die Entstehung der Daten involviert waren, auf diese zugreifen.

Aus betriebswirtschaftlicher Sichtweise steht den erhöhten Kosten für die Erstellung und Pflege eines Metadateninformationssystems ein erhebliches Einsparpotential gegenüber. Geodaten werden über die dazugehörigen Metadaten schneller identifiziert. Dadurch werden große zeitliche Einsparpotential erschlossen. Bei der Projektierung von neuen GIS-Projekten verhindern umfassende Metadaten der vorhandenen Geodateninfrastruktur schon in der Planungsphase zusätzliche Kosten durch die Optimierung des Einsatzes der betriebseigenen Daten. Ein durch das parallel zur Erfassung der Geodaten auf den aktuellen Stand der Arbeiten gehaltenes Metadateninformationssystem ist ein wirksames Instrument für das Controlling und die Grundlage für die Koordination der Arbeitsgruppe.

Heute werden allerdings zunehmend kritische Fragen über den betrieblichen Nutzen eines

Geographischen Informationssystemen und die ruinösen Kosten, die bei falscher Planung und Durchführung eines GIS-Projektes entstehen, gestellt. Bei vielen GIS-Projekten wird die Ersterfassung der Geodaten nicht abgeschlossen und bei der Behebung von Fehlern, die auf die Planungsphase zurückzuführen sind, viel zusätzliches Personal gebunden. Der bloße Einsatz eines Geographischen Informationssystemes bringt an sich noch keinen beziehungsweise einen minimalen wirtschaftlichen Effekt für ein Unternehmen.

Nur wenn ein Geographisches Informationssystem auf der Basis von Analysen der GIS-Technologie und unternehmerischen, organisatorischen und personellen Aspekten optimal auf das Einsatzgebiet innerhalb des Betriebes abgestimmt ist, können dessen erhebliche Rationalisierungseffekte ausgeschöpft werden. Die sehr hohen Kosten für die Einführung eines Geographischen Informationssystemes erfordern eine in der Praxis oft nur unzureichend durchgeführte Planung. Da ein „ideales“ Geographisches Informationssystem nicht existiert, muss oft aus einer Vielzahl von Produkten das für die bestimmte betriebliche Anwendung optimale System herausgefiltert werden. Die Systemlösung muss ihrerseits viele Optimierungsmöglichkeiten vorhalten. Zudem müssen bei der Analyse der betrieblichen Randparameter ebenfalls Optimierungsmöglichkeiten geschaffen werden. Es müssen somit alle Effekte ausgeschöpft werden, um einen Nutzeffekt zu bekommen, der die hohen Investitionen bei der Einführung eines Geographischen Informationssystemes inklusive der notwendigen Daten in einem vertretbaren Zeitraum amortisiert.

Die vorliegende Arbeit beschreibt an einigen ausgewählten Beispielen den Einsatz von Geographischen Informationssystemen im Bergbau. Dazu wurden für einen repräsentativen Überblick die Unternehmen *RWE Power AG*, *Quarzwirke GmbH*, *Minegas GmbH*, *Deutsche Steinkohle AG* und *E.ON Ruhrgas AG* besucht und anhand ausgesuchter betrieblicher Anwendungen der Einsatz von Geographischen Informationssystemen analysiert. Ergänzt wird diese Untersuchung durch die Darstellung des GIS-Einsatzes bei der *Bezirksregierung Arnsberg* sowie Institutionen der Wissenschaft und Forschung wie dem *Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme* und dem *Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrologie an der RWTH Aachen*.

Eine detaillierte Beschreibung aller eingesetzten Programme sowie deren technische Analyse kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht geleistet werden. Es existieren

allein im Bereich der einzelnen Braunkohlentagebaue der *RWE Power AG* über sieben verschiedene Geographische Informationssysteme, die durch zentral bereitgestellte Anwendungen aus dem firmeneigenen Intranet ergänzt werden.

Der Einsatz von Geographischen Informationssystemen am *Institut für Markscheidewesen* wurde in der vorliegenden Arbeit an ausgesuchten Beispielen vorgestellt. Darüber hinaus wurden theoretische Überlegungen und Konzepte für Verbesserungen und Weiterentwicklungen sowie für den zukünftigen Einsatz von Geographischen Informationssystemen entwickelt.

