

Einsatz von ArcGIS im Rahmen eines Monitorings bergbaulicher Umwelteinwirkungen

R. Roosmann¹, W. Busch¹, J. Gorczyk¹, F. Mauersberger¹, S. Nickel¹, P. Vosen²

Zusammenfassung

Die Auswirkungen des untertägigen Steinkohlenabbaus auf die Umwelt werden in einem Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen beobachtet, kontrolliert und gesteuert. Dieses Monitoring soll EDV-technisch unterstützt werden. Die hieraus resultierenden Anforderungen an ein GIS werden aufgezeigt, wobei ein wesentlicher Punkt die Integration von Raum und Zeit ist. Hierzu wurde das Datenmodell der Geodatabase erweitert. Der Bericht stellt zudem kurz die Nutzung des objektorientierten Softwareengineerings als Grundlage für eine strukturierte Anpassung und Weiterentwicklung von ArcGIS dar.

Abstract

To observe, check and control environmental impacts caused by deep hard coal mining a monitoring procedure takes place. This can't be realized without computerized support. The requirements for using a geographical information system are shown. Integrating space and time must be seen as an important point, which leads to an extension of the ESRI-Geodatabase datamodel. This paper also describes the application of objectoriented softwareengineering to customize and extent the functionality of ArcGIS.

1. Einleitung

Die Entnahme großer Mengen Steinkohle in Teufen von über 1000 m führt zu unterirdischen Hohlräumen, die sich unter dem Gebirgsdruck wieder schließen. Dies leitet einen Senkungsvorgang der nächst höheren Gesteinsschichten ein, der sich bis an die Erdoberfläche fortsetzt und aufgrund von Senkungen, Schiefungen und Verschiebungen Veränderungen an der Tagesoberfläche hervorrufen kann [Kratzsch, 1997].

Aufgrund der Auswirkungen des Steinkohlenbergbaus auf die Umwelt sind alle bergbaulichen Vorhaben, die der Planfeststellung nach dem Bundesberggesetz bedürfen, verpflichtet eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen.

[Hansel, 2000] stellt die Sonderform der integrierten UVP bei Rahmenbetriebsplanverfahren mit Planfeststellung für bergbauliche Vorhaben heraus. Für die Erstellung und Zulassung des Rahmenbetriebsplans und den zu genehmigenden Abbau muss ein Zeitraum von ungefähr 25 Jahren angesetzt werden. Angaben zur Lagerstätte (z.B. die geologische Situation), wie auch zum Abbau (z.B. die zeitliche Folge oder die Abbaugeschwindigkeit), liegen nicht so detailliert vor, dass eine Darstellung des Vorhabens und der hiervon ausgehenden Auswirkungen, wie sie in der UVP gefordert werden, für einen solch langen Zeitraum geliefert werden können. Dies führt laut §74 Abs. 3 Satz 1 des Verwaltungsverfahrensgesetzes (VwVfG) zu einem Genehmigungsvorbehalt, da eine abschließende Entscheidung im Planfeststellungsbeschluss nicht möglich ist, und damit letztendlich zur Verpflichtung des Vorhabenträger zur periodischen Durchführung eines Monitorings der bergbaulichen Umwelteinwirkungen auf der Grundlage konkreter Nebenbestimmungen zum Rahmenbetriebsplan.

¹ Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal, Erzstraße 18, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, <mailto:rainer.roosmann@tu-clausthal.de>

² Deutsche Steinkohle AG, Dienstleistungsbereich Ingenieurvermessung / Geoinformation, Karlstraße 37 – 39, D-45661 Recklinghausen

2. Konzept für ein Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen

Der Begriff Monitoring wird häufig mit dem Begriff der Dauerbeobachtung gleichgesetzt, beinhaltet aber im Rahmen eines Monitorings bergbaulicher Umweltveränderungen weit mehr als die Messung und Beobachtung ausgewählter Umweltparameter.

Das Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen beinhaltet laut Planfeststellungsbeschluss zum Rahmenbetriebsplan mit UVP für das Bergwerk Prosper-Haniel der Deutschen Steinkohle AG (DSK AG) die räumliche Beobachtung, Kontrolle und Steuerung der Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt.

Der Vorhabensträger ist nach den bisher ergangenen Planfeststellungsbeschlüssen aufgefordert, das erforderliche Monitoring durchzuführen und den Behörden nachvollziehbare Berichte, im Sinne eines periodischen Nachtrags zum Rahmenbetriebsplan vorzulegen, damit einerseits die Einhaltung übergeordneter räumlicher Ziele gewährleistet ist und andererseits Erfordernis, Eignung und Wirksamkeit von gegensteuernden Maßnahmen und Kompensationsmaßnahmen überprüft werden können.

Die Konzepte des Monitorings orientieren sich im Wesentlichen an den Ergebnissen der UVP. Insbesondere die Wirkungskette der schwierig prognostizierbaren Senkungen der Erdoberfläche und deren Auswirkungen auf das Grundwasser, die Oberflächengewässer, die Arten und Lebensgemeinschaften werden untersucht. Der Zeitrahmen richtet sich nach den Laufzeiten der Rahmenbetriebspläne und beträgt ca. 20 Jahre. Die Untersuchungshäufigkeit ist auf die Dynamik der Umweltveränderungen abgestimmt.

