

Systemkonzept zur integrierten Nutzung von klassischen, GIS- und Fernerkundungsmethoden für ein Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen

*Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch, Dipl.-Ing. Rainer Roosmann, Dr.-Ing. Christian Fischer,
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, Technische Universität Clausthal,
D-38678 Clausthal-Zellerfeld
und Dipl.-Ing. Peter Vosen, Deutsche Steinkohle AG, Dienstleistungsbereich
Ingenieurvermessung / Geoinformation, D-45661 Recklinghausen*

Die Verpflichtung zur Durchführung eines Monitorings der bergbaubedingten Umwelteinwirkungen infolge der Gewinnung von Steinkohle ergibt sich aus den Nebenbestimmungen der UVP-pflichtigen Rahmenbetriebspläne. Die rechtlichen Grundlagen und die besonderen fachlichen Inhalte sowie Arbeitsschritte eines solchen Monitoringverfahrens werden im folgenden Beitrag dargestellt. Zur Unterstützung der Bearbeitung durch das Bergbauunternehmen wird vom Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal und der Deutschen Steinkohle AG ein Systemkonzept für ein „Umweltmonitoring – Informationssystem (DSK-UMIS)“ entwickelt und prototypisch umgesetzt, das sich auf ein Fachinformationssystem Monitoring (FISMon) und ein Auswertesystem fernerkundlicher Daten (AFeMon) stützt. Grundlagen dieses Systems bilden das Geoinformationssystem ArcGIS der Fa. ESRI in Verbindung mit dem Datenbankmanagementsystem (DBMS) Oracle sowie die Bildauswertesoftware ENVI/IDL der Fa. CREASO.

1. Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen

Abbauvorhaben, die Senkungen der Erdoberfläche von 3 m und mehr verursachen, bedürfen in Deutschland gem. § 1 UVP-V Bergbau einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Nach § 52 Abs. 2a des Bundesberggesetzes (BBergG) ist für deren Zulassung ein obligatorischer Rahmenbetriebsplan aufzustellen und ein Planfeststellungsverfahren nach Maßgabe der §§ 57a und 57b BBergG durchzuführen. [Hansel 2000] stellt die Sonderform der integrierten UVP bei Rahmenbetriebsplanverfahren mit Planfeststellung für bergbauliche Vorhaben heraus. Für die Erstellung und Zulassung des Rahmenbetriebsplans sowie die Durchführung des Abbaus muss ein Zeitraum von bis zu 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 betrifft insbesondere die senkungsbedingten Auswirkungen auf das Grundwasser, die Oberflächengewässer sowie die Arten- und Lebensgemeinschaften. Da zum Zeitpunkt der Planfeststellung somit Entscheidungen insbesondere im Bereich des Wasser- und Naturschutzrechtes nicht abschließend getroffen werden können, wird der untertägige Steinkohlenabbau im Land Nordrhein-Westfalen durch ein System der

räumlichen Beobachtung, Kontrolle und Steuerung der Umweltauswirkungen (Monitoring) unter Federführung der Planfeststellungsbehörde begleitet.

Unter einem Monitoring wird häufig ausschließlich eine Dauerbeobachtung verstanden. Nach [Maas 1999] beinhaltet ein Umweltmonitoring jedoch neben der regelmäßigen Beobachtung bestimmter Bestandteile des Umweltsystems zudem die Durchführung von Veränderungsanalysen sowie die Definition und Kontrolle der Wirksamkeit allgemeiner und konkreter Maßnahmen unter Hinweis auf definierte Umweltqualitätsziele. Zur Quantifizierung der Annäherung an bzw. der Abweichung von vordefinierten Zielen müssen Ansätze einer Wertung der Umweltentwicklung vorhanden sein. Das Monitoring bergbaubedingter Umwelteinwirkungen integriert die genannten Ansätze und stellt folgende wesentliche Aspekte heraus [Bezirksregierung Arnsberg, 2002a]:

- * die Ziele des Zielkonzeptes der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) sind einzuhalten, ggf. zu quantifizieren und zu konkretisieren,
- * die Erfordernisse, Eignung und Wirksamkeit gegensteuernder Maßnahmen und Ausgleichsmaßnahmen sind zu prüfen,
- * die Grundlagen für die frühzeitige Erkennung bzw. Prognose potentiell auftretender bergbaubedingter Zielabweichungen sind zu erarbeiten,
- * nachvollziehbare Informationen über die wasserwirtschaftliche und naturräumliche Entwicklung des Einflussgebietes sind zu erarbeiten und den entsprechenden Stellen der Genehmigungs- und Fachbehörden zur Verfügung zu stellen.

Der Vorhabensträger ist nach den bisher ergangenen Planfeststellungsbeschlüssen aufgefordert, das erforderliche Monitoring bergbaubedingter Umwelteinwirkungen zu unterstützen und den Behörden nachvollziehbare Berichte im Sinne eines periodischen Nachtrags zum Rahmenbetriebsplan vorzulegen. Das Monitoring bergbaubedingter Umwelteinwirkungen stellt u. a. darauf ab, die Einhaltung der im geänderten Gebietsentwicklungsplan (GEP) und den Räumlichen Entwicklungskonzepten definierten räumlichen Ziele zu überprüfen und zu bewerten, unerwünschte und ungewollte Entwicklungen frühzeitig, schnell und sicher zu erkennen, sowie zu gewährleisten, dass ggf. durch die Durchführung geeigneter Maßnahmen, diese Ziele erreicht werden.

Das Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen beinhaltet laut Monitoringkonzept für den Bereich „Kirchheller Heide / Hünxer Wald“ [Bezirksregierung Arnsberg, 2002b] insbesondere

- * die Überprüfung der Auswirkungsprognose anhand der tatsächlich beobachtbaren Veränderungen,
- * die Verifizierung und Entscheidung der Notwendigkeit vorgeschlagener Maßnahmen und
- * die Erfolgskontrolle durchgeführter gegensteuernder und kompensatorischer Maßnahmen.

Die im Land Nordrhein-Westfalen hierzu entstandene Organisationsstruktur besteht derzeit im Wesentlichen aus einer Entscheidungsgruppe, der alle vom Abbauvorhaben betroffenen Stellen gleichberechtigt angehören und weiteren Arbeitsgruppen, welche die erforderlichen Fachbeiträge zu bestimmten thematischen Arbeitsfeldern erbringen. Die Deutsche Steinkohle AG als Träger des Vorhabens wurde auf der Grundlage verschiedener Genehmigungsvorbehalte (§ 74 Abs. 3 Satz 1 VwVfG) in diesem Rahmen verpflichtet, die notwendigen Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten (z. B. Erstellung des jährlichen wasserwirtschaftlichen Berichtes mit Integration eines gewässerökologischen Berichtes (alle zwei Jahre) sowie dem sog. „Fachbeitrag Abbaueinwirkungen auf Natur und Landschaft“, ebenfalls alle zwei Jahre). Die erforderlichen Rechtsfolgen (z.B. Kompensationsmaßnahmen) werden als Nachtragsbeschlüsse zur Rahmenbetriebsplanzulassung angeordnet.

Der Fachbeitrag „Abbaueinwirkungen auf Natur und Landschaft“ stellt die naturräumlichen Sachverhalte dar und enthält folgende Inhalte:

- * Definition und Beschreibung des Ausgangszustandes des Fachbeitrags,
- * Prognose der Auswirkungen des Vorhabens auf Natur und Landschaft,
- * Darlegung geplanter wasserwirtschaftlicher und landschaftspflegerischer Vermeidungsmaßnahmen sowie deren zeitliche Abläufe,
- * Detaillierte Einschätzung der zu erwartenden landschaftsrechtlich und forstrechtlich relevanten Eingriffe und der erforderlichen Kompensationsmaßnahmen,
- * Hinweise auf Entwicklungen, die ggf. erst nach Ablauf des Hauptbetriebsplans wirksam werden könnten und eine Nachbetrachtung erfordern.