So wurde der Einsatz eines Geographischen Informationssystems bei der Erstellung der Unterlagen für einen Antrag auf die Vergabe eines wissenschaftlichen Erlaubnisfeldes nach § 7 des Bundesberggesetzes für die Aufsuchung von Flözgas beschrieben und das Rationalisierungspotential eines solchen Einsatzes inklusive der Verwendung in der Lehre dargestellt. Ein Geographisches Informationssystem und die dazugehörige GIS-Architektur sind die Kernelemente innerhalb des F & E-Vorhabens *Haldentherm RWTH*. Die Entwicklung eines Systems zur thermischen Nutzung von Schwelbränden innerhalb von Halden des Steinkohlenbergbaus ist Ziel einer interdisziplinär aufgestellten Forschungsgemeinschaft. Die GIS-Technologie dient hierbei nicht nur als Basis für die Kommunikation zwischen den einzelnen Projektpartnern, sondern ist auch Grundlage für eine dreidimensionale Simulation des Haldenschwelbrandes und für die Erschließung neuen Wissens. Hierzu wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Konzept für die Ankopplung der Software *ArcGIS* an die Bergbauplanungssoftware *Surpac Vision* über die Schnittstelle *Geological Database* erarbeitet. Das am Institut für Markscheidewesen im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg entwickelte Bergschaden-Expertensystem *SAB* für die Berechnung der Senkungs- und Zerrungs- sowie Pressungspotenziale in Folge tages- und oberflächennahen Abbaus wurde durch die Ankopplung an ein Geographisches Informationssystem erweitert.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass ein Geographisches Informationssystem, richtig eingesetzt und in die Arbeitsorganisation integriert, nicht nur betriebswirtschaftliche Potentiale erschließen kann, sondern selbst Kernelement für Optimierungsprozesse von Arbeitsabläufen in Wirtschaft und Forschung sein kann.

6 Quellenverzeichnis

[ABELSON/SUSSMAN 01 (a)]

Abelson, Harold ; Sussman, Gerald Jay: Struktur und Interpretation von Computerprogrammen: eine Informatik-Einführung. 4. Auflage. Berlin: Verlag Springer, 2001

[AVERDUNG 00 (a)]

Averdung, Christoph: GIS im Kontext der Steuerung von Geschäftsprozessen: Heft 27 der Schriftenreihe des Instituts für Kartographie und Topologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn. 1. Auflage. Bonn: Institut für Kartographie und Topologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, 2000

[BBergG]

Bundesberggesetz (BBergG) vom 13.08.1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Artikel 123 der Achten Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 25.11.2003 (BGBl. I S. 2304/2318)

[BILL 99 (a)]

Bill, Ralf: Grundlagen der Geo-Informationssysteme: Hardware, Software und Daten. 1. Auflage. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 1999

[BRAND/KAISER/SCHNITZHOFER/STRAUß 05 (a)]

Dr. Brand, Klaus ; Kaiser, Peter ; Schnitzhofer, Stefan ; Strauß, Albert: ArcGIS 9: das Buch für den Einsteiger. 1. Auflage. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 2005

[BRINKHOFF 05 (a)]

Dr. Brinkhoff, Thomas: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis: Einführung in objektrelationale Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial. 1. Auflage. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 2005

[BRÜGGE/DUTOIT]

Brügge, Bernd ; Dutoit, Allen H.: Object-oriented software engineering: using UML, patterns and Java. 2. Auflage. Upper Saddle River, NJ, USA: Verlag Pearson Prentice Hall, 2004

[CHRISTL 06 (a)]

Christl, Arnulf: Es lebe der König. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2006, Nr. 1/2, S. 24-28

[DÖLLNER 06 (a)]

Dr. Döllner, Jürgen: München: 3D-Modell zum Anfassen. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2006, Nr. 3, S. 8-11

[DÖLLNER/KOLBE 05 (a)]

Dr. Döllner, Jürgen ; Dr. Kolbe, Thomas H.: Berlin: Stadt in 3D. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2005, Nr. 12, S. 20-22