Die Methoden zur periodischen Erfassung, Beschreibung und Bewertung des Zustandes der Umwelt lehnen sich an den Untersuchungsrahmen für die UVP an. Monitoringspezifische Methoden zur Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Veränderungen der Umwelt, Validierung der Prognosen anhand der festgestellten Zustände und Veränderungen sowie zur frühzeitigen Detektion von Zielabweichungen kommen hinzu.

Es ergeben sich also für das Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen, hier dargestellt am Beispiel des Monitorings Kirchheller Heide / Hünxer Wald (Bergwerk Prosper-Haniel), folgende Monitoringprogramme und Bearbeitungsschritte:

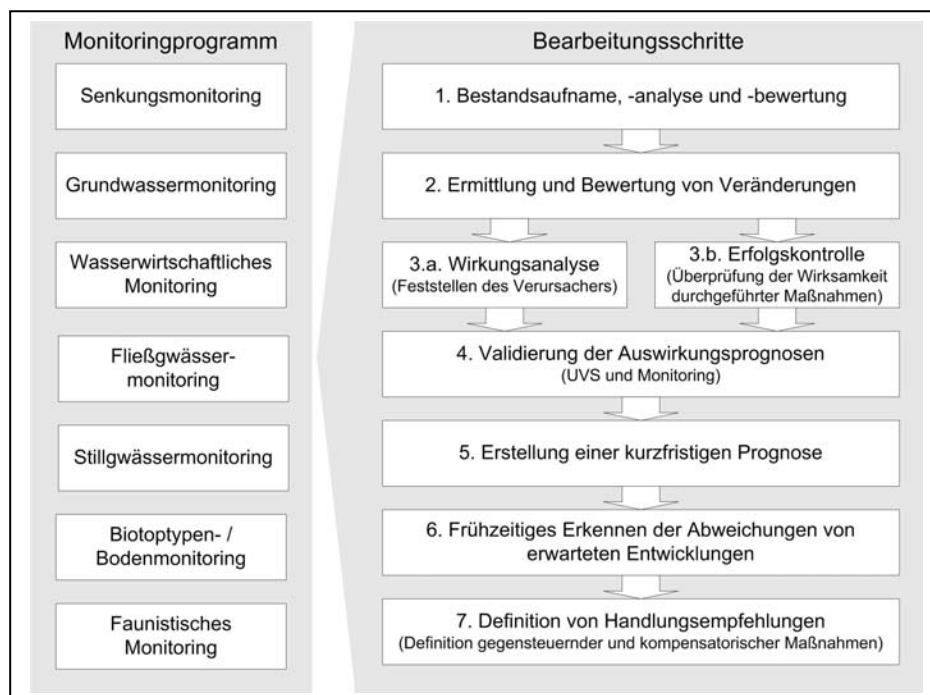


Abb. 1: Monitoringprogramme und Bearbeitungsschritte

3. Fachspezifische Anforderungen an ein GIS

Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung und der enormen Datenmengen kann das dargestellte Monitoring nicht ohne EDV-Unterstützung durchgeführt werden. Der erfolgreiche Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) für räumliche Anwendungen und speziell für ein Umweltmonitoring konnte in den letzten Jahren in verschiedenen Projekten nachgewiesen werden. Aus diesem Grund soll ArcGIS im Rahmen des Monitorings eingesetzt werden.

Die konkreten Anforderungen an ein GIS wurden auf der Grundlage einer durchgeführten Anforderungsanalyse ermittelt. Die wesentlichen Anforderungen ergeben sich, neben der Speicherung der anfallenden Daten, aus den räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Analysen der Objekte.

Beispielhaft werden einige Anwendungen eines GIS im Rahmen einer Veränderungsanalyse im Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen dargestellt:

1. Ermittlung und Bewertung von Veränderungen der bergbaulichen Einwirkungen und der Umwelt durch den Vergleich von eingetretenen Zuständen mit früheren eingetretenen Zuständen,
2. Frühzeitiges Erkennen der Abweichungen von erwarteten Entwicklungen durch
 - 2.1. Vergleich von Zustandsprognosen,
 - 2.2. Vergleich von Veränderungsprognosen,
 - 2.3. Vergleich von Zuständen mit Zustandsprognosen zukünftiger Zeitpunkte,
 - 2.4. Vergleich von Veränderungen mit Veränderungsprognosen zukünftiger Zeiträume,
3. Validierung von Prognosen durch
 - 3.1. Vergleich von Zuständen mit Zustandsprognosen derselben Zeitpunkte,
 - 3.2. Vergleich von Veränderungen mit Veränderungsprognosen desselben Zeitraumes.

4. Überlegungen zur Integration von Zeit in GIS

Zur Beschreibung realer Phänomene und Prozesse benutzt der Mensch im Wesentlichen räumliche und zeitliche Kategorien. Raum und Zeit sind nach Kant allerdings keine Gegenstände der Wahrnehmung, sondern liegen der Konstruktion von Repräsentationen physikalischer Objekte und deren Veränderungen zu Grunde.