Die fortlaufende Bilanzierung der dynamischen Eingriffsregelung ist wesentlicher Bestandteil dieses Fachbeitrages. Der wasserwirtschaftliche Bericht ist jährlich zu erstellen und enthält folgende Punkte [Bezirksregierung Arnsberg, 2002a]:

- * Beschreibung des Verlaufs der abbaubedingten Auswirkungen, also der Senkungen, des Steinkohlenbergbaus im Einflussbereich des Vorhabens,
- * Ergebnisse der Überwachung des Grundwassers,
- * Ergebnisse der Überwachung der Oberflächengewässer,
- * Gewässerökologie (zweijährlich hinzuzufügen),
- * Wasserwirtschaftliche Maßnahmen.

Sämtliche Punkte werden im Sinne eines einjährigen Rückblicks und einer zweijährigen Vorausschau beschrieben. Beide Berichte stehen somit in direktem Zusammenhang mit dem Monitoring bergbaubedingter Umwelteinwirkungen. Aufgrund der dargestellten Rahmenbedingungen ergeben sich in diesem Fall für das Monitoring folgende Teilprogramme für den Vorhabensträger (Abb. 1):

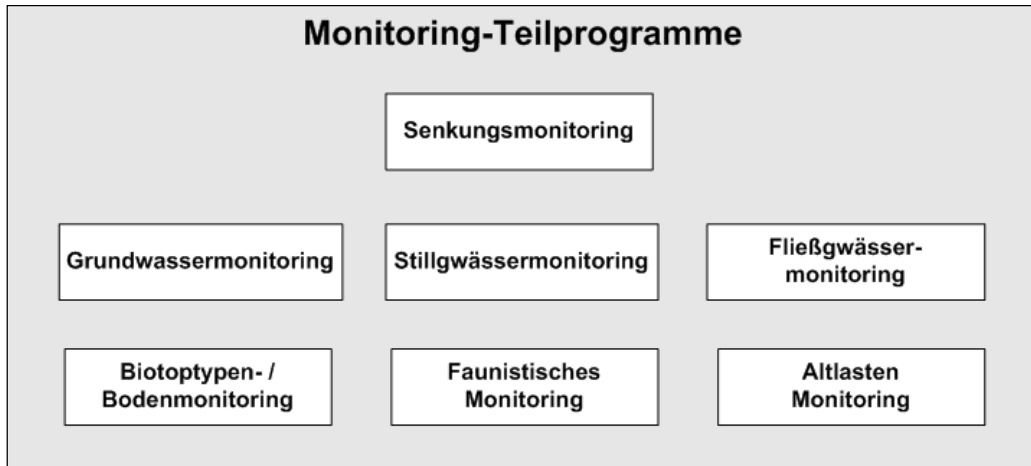


Abb. 1: Teilprogramme des Monitorings bergbaubedingter Umwelteinwirkungen

Innerhalb dieser Teilprogramme sind entsprechend dem hier definierten Verständnis des Monitorings die in Abb. 2 aufgeführten Bearbeitungsschritte durchzuführen.