[DÖRFFEL/WIEDMER 04 (a)]

Dörffel, Günter ; Wiedmer, Angelique: Was ist ArcGIS: Version 8.3. aus dem Englischen. Ringstraße 7, 85402 Kranzberg: ESRI Geoinformatik GmbH, 2004

[DÜSTER 03 (a)]

Düster, Horst: OpenSource GIS - das alternative geoGovernment? In: geoGovernment: Öffentliche Geoinformations-Dienste zwischen Kommunen und Europa, 2003, Strobl/Griesebner (Hrsg.), S.17-23

[ELMASRI/NAVATHE 02 (a)]

Elmasri, Ramez ; Navathe, Sham: Fundamentals of database systems: überarb. 3. Auflage. München: Verlag Pearson Studium, 2002

[FORNEFELD/OEFINGER/RAUSCH 03 (a)]

Dr. Fornefeld, Martin ; Oefinger, Peter ; Dr. Rausch, Ulrike: Der Markt für Geoinformationen: Potenziale für Beschäftigte, Innovation und Wertschöpfung. Im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. MICUS Management Consulting GmbH: Düsseldorf, 2003

[FRITSCH 06 (a)]

Dr. Fritsch, Dieter: GIS setzt auf Rasterdaten. In: GeoBIT/GIS, 2006, Nr. 7, S. 4-5

[FUCHS 05 (a)]

Fuchs, Stefan: Historische Senkungen im Ruhrgebiet: Abschlussbericht Phase I: Machbarkeitsstudie und Konzeptentwicklung. Im Auftrag der Deutschen Steinkohlen AG. Wüllnerstraße 2, 52062 Aachen: Aachen, 2005

[GUDER/WEBER/HOLZHEIM/SCHULTE 04 (a)]

Guder, Werner ; Weber, Peter ; Holzheim, Markus ; Dr. Schulte, Ralf: Konzept zur Nutzung automatisch generierter SABAS-Gerätepositionsdaten im Rahmen des Gewinnungsrissses (Betriebsrissses) am Beispiel des Tagebaus Hambach. In: Markscheidewesen, 2004, Nr. 2, S. 53-61

[HENNIG 04 (a)]

Dr. Hennig, Sabine: Metadaten für Karten: Notwendigkeit, Umsetzung und Verwendung am Beispiel der interaktiven Bildschirmkarte "MaaT". In: GeoBIT/GIS, 2004, Nr. 6, S. 8-15

[HOMOET/SCHMITTWILKEN/PLÜMER 05 (a)]

Homoet, Michael ; Schmittwilken, Jörk ; Dr. Plümer, Lutz: Kostenlos kombinieren und kommentieren. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2005, Nr. 3, S. 18-20

[HOPPE 06 (a)]

Hoppe, Till: Am offenen Herzen. In: WirtschaftsWoche, 2006, Nr. 33, S. 78-81

[ISO 19107:2003]

International Organisation for Standardization: International Standard ISO 19107:2003 - Geographic Information - Spatial Schema, 2003

[ISO 19108:2002]

International Organisation for Standardization: International Standard ISO 19108:2002 - Geographic Information - Temporal Schema, 2002

[ISO 19115:2003]

International Organisation for Standardization: International Standard ISO 19115:2003 - Geographic Information - Metadata, 2003

[ISO 19125-1]

International Organisation for Standardization: International Standard ISO 19125-1 - Geographic Information - Simple Feature Access - Part 1: Common Architecture, 2004

[ISO 19125-2]

International Organisation for Standardization: International Standard ISO 19125-2 - Geographic Information - Simple Feature Access - Part 2: Common Architecture, 2004

[ISO 19136]

International Organisation for Standardization: Candidate Draft ISO 19136 - Geographic Information - Geographic Markup Language, 2004

[ISO/IEC 13249-3-200x]

International Organisation for Standardization, International Electrotechnical Commission: International Standard ISO/IEC 13249-3-200x - Information technology - Database languages - SQL Multimedia and Application Packages- Part 3: Spatial, 3rd Edition, 2004