Die Modellierung des Raumes in GIS als Grundlage für eine Unterstützung menschlicher Planungen und Handlungen ist hinreichend in der Fachliteratur beschrieben (siehe z.B. [Bartelme, 2000], [Worboys, 1995]).

Zur Modellierung der Zeit führt [Langran, 1992] den Begriff der Kartographischen Zeit ein und bezieht sich auf die Newtonsche Sicht der Zeit, die der menschlichen Wahrnehmung als eindimensionalem Kontinuum, linear und unendlich, isomorph zu den reellen Zahlen, als physikalischem Modell wohl am Nahesten kommt.

Zur Diskretisierung der Zeit kann diese als eindimensionaler euklidischer Raum aufgefasst werden, isomorph zur Menge der natürlichen Zahlen, dessen Metrik mit Kalendern und Uhren gemessen wird. Der Kalender dient als temporales Referenzsystem zur Angabe taggenauer zeitlicher Positionen, während Uhren, in Kombination mit einem Kalender, die Messung konkreter zeitlicher Positionen innerhalb eines Tages ermöglichen [ISO Temporal Schema, 2000].

Diese Diskretisierung der Zeit findet sich in temporalen Datenmodellen wieder, wobei die Zeitachse in atomare Segmente gleicher Länge, so genannte Chronons unterteilt wird. Ein Chronon ist die kleinste darstellbare Zeiteinheit. Die Granularität ist die Zeiteinheit, die in einer konkreten Realität verwendet wird und somit kontextabhängig ist [Kaiser, 2000].

Wie der Raum, so hat die Zeit Geometrie und Topologie. Geometrische Objekte der Zeit sind die Zeitpunkte und Zeitintervalle. Das Zeitintervall ist äquivalent zu einer Linie, hat eine zeitliche Ausdehnung und wird von zwei Zeitpunkten begrenzt. Diese geometrischen Objekte der Zeit können als temporale Primitive aufgefasst und in temporale Aggregate oder in temporale Komplexe zusammengefasst werden. Temporale Aggregate sind zeitliche

Spaghetti-Daten, während temporale Komplexe topologische Beziehungen berücksichtigen und z.B. als linearer Graph modelliert werden können.

Zwischen verschiedenen temporalen Objekten können Beziehungen bestehen, die z.B. über die Metrik (Distanz), Topologie (Nachbarschaft) oder Anordnung (vorher, nachher) beschrieben werden können.

4.1. Verschiedene Sichten der Zeit

[Frank, 1998] weist darauf hin, dass kognitiv verschiedene Sichten zum Thema Zeit existieren, die sich bei der Integration von Zeit in ein Informationssystem wieder finden. Zu nennen sind:

- Kontinuierliche vs. diskrete Sicht

Die diskrete Sicht wird eingesetzt, wenn die Gültigkeit eines Objektes zu einem diskreten Zeitpunkt oder über ein Zeitintervall beschrieben wird.

Bei der Abbildung kontinuierlicher Zeit, z.B. um Prozesse zu modellieren, werden Eigenschaften an diskreten Zeitpunkten erfasst und zudem eine Interpolations- oder Approximationsfunktion hinterlegt, um Eigenschaftswerte zu jedem Zeitpunkt auf einer kontinuierlichen Zeitachse zu berechnen.

- Absolute vs. relative Sicht

Bei der absoluten Sicht erfolgt eine Gruppierung der Zustände auf der Grundlage der Zeit. Die Zeit wird als absolut angesehen.

Im Gegensatz hierzu findet bei der relativen Sicht eine Gruppierung über die Objekte statt. Die Objekte berücksichtigen neben anderen Parametern auch die Zeit.

- Zeitskalen

Je nach Anwendung kann die Zeitskala variieren. Stehen beispielsweise die Zustände der Objekte im Vordergrund, wie z. B. in Archäologischen Informationssystemen, wird Zeit als ordinale Skala gesehen. In den meisten Fällen wird allerdings Zeit bezogen auf eine Intervall-Skala implementiert, wobei die Analyse der Veränderungen ein wesentlicher Bestandteil der Anwendungen ist.

- Zeitstruktur

Zeit kann u.a. als linear, verzweigend oder als zyklisch modelliert werden.

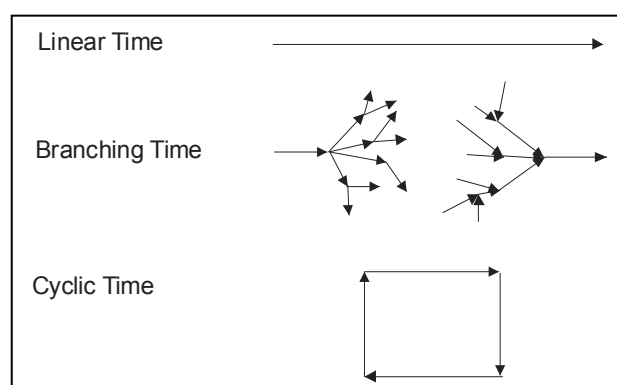


Abb. 2: Zeitstrukturen

- Zeitfolgetypen

Der Zustand realer Phänomene kann nur über bestimmte Parameterwerte zu definierten Zeitpunkten erfasst werden, so dass eine Aussage über die Zustände zwischen diesen Messungen definiert werden muss. [Griefahn, 1996] nennt drei Zeitfolgetypen:

- zustandsstabil,
- ereignisorientiert und
- kontinuierlich.