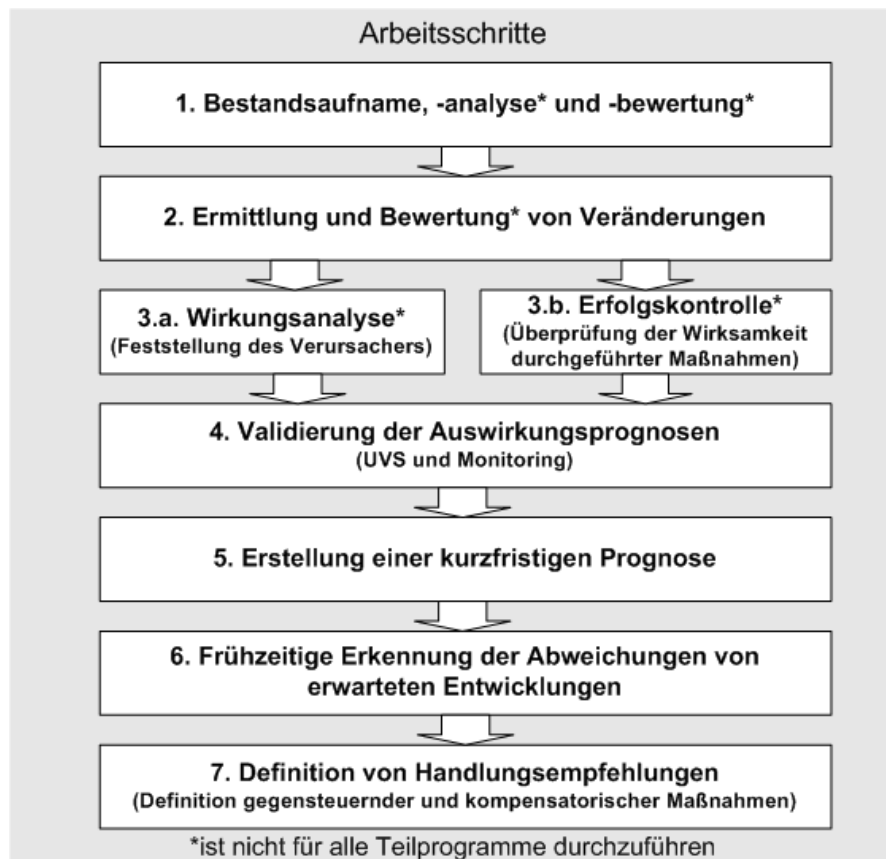


Abb. 2: Bearbeitungsschritte in den Monitoring-Teilprogrammen

2. Anforderungen an ein Fachinformationssystem Monitoring (FISMon)

Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung und der enormen Datenmengen kann das dargestellte Monitoring bergbaubedingter Umwelteinwirkungen nicht ohne EDV-Unterstützung durchgeführt werden. Der erfolgreiche Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) im Bergbau konnte in den letzten Jahren in verschiedenen Projekten nachgewiesen werden [Benecke, 2001; Vosen, 1997; Welz, 1999].

Die konkreten Anforderungen an das Fachinformationssystem Monitoring (FISMon) wurden in diesem Fall mit Hilfe einer objektorientierten Anforderungsanalyse ermittelt. Zunächst erfolgte die Beschreibung der Prozesse bei der Bearbeitung des Monitorings bergbaubedingter Umwelteinwirkungen aus Sicht der Fachgutachter, -experten, Bearbeiter und des Auftraggebers. Ein weiteres Ziel dieser Anforderungsanalyse war die Beschreibung der Phänomene und Prozesse der ideellen Modelle der Fachgutachter („externe Modelle“), um ein formalisiertes Modell zu erstellen (Abb. 3).