[ISO/IEC 13249-3:2003]

International Organisation for Standardization, International Electrotechnical Commission: International Standard ISO/IEC 13249-3:2003 - Information technology - Database languages - SQL Multimedia and Application Packages- Part 3: Spatial, 2nd Edition, 2003

[KAZAKOS 05 (a)]

Dr. Kazakos, Wassilios: Mit Metadaten Kosten sparen. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2005, Nr. 10, S. 20-21

[KEMPER/EICKLER 04 (a)]

Kemper, Alfons ; Eickler, André: Datenbanksysteme: eine Einführung. 5 aktualisierte und erw. Auflage. München: Verlag Oldenbourg, 2004

[KLEMMER 04 (a)]

Klemmer, Wilfried: GIS-Projekte erfolgreich durchführen: Grundlagen Erfahrungen Praxishilfen. . Karlsruhe: Bernhard Harzer Verlag GmbH, 2004

[KLEMMER 05 (b)]

Klemmer, Wilfried: Die Denkrevolution. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2005, Nr. 3, S. 11-13

[LIEBIG/MUMMENTHEY 05 (a)]

Liebig, Wolfgang ; Mumenthey, Ralf-Dieter: ArcGIS-ArcView9: ArcGIS-Grundlagen. 1. Auflage. Halmstad: Points Verlag Norden - Halmstad, 2005

[LIEBIG/MUMMENTHEY 05 (b)]

Liebig, Wolfgang ; Mumenthey, Ralf-Dieter: ArcGIS-ArcView9: ArcGIS-Analysen. 1. Auflage. Halmstad: Points Verlag Norden - Halmstad, 2005

[MarkschBergV]

Verordnung über markscheiderische Arbeiten und Beobachtungen der Oberfläche (Markscheider-Bergverordnung) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2631), zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.08.1998 (BGBl. I S. 2093)

[REICHLING/FEINHALS 05 (a)]

Dr. Reichling, Jörg ; Feinhals, Jürgen: Mit Geodaten die Wirtschaft stärken. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2005, Nr. 1/2, S. 10-11

[RIEKS/SCHALKUCHE 05 (a)]

Rieks, Hans-Joachim ; Schmalkuche, Katja: Unterstützung von Geschäftsprozessen im Bayer Chemiepark durch Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS). In: GeoBIT/GIS, 2005, Nr. 8, S. 11-16

[RUHRGAS FORUM 10/2004]

Ruhrgas Forum 10/2004: Berichte aus Forschung, Entwicklung und Technik; E.ON Ruhrgas AG

[SOUTSCHEK 06 (a)]

Soutschek, Martin: Google Earth: Neuer Platzhirsch im Geo-Revier. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2006, Nr. 1/2, S. 8-15

[STRAUB/DONAUBAUER/MENAR 2004 (a)]

Straub, Florian ; Dr. Donaubaueer, Andreas ; Löwis of Menar, Olaf von: Webbasierte Verschneidung verteilter Geodaten für die forstliche Standortserkundung. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2004, Nr. 11, S. 30-31

[SYSTEMPLANUNG VERSORGUNGSNETZE]

Systemplanung Versorgungsnetze - Dienstleistungen für Rohrnetzplanung und -berechnung
E.ON Ruhrgas AG

[TOGT/BEINAT 05 (a)]

Togt, Remko van der; Beinat, Euro: Geoinformationen im Gesundheitswesen. In: GeoBIT Geoinformationstechnologie für die Praxis, 2005, Nr. 9, S. 32-35

[UnterlagenBergV]

Bergverordnung über vermessungstechnische und sicherheitliche Unterlagen (Unterlagen-Bergverordnung) vom 11. November 1982 (BGBl. I S. 1553), geändert durch Verordnung vom 10.08.1998 (BGBl. I S. 2093) und vom 10.08.2005 (BGBl. I S.2452)

[WALTER/KADA/CHEN 06 (a)]

Dr. Walter, Volker ; Kada, Martin ; Chen, Hainan: Shortest Path Analyses In Raster Maps For Pedestrian Navigation In Location Based Systems. In: GeoBIT/GIS, 2006, Nr. 7, S. 8-11