4.2. Temporale Datenbanken

Temporale Datenbanken umfassen im weitesten Sinn alle Datenbankanwendungen, die einen Zeitaspekt bei der Organisation ihrer Informationen beinhalten [Elmasri, 2002]. Der Zeitaspekt kann sich auf die Weltzeit, die Datenbankzeit oder eine andere nutzerdefinierte Zeit beziehen. Die Weltzeit beschreibt das Auftreten eines Ereignisses oder die Gültigkeit eines Zustandes im Modell der Realität, während die Datenbankzeit bezug nimmt auf die Zeit, wann ein Objekt in der Datenbank gespeichert, verändert oder entfernt wurde. Weltzeit und Datenbankzeit können als orthogonal zueinander modelliert werden.

Eine Klassifizierung temporaler Datenbanksysteme über die Implementierung der Weltzeit und / oder Datenbankzeit ergibt sich nach [Ott, 2000] wie folgt:

- Statische Datenbanken berücksichtigen keine Weltzeit und keine Datenbankzeit,
- Historische Datenbanken berücksichtigen die Weltzeit,
- Rollback Datenbanken berücksichtigen die Datenbankzeit und
- Bitemporale Datenbanken berücksichtigen sowohl die Weltzeit, als auch die Datenbankzeit.

Um den Bezug zwischen den Objekten und der Zeitdimension herstellen zu können, werden Zeitstempel verwendet. Ein Zeitstempel kann aus einem Zeitpunkt oder einem Zeitintervall bestehen und der Weltzeit, Datenbankzeit oder einer nutzerdefinierten Zeit zugeordnet sein.

Zur temporalen Erweiterung der Datenmodelle existieren im Wesentlichen zwei Ansätze [Voigtmann, 1997]. Im relationalen Datenmodell werden Zeitstempel entweder einem Tupel oder einzelnen Attributen zugeordnet. Synonym hierzu ergibt sich für das objektorientierte Datenmodell eine Zuordnung von Zeitstempeln zu Objekten oder Attributen.

[Medak, 1999] unterscheidet weiterhin die Datenbank- und die Objektversionierung, wobei eine Version die Gültigkeit des Zustandes der gesamten Datenbank bzw. eines Objektes für einen Zeitpunkt oder ein Zeitintervall definiert. Bei der Versionierung der Datenbank werden bei jeder Veränderung sämtliche Objekte der Datenbank neu gespeichert.

[Langran, 1992] schlägt u.a. die Zuweisung von Zeitstempeln auf der Ebene von Relationen im relationalen Datenmodell vor.

[Kaiser, 2000] führt temporale Synchronitätsklassen ein und berücksichtigt u.a., dass innerhalb einer Klasse Attribute existieren, die:

- zeitunabhängig sind und ihren Wert nicht ändern,
- zeitabhängig sind, ihren Wert ändern, wobei die Historie unerheblich ist und
- zeitabhängig sind, ihren Wert ändern und deren Historie vorgehalten werden muss.

Zur Implementierung von Zeit in Datenbanksystemen existieren folgende Ansätze [Dorsey, 1999]:

- Speicherung der Historie über ein Transaction-Log. In dieser Log-Datei werden sämtliche alten Zustände gespeichert.
- Kopieren von Tabellen, um alte Zustände zu verwalten. Hierbei existieren jeweils eine Basistabelle und eine Historien-Tabelle. Die Historien-Tabelle weist hierbei die gleiche Datenstruktur auf wie die Basistabelle, erweitert um die Attribute VonZeit und BisZeit. Bei jedem neuen Eintrag in die Basistabelle werden die alten Werte in der Historien-Tabelle gespeichert, was z.B. über einen Trigger realisiert werden kann. Natürlich ist es möglich, die alten Zustände in der Basistabelle zu belassen und die neueren Zustände in einer oder mehreren zusätzlichen Tabellen zu speichern.
- Die Speicherung zeitvarianter Beziehungen über Assoziationsklassen. Diese Möglichkeit hat sich in der Vergangenheit bewährt, kann allerdings sehr kostenintensiv sein, da durch mindestens zwei joins die beteiligten Klassen zusammengeführt werden müssen.
- Speicherung der historischen Daten in der gleichen Tabelle. Hierzu wird die Basistabelle um mindestens zwei temporale Attribute (VonZeit und BisZeit) erweitert.

4.3. Ansätze zur Integration von Zeit in GIS

Neben der konsistenten Datenhaltung und Abfrage räumlicher, zeitlicher und raumzeitlicher Objekte, ist die Analyse dieser Objekte ein wesentlicher Schwerpunkt bei der Integration von Zeit als weitere Dimension in ein GIS. In den letzten Jahren wurden verschiedene Konzepte zur Modellierung raumzeitlicher Objekte in einem GIS vorgeschlagen, wovon einige kurz vorgestellt werden.

Snapshot-Model [Langran, 1992]

Dieses Modell greift das räumliche Layer-Modell auf. Für jeden Zeitpunkt wird ein Layer mit sämtlichen Objekten gespeichert. Dies ist das einzige Datenmodell, das zur Modellierung zeitlicher Zustände von konventionellen GIS eingesetzt werden kann. Der Einsatz eignet sich für Anwendungen, in denen der Zustand von Objekten zu bestimmten Zeitpunkten im Mittelpunkt steht.

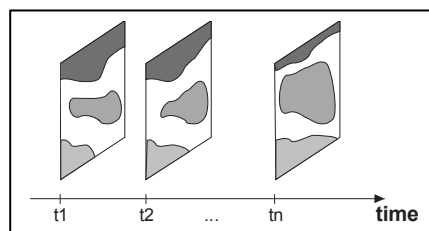


Abb. 3: Snapshot-Model

Spatio-Bitemporal-Model [Worboys, 1998]

Dieser Ansatz nutzt die algebraische Topologie, speziell die Theorie der Simplizialen Komplexe, zur Beschreibung der räumlichen Aspekte und kombiniert Simplexe mit bitemporalen Elementen zu räumlich-bitemporalen Objekten, den ST-Complexen.

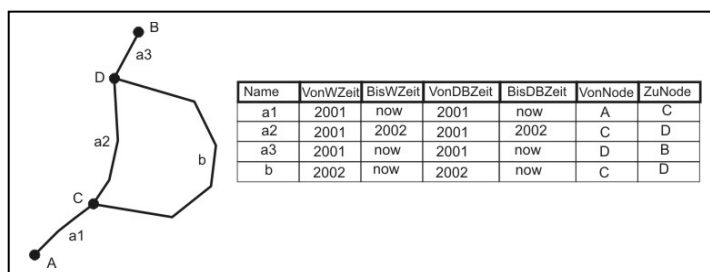


Abb. 4: Spatio-Bitemporal-Model

Base State with Amendments [Langran, 1992]

Behandeln die vorher dargestellten Modelle immer die Zustände aus denen sich die Veränderungen ableiten lassen, so stehen in diesem Modell die Veränderungen im Vordergrund. Es werden der Ausgangszustand zu einem konkreten Zeitpunkt und die Veränderungen relativ zu diesem Zustand abgespeichert.

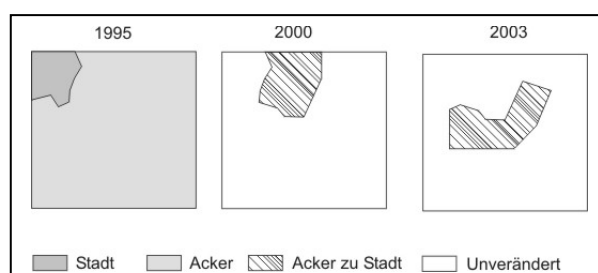


Abb. 5: Base State with Ammendments

5. Erweiterung von ArcGIS

Ein Schwerpunkt beim Einsatz eines GIS zur Unterstützung des Monitorings bergbaulicher Umwelteinwirkungen ist die Integration der Zeit als zusätzliche Dimension. Weitere Schwerpunkte ergeben sich aus den fachspezifischen Anforderungen zur Bewertung, Analyse und Prognose von Zuständen und Veränderungen.

Aufgrund der unter Punkt 2 genannten Anforderungen muss ArcGIS zur Unterstützung eines Monitorings angepasst und erweitert werden. Dies soll mit Methoden des objektorientierten Softwareengineering erfolgen. Der Begriff Methode wird hier im Sinne der Softwaretechnik als Zusammenspiel von Konzepten, Notation und methodischer Vorgehensweise verstanden [Balzert, 1999]. Die objektorientierten Konzepte wurden maßgeblich von der objektorientierten Programmierung geprägt und um Konzepte der semantischen Datenmodellierung erweitert.

Die Unified Modeling Language (UML) integriert die objektorientierten Konzepte und kann als Standardnotation der Objektorientierung angesehen werden. Bei der UML handelt es sich um eine Sprache zur Spezifikation, Konstruktion und Dokumentation von Modellen. Seit 1998 liegt die UML als Standard vor und bietet den Entwicklern eine Möglichkeit, den Entwurf und die Entwicklung von Softwaremodellen auf einheitlicher Basis durchzuführen.

Als objektorientierte Standardnotation unterstützt die UML zwar ein methodisches Vorgehen, beinhaltet dieses aber nicht. Die UML definiert die Notation und Semantik der Modellierungselemente, aber keine Methodik für einen sinnvollen Einsatz dieser Notation.

Ziel des Softwareengineering ist es, durch Vorgabe einer ingenieurmäßigen Vorgehensweise, den Softwareentwicklungsprozess planbarer, kalkulierbarer und - so der Wunsch - erfolgreicher zu machen [Köster, 1997].

5.1. Vorgehensmodell

Ein Vorgehensmodell beschreibt auf abstrakte Weise, wie ein System entwickelt wird, also in welcher Reihenfolge welchen Aktivitäten und Ergebnissen nachgegangen wird. Zusammen mit einer Notation, wie der UML, sowie einer Reihe von Managementpraktiken entsteht daraus eine Softwaremethode.