[www.adv-online.de]

Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland; Zugriffsdatum: 01.09.2006

[www.aed-sicad.de]

Herausgeber: AED SICAD Aktiengesellschaft; Zugriffsdatum: 05.10.2006

[www.ais.fraunhofer.de]

Herausgeber: Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme; Zugriffsdatum: 11.10.2006

Quellenverzeichnis

[www.bezreg-arnsberg.nrw.de]

Herausgeber: Bezirksregierung Arnsberg, Land Nordrhein-Westfalen; Zugriffsdatum:
26.09.2006

[www.ca.com/de/]

Herausgeber: CA Computer Association GmbH; Zugriffsdatum: 05.10.2006

[www.commongis.de]

Herausgeber: Fraunhofer Institut Autonome Intelligente Systeme, Internetseite für
CommonGIS; Zugriffsdatum: 05.09.2006

[www.contentmanager.de/magazin/artikel_355]

Herausgeber: Mayr, Philipp/HisSolutions AG; Zugriffsdatum: 08.08.2006

[www.deutsche-steinkohle.de]

Herausgeber: Deutsche Steinkohle AG; Zugriffsdatum: 25.09.2006

[www.eon-ruhrgas.com]

Herausgeber: E.ON Ruhrgas AG; Zugriffsdatum: 05.09.2006

[www.esri-germany.de]

Herausgeber: ESRI Geoinformatik GmbH; Zugriffsdatum: 24.08.2006

[www.fraunhofer.de]

Herausgeber: Fraunhofer Gesellschaft; Zugriffsdatum: 11.10.2006

[www.geoinformatik.uni-rostock.de]

Herausgeber: Universität Rostock: Professur für Geodäsie und Geoinformatik;
Zugriffsdatum: 17.03.2006

[www.geoprotal.bkg.bund.de]

Herausgeber: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie; Zugriffsdatum: 23.09.2006

[www.grass-verein.de]

Herausgeber: GAV - GRASS Anwender-Vereinigung; Zugriffsdatum: 15.05.2006

Quellenverzeichnis

[www.ifm.rwth-aachen.de]

Herausgeber: Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik an der RWTH Aachen; Zugriffsdatum: 22.08.2006

[www.laum.uni-hannover.de]

Herausgeber: Institut für Umweltplanung: Stahl, Rohland ; Hennberg, Frank;
Zugriffsdatum: 03.05.2006

[www.lih.rwth-aachen.de]

Herausgeber: Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie; Zugriffsdatum:
21.09.2006

[www.muenchen3d.de]

Herausgeber: Stadt München; Zugriffsdatum: 24.08.2006

[www.opensoure.org]

Herausgeber: Open Source Initiative; Zugriffsdatum: 05.08.2008

[www.oracle.com]

Herausgeber: Oracle international; Zugriffsdatum: 28.08.2006

[www.quarzwерke.de]

Herausgeber: Quarzwерke GmbH; Zugriffsdatum: 21.09.2006

[www.rag.de]

Herausgeber: RAG Aktiengesellschaft; Zugriffsdatum: 25.09.2006

[www.rwe.com]

Herausgeber: RWE AG; Zugriffsdatum: 20.09.2006

[www.surpac.com]

Herausgeber: Surpac Minex GROUP; Zugriffsdatum: 15.08.2006

[www.vulcanmaterials.com]