Der Einsatz der Objektorientierung als Grundlage für eine methodische Vorgehensweise wird sehr abstrakt in vorhandenen Vorgehensmodellen und relativ detailliert in „konkreten Prozessmodellen“ festgelegt.

Bekannte Vorgehensmodelle zum Einsatz der objektorientierten Technologie sind z.B. der Unified Software Development Process (USDP) von [Jacobson, 1999] oder der Object Engineering Process (OEP), vorgestellt von [Oesterreich, 2001].

Zur Erstellung des raumzeitlichen GIS zur Unterstützung des Monitorings, wird durch Anpassung, Detaillierung und Konkretisierung des OEP ein „konkretes Prozessmodelle“ erstellt und im Laufe des Vorhabens verfeinert.

Sowohl der USDP als auch der OEP basieren auf einem iterativ-inkrementellen Entwicklungsprozess. Das heißt, es wird davon abgesehen, das Softwaresystem in einem Rutsch zu erstellen. Stattdessen berücksichtigt dieser Entwicklungsprozess, dass die Anforderungen an das Softwaresystem zum Projektstart nicht vollständig bekannt sind, sich während des Projektes teilweise ändern und durch gewonnene Erkenntnisse im Laufe des Projektes vervollständigt werden können.

Des weiteren sind die genannten Vorgehensmodelle anwendungsfallgetrieben und architekturzentriert bzw. architekturorientiert und beinhalten eine Managementperspektive und eine technische Perspektive.

5.2. Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse beinhaltet die Analyse und Beschreibung aller wichtigen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an das zu entwickelnde System [Oesterreich, 2001].

Zur Erfassung und Dokumentation der Anforderungen gibt es zwei verschiedene Vorgehensmodelle [Jacobson, 1999]:

- Domain Modeling und
- Business Modeling.

Beim Domain Modeling werden die wichtigsten Aspekte auf der Grundlage der objektorientierten Konzepte auf einer sehr abstrakten Ebene beschrieben und verknüpft.

Das Ziel des Business Modeling ist es, die wesentlichen Bearbeitungsprozesse in Form von Anwendungsfällen (Übersetzung für Use-Cases), zu beschreiben.

Bei beiden Methoden steht die Sicht des Anwenders im Vordergrund. Wir werden uns auf das Business Modeling konzentrieren, da der OEP anwendungsfallgetrieben, architektur-spezifisch, iterativ und inkrementell ist.

Anwendungsfälle wurden erstmals 1987 von Jacobson vorgestellt, werden seitdem zur Anforderungsanalyse eingesetzt und finden sich auch in der UML wieder. Neben der grafischen Notation werden die Anwendungsfälle textlich beschrieben. Während bei kleineren Anforderungsmodellen eine umgangssprachliche Beschreibung ausreicht, sollten bei umfangreicheren Modellen Templates (Vorlagen) eingesetzt werden.

Anwendungsfälle können verschiedene Sichten bzw. Wirkungsbereiche abbilden. [Booch, 1999] unterscheidet Anwendungsfälle in einem Unternehmen und in einem Informationssystem.

Während die funktionalen Anforderungen mit Anwendungsfällen modelliert werden können, müssen die nicht-funktionalen Anforderungen, wie z.B. Anforderungen an die Hard- und Software, anderweitig dokumentiert werden.

Im Rahmen der Anforderungsanalyse sollte zunächst das Business-Model erstellt werden, um die Abläufe, benötigten Daten, beteiligten Personen usw. zu erfassen und zu verstehen. Darauf aufbauend wird dann ein Anforderungs-Modell erarbeitet, das die Prozesse und somit auch die Grenzen des zu erstellenden Informationssystems dokumentiert.

5.3. Systemerstellung

Die Systemerstellung ist Teil des konkreten Prozessmodells und umfasst die Konzeption und Realisierung eines funktionsfähigen Informationssystems entsprechend der definierten Anforderungen und unter Berücksichtigung einer konkreten Entwicklungs- und Zielumgebung [Oesterreich, 2001].

5.3.1. Datenhaltung

Die Objektorientierte Analyse (OOA) für ein Subsystem, wie z.B. das Senkungsmonitoring, dient als Grundlage zur Erstellung des entsprechenden konzeptionellen, logischen und physischen Datenbankschemas.

Bevor mit der Modellierung der Datenbankschematas begonnen werden konnte, wurde das Datenmodell dahingehend erweitert, dass zusätzlich zu den vorhandenen Möglichkeiten der Geodatabase, Zeit als weitere Dimension verwaltet und abgefragt werden kann.

Die Geodatabase ermöglicht die Erstellung und Speicherung von Versionen, im Sinne von Datenbank-Snapshots, als Grundlage so genannter Long Transactions. Hierbei steht die Integration der Datenbankzeit im Vordergrund, um Veränderungen der Daten unterschiedlicher Versionen zu halten und ggf. unter Wahrung der Datenkonsistenz wieder zusammenzuführen.

Zur Integration von Zeit, wie es für ein Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen gefordert wird, greift dieser Ansatz zu kurz, bietet allerdings die wesentlichen Grundlagen, um Welt- und Datenbankzeit auf verschiedenen Ebenen integrieren zu können.

Die Möglichkeiten einer bitemporalen Versionierung wurden auf folgenden Ebenen untersucht:

1. Versionierung der gesamten Geodatabase,
2. Versionierung von Klassengruppen,
3. Versionierung einzelner Klassen,
4. Versionierung einzelner Objekte,
5. Versionierung von Attributgruppen,
6. Versionierung einzelner Attribute außerhalb der Geodatabase.

Auf der Grundlage des erweiterten raumzeitlichen Datenmodells kann die konzeptionelle Modellierung zur Erstellung eines konzeptionellen Datenschemas erfolgen. Hierzu wird u.a. das ArcInfo-UML-Modell eingesetzt, das eine Erweiterung des UML-Metamodells darstellt. Zur Modellierung des konzeptionellen Datenschemas unter Nutzung des ArcInfo-UML-Modells, können die CASE-Tools Microsoft Visio und Rational Rose eingesetzt werden.

Die Erstellung des logischen Datenschemas erfolgt mit dem Schema-Wizard von ESRI. Ein Mapping ohne Informationsverlust zwischen dem konzeptionellen und dem logischen Datenschema ist mit dem Schema-Wizard allerdings nicht möglich, so dass nachträglich das logische Datenschemata angepasst werden muss.

5.3.2. Entwicklung der Subsysteme

Die Subsysteme ergeben sich aus einer Bildung von Paketen, in diesem Fall logisch zusammengehörigen Prozessen. Die Entwicklung der Subsysteme integriert einen evolutionären Mikroprozess, bestehend aus der objektorientierten Analyse (OOA), dem objektorientierten Design (OOD), der objektorientierten Programmierung und dem Test.

Objektorientierte Analyse (OOA)

Ziel der objektorientierten Analyse ist es, die konkreten Anforderungen an ein neues Softwaresystem zu ermitteln und zu dokumentieren. Es wird weiterhin beschrieben, was das Informationssystem leisten, aber nicht wie dies umgesetzt werden soll.

Eine erste Beschreibung was das Informationssystem leisten soll, liefert das Anforderungsmodell. Hier werden die funktionalen und nicht-funktionalen Prozesse des Informationssystems normalsprachlich erläutert. Die Modelle der Anforderungsanalyse stellen das Informationssystem aus Sicht der Anwender dar und dienen unter anderem der Kommunikation mit dem Anwender.

Im Rahmen der OOA wird das Informationssystem mit der Sprache und aus der Sicht des Entwicklers beschrieben. Dies erfolgt mit statischen und dynamischen Analysemodellen.

Zur Modellierung der statischen Sicht werden Klassendiagramme der UML eingesetzt. Die wesentlichen Elemente der statischen Sicht sind z.B. Klassen, Attribute, Operationen, Assoziationen, Vererbung und werden u.a. in [Booch, 1999] sehr ausführlich dargestellt.

Die dynamische Sicht modelliert das Verhalten des Informationssystems. Die UML bietet hierfür verschiedene Diagramme, wie z.B. das Sequenz- oder das Aktivitätsdiagramm, an.

Die Analysemodelle klammern bewusst alle Aspekte der Implementierung aus, sind unabhängig von der Datenhaltung und von der zugrunde liegenden Software. Man geht also von einer perfekten Technik aus.

Alle Objekte einer Klasse besitzen dieselben Attribute. Attribute beschreiben die Zustände der Objekte und werden z.B. in den statischen Analysemodellen, zumindest durch ihren Namen und ihren Datentyp beschrieben.

Um die genannte Unabhängigkeit der Analysemodelle zu erreichen, sollten auf dieser Ebene standardisierte Datentypen eingesetzt werden. Es wurden auf der Grundlage der ISO-

Standards Spatial Schema und Temporal Schema (die als Draft-Versionen zur Verfügung standen) raumzeitliche Datentypen definiert, die für die Analysemodelle eingesetzt werden können. Eine Darstellung dieser Datentypen ist in [Roosmann, 2002] enthalten.

Neben diesen Analysemodellen wurden Prototypen erstellt, um die Gestaltung der Benutzeroberflächen mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Objektorientiertes Design (OOD)

Bei der Erstellung der Analysemodelle wurde von einer idealen Umgebung ausgegangen. Die Modelle der OOD sind formaler, unterliegen klaren technischen Randbedingungen und können als physikalische Modelle angesehen werden, da sie ein Abbild der eigentlichen Implementierung darstellen.

Zwischen den Analyse- und den Designmodellen findet kein Paradigmenwechsel statt. Es werden dieselben Konzepte und Elemente eingesetzt. Des Weiteren ist zu berücksichtigen dass die Designmodelle und die Implementierung sehr eng gekoppelt sind, so dass jede Klasse direkt implementiert werden kann [Balzert, 1999].

Zur Anpassung und Erweiterung von ArcGIS für das Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen werden die Entwicklung der Oberfläche, das Fachkonzept und die Datenhaltung soweit wie möglich entkoppelt. Ziel ist es, Änderungen der Schichten weitestgehend unabhängig durchführen zu können.

Die Benutzeroberflächen werden auf der Grundlage der Prototypen der OOA konkretisiert, das Fachkonzept der OOD basiert auf dem Analysemodell. Die Datenhaltungsschicht bildet den Datenzugriff auf die objektrationale Datenbank ab. Die Modellierung der Datenhaltung wurde weiter oben erläutert.