Herausgeber: Datamine Corporate Limited; Zugriffsdatum: 23.09.2006

7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

7.1 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Potentielle Entwicklungsflächen auf Basis eines 3-D-Standortmodells.....	4
Abbildung 2: 3-D-Visualisierung des Bergwerks Ost auf der Grundlage von photographischen Daten [DSK-Bildmaterial].....	6
Abbildung 3: Beschäftigungswachstum im Geodatensektor [FORNEFELD/OEFINGER/RAUSCH 03 (a)].....	8
Abbildung 4: Historische Entwicklung der Geographischen Informationssysteme.....	9
Abbildung 5: 3-D-Kataster der Städte Berlin und München.....	10
Abbildung 6: Kürzeste-Wege-Analyse innerhalb des Stuttgarter Hauptbahnhofes.....	11
Abbildung 7: Dokumentation der Gewinnung in einem fiktiven Tagebau; [www.surpac.com] verändert.....	14
Abbildung 8: Dreifache Redundanz bei der Geometrie des Tagebaus.....	16
Abbildung 9: Keine Darstellungsgleichheit des Objektes Schieber im Wasserversorgungssystem.....	17
Abbildung 10: Flächenausweisung eines Bewilligungsfeldes in verschiedenen Maßstäben	18
Abbildung 11: Objektklasse und Objekte in einem Geographischen Informationssystem. .	23
Abbildung 12: Unterschiedliche Darstellung einer Stromleitung.....	26
Abbildung 13: Theoretische Datenstruktur eines Geographischen Informationssystems....	28
Abbildung 14: Anpassung der Lehre an die neue Definition von Geographischen Informationssystemen.....	29
Abbildung 15: Einteilung von GIS-Architekturen.....	31
Abbildung 16: Mehrbenutzerlösung mit moderner GIS-Architektur.....	33
Abbildung 17: Auslegung von GIS-Serverdiensten.....	35
Abbildung 18: Schematische Übersicht über die ESRI-GIS-Architektur.....	37
Abbildung 19: ESRI Internet-GIS-Architektur.....	41
Abbildung 20: Wissenspyramide nach [HENNIG 04 (a)].....	43
Abbildung 21: Amtliche topographische Karte, Großraum Bonn.....	45
Abbildung 22: Aufbereitung von Geodaten des Landesvermessungsamtes NRW.....	46

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 23: Metadateninformationssystem für ein Drittmittelprojekt.....	51
Abbildung 24: Kartenlayer des GeoPortal.Bund des Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.....	54
Abbildung 25: Kosten für die Behebung von Planungsfehlern abhängig vom Zeitfaktor; [www.oracle.com] verändert.....	57
Abbildung 26: Gründe für ein Scheitern bei der Einführung eines Informationssystems. .	58
Abbildung 27: Kontinuierlicher Veränderungsprozess in Verbindung mit Informationssystemen.....	60
Abbildung 28: Durchschnittliche Kostenaufteilung eines GIS-Projektes [www.laum.uni- hannover.de].....	64
Abbildung 29: Nutzungsdauer von GIS-Komponenten [KLEMMER 04 (a)].....	65
Abbildung 30: Entwicklung von Personalbedarf und Kosten eines GIS-Projektes.....	66
Abbildung 31: Konzernstruktur der RWE AG	68
Abbildung 32: Übersicht mit Einsatzplänen für die Gewinnungs- und Verkippungsseite (DIEB).....	70
Abbildung 33: Übersicht Endböschung mit Messpunkten - BBM, WABIS, Profile, Situation, Tektonik (DIEB).....	71
Abbildung 34: Inklinometermessung der Bohrung HU655 (DIEB).....	72
Abbildung 35: Übersicht Endböschung mit Lagerstätteninformationen (DIEB).....	73
Abbildung 36: Übersicht Messpunkte mit ausgewählten SABAS-Daten - Position eines Schaufelradbaggers über die Zeit (DIEB).....	74
Abbildung 37: Darstellung von betriebseigenen Liegenschaften.....	76
Abbildung 38: Qualitätsparameterdarstellung der Quarzsandlagerstätte im Bereich des Tagebaus Frechen.....	77
Abbildung 39: Lage von Explorationsbohrungen im Tagebau Frechen und in dessen Vorfeld.....	78
Abbildung 40: GIS-gestützte Explorationsarbeit zur Aufindung höffiger Gebiete.....	79
Abbildung 41: Standorte BHKW-Module der Minegas GmbH.....	80
Abbildung 42: Prinzipskizze eines BHKW-Modul.....	81
Abbildung 43: Screenshot aus dem Landesinformationssystem Grubengas.....	83
Abbildung 44: Analyse der Schächte in der Nähe eines BHKW-Moduls.....	84
Abbildung 45: DSK-Standorte in Nordrhein-Westfalen und im Saarland [www.deutsche-	