Objektorientierte Programmierung (OOP)

Die Programmierung erfolgt unter dem Betriebssystem Microsoft Windows XP und setzt die Programmiersprachen VBA für ArcGIS, VB.Net und C# ein. Basierend auf den Modellen der OOD werden die Zugriffe auf die objektrationale Datenbank, das Fachkonzept und die Oberflächen programmiert.

Grundsätzlich lässt sich ArcGIS auf drei unterschiedlichen Ebenen anpassen und erweitern:

1. unter Nutzung der vorhandenen ArcObjects Komponenten,
2. als Class-Extension und
3. als Custom Features.

6. Fazit

Die Durchführung des Monitorings bergbaulicher Umwelteinwirkungen ist ohne EDV-Unterstützung, speziell durch ein GIS, nicht möglich. Das GIS muss komplexe fachspezifische Analysen unterstützen, die eine Integration der Zeit als weitere Dimension bedingen.

ArcGIS kann hierfür eingesetzt werden, da sowohl die Datenhaltung, als auch die Funktionalitäten den Anforderungen entsprechend angepasst werden können.

Die Geodatabase wurde zu einer bitemporalen Geodatenbank erweitert, die eine Versionierung u. a. auf der Ebene der Relationen und Tupel erlaubt. Eine verbesserte Unterstützung objektrationaler Konzepte durch ArcSDE wäre hierbei wünschenswert.

Die UML kann zur Erstellung konzeptioneller Datenschematas sinnvoll genutzt werden. Ein Mapping ist mit dem Schema-Wizard möglich, allerdings nicht ohne Informationsverlust.

Zur Anpassung und Erweiterung der ArcGIS-Clients können durchgängig die Methoden des objektorientierten Softwareengineerings angewendet werden. Ein strukturiertes methodisches Vorgehen wird z.B. durch den Object Engineering Process sichergestellt. Die objektorientierte Programmierung mit ArcObjects COM-Komponenten ist mit dem .Net-Framework möglich.

Literatur:

- Balzert, H., Lehrbuch der Objektmodellierung, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin, 1999
- Bartelme, N., Geoinformatik, Springer Verlag, Berlin 2000
- Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I., The Unified Modeling Language User Guide, Addison-Wesley, Reading 1999
- Cockburn, A., Writing effective Use-Cases, Addison-Wesley, Boston 2000
- Dorsey, P., Hudicka, J., Oracle 8 Desing Using UML Object Modeling, Oracle Press, Berkeley 1999
- Elmasri, R., Navathe, S., Grundlagen von Datenbanksystemen, Pearson Studium, München, 2002
- Frank, A., Different types of time in GIS, In: Egenhofer, M., Golledge, R., Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems, Oxford University Press, Oxford 1998
- Hansel, G., Die Umweltverträglichkeitsprüfung im westdeutschen Steinkohlenbergbau, Deutscher Markscheider-Verein e.V., Bochum 2000
- Griefahn, B., Temporale Datenbanken und TSQL, In: Zeit als weitere Dimension in Geo-Informationssystemen, Interner Bericht Heft Nr. 7, Institut für Geodäsie und Geoinformatik, Universität Rostock 1997
- International Organisation for Standardization, Geographic information – Temporal Schema, Draft International Standard ISO/DIS 19108, 2000
- International Organisation for Standardization, Geographic information – Spatial Schema, Draft International Standard ISO/DIS 19107, 2001
- Jacobson, I., Booch, G., Rumbough, J., The Unified Software Development Process, Addison-Wesley, Reading 1999
- Kaiser, A., Die Modellierung zeitbezogener Daten, Peter Lang Verlag, Frankfurt a. Main 2000
- Kratzsch, H., Bergschadenkunde, Deutscher Markscheider-Verein e.V., Bochum 1997
- Köster, G., Requirements Engineering für GIS-Applikationen, Dissertation, Fachbereich Informatik der FernUniversität – Gesamthochschule – in Hagen, 1997
- Langran, G., Time in Geographic Information Systems, Taylor & Francis, London 1992
- Medak, D., Lifestyles – A Paradigm for the Description of Spatiotemporal Databases, Dissertation, Fakultät für technische Naturwissenschaften und Informatik der Technischen Universität Wien, 1999
- Oesterreich, B., et. al., Erfolgreich mit Objektorientierung, Oldenbourg Verlag, München 2001
- Ott, T., Swiaczny, F., Time-integrative Geographic Information Systems, Springer Verlag, Berlin 2001
- Roosmann, R., et. al., Modelling Spatiotemporal Objects and Processes as a Basis for Monitoring the Environmental Influences caused by Deep Hard Coal Mining, MathMod Proceedings ARGSIM-Reports, Wien 2003
- Voigtmann, A., An Object-Oriented Database Kernel for Spatio-Temporal Geo-Applications, Dissertation, Fachbereich Mathematik und Informatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 1997
- Worboys, M., A Generic Model for Spatio-Bitemporal Geographic Information, In: Egenhofer, M., Golledge, R., Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems, Oxford University Press, Oxford 1998
- Worboys, M., GIS A Computing Perspective, Taylor & Francis, London 1995