Abbildungsverzeichnis

steinkohle.de].....	85
Abbildung 46: Kennzahlen des deutschen Steinkohlenbergbaus.....	86
Abbildung 47: Rissarchiv im DSK-Intranet [DSK-Bildmaterial].....	87
Abbildung 48: Fachanwendungen des Geschäftsbereichs Geoinformation/Vermessung BG G [DSK-Bildmaterial].....	88
Abbildung 49: Verbindung von SAP/RE/LUM mit ArcGIS [DSK-Bildmaterial].....	89
Abbildung 50: GIS gestützte(s) UVS beziehungsweise Umweltmonitoring [DSK- Bildmaterial].....	90
Abbildung 51: Benutzte Modelle für das Schutzgut Wasser [DSK-Bildmaterial].....	91
Abbildung 52: Risikoanalyse eine Abbaus mit Hilfe des Beeinflussungskatasters [DSK- Bildmaterial].....	93
Abbildung 53: Altbergbaubereiche in NRW und die davon möglicherweise betroffenen Gemeinden/Städte.....	96
Abbildung 54: Ergebnisse einer ersten räumlichen Analyse an das BIS.....	98
Abbildung 55: Hinterlegung des ausgewählten Bereiches mit historischen Grubenbildern, geologischen Karten und Luftbildern.....	99
Abbildung 56: Herkunft und Lieferanten von Erdgas auf dem deutschen Markt.....	101
Abbildung 57: GIS-Daten als Basis für das Rohrnetzrechnungsprogramm OptiPlan von E.ON Ruhrgas.....	103
Abbildung 58: Systemarchitektur der Ruhrgas-Kasuistik	105
Abbildung 59: Analysewerkzeuge (Methode der Visuellen Analytik) von CommonGIS.	108
Abbildung 60: Dreidimensionale Analyse von Geodaten sowie komplexe Auswertungswerkzeuge von CommonGIS.....	109
Abbildung 61: Isolinienkarte der Oberfläche der geologischen Schicht Tegelen (Quartaer)	111
Abbildung 62: Geologische Profilliniendarstellung aus dem Bereich der Venloer Scholle	112
Abbildung 63: Erlaubnisfeld des F & E-Vorhabens CBM-RWTH.....	118
Abbildung 64: Gemeindekarte des Landes NRW sowie eine Übersicht über die Regierungsbezirke.....	119
Abbildung 65: Regierungsbezirke und Kreise/kreisfreie Städte im Bereich des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH.....	120

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 66: GIS-Analyse der vom Erlaubnisfeld CBM-RWTH betroffenen Gemeinden/kreisfreien Städte.....	121
Abbildung 67: Automatische Flächenberechnung des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH.....	123
Abbildung 68: Screenshots aus dem Geographischen Informationssystem für das F & E- Vorhaben HaldenTherm RWTH.....	125
Abbildung 69: 3-D-Flächenmodell der Halde.....	126
Abbildung 70: 3-D-Schnitt des Blockmodells der Halde	127
Abbildung 71: Ankopplung eines Geographischen Informationssystems an das SAB- Expertensystem.....	128

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel für die Verletzung der 1NF.....	20
Tabelle 2: Auflösung der Verletzung der 1NF.....	20
Tabelle 3: Beispiel für die Verletzung der 2NF.....	20
Tabelle 4: Auflösung der Verletzung der 2NF.....	21
Tabelle 5: Verletzung der 1NF und 3NF.....	21
Tabelle 6: Auflösung der Verletzung der 1NF und 3NF.....	22
Tabelle 7: Einteilung von Daten über das Kriterium der Stabilität.....	27
Tabelle 8: Vergleich zwischen den Metadatenstandards FGDC und Dublin Core Element	49
Tabelle 9: Dublin Core Element Set (Metadata).....	54
Tabelle 10: Kraftwerkskapazitäten nach Primärenergieträgern (Stand 31.12.2005), [www.rwe.com].....	68
Tabelle 11: Kennzahlen des Tagebaus Hambach.....	69
Tabelle 12: Einsatzbereiche von Quarzsanden.....	75
Tabelle 13: Automatisch erstellte Legende für die Karte des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH	122