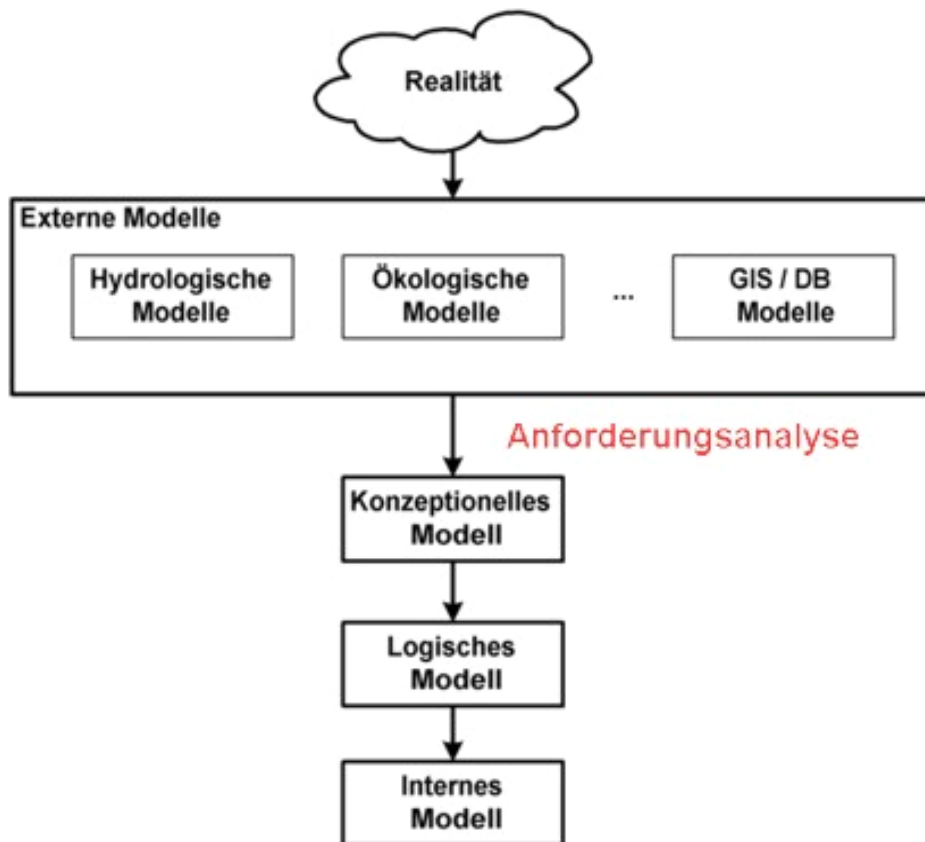


Abb. 3: Methodisches Vorgehen: Abbildung der Realität in Modellen

Hierzu wurden zahlreiche Interviews durchgeführt. Die strukturierte Ermittlung, Zusammenführung, Präsentation und Dokumentation erfolgte verbal und graphisch mit Hilfe von UML Use-Case-Diagrammen (Abb. 4). Diese bilden die Grundlage für die

Beschreibung des zu erstellenden FISMon und stellen damit die erste Abstraktionsstufe der Abbildung der Realität durch das Informationssystem dar.

Die wesentlichen Anforderungen ergeben sich aus der Speicherung der anfallenden Daten, sowie den räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Analysen der Objekte. Beispielhaft werden einige Fallgruppen im Rahmen einer Veränderungsanalyse im Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen genannt, die durch GIS-Analysen unterstützt werden:

- * Ermittlung und Bewertung von Veränderungen der bergbaulichen Einwirkungen und der Umwelt durch den Vergleich von eingetretenen Zuständen mit früheren eingetretenen Zuständen,
- * Frühzeitiges Erkennen der Abweichungen von erwarteten Entwicklungen durch
 - o Vergleich von Zustandsprognosen,
 - o Vergleich von Veränderungsprognosen,
 - o Vergleich von Zuständen mit Zustandsprognosen zukünftiger Zeitpunkte,
 - o Vergleich von Veränderungen mit Veränderungsprognosen zukünftiger Zeiträume,
- * Validierung von Prognosen durch
 - o Vergleich von Zuständen mit Zustandsprognosen derselben Zeitpunkte,
 - o Vergleich von Veränderungen mit Veränderungsprognosen desselben Zeitraumes.

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

- * Speicherung der erhobenen Daten und Analyseergebnisse und Zusammenführung über einen einheitlichen Raum- und Zeitbezug (Raumzeitliche Datenbank).
- * Unterstützung komplexer raumzeitlicher Analysen, wie z.B. bei der Durchführung von Veränderungsanalysen.
- * Präsentation der Ergebnisse als Grundlage der Berichtserstellung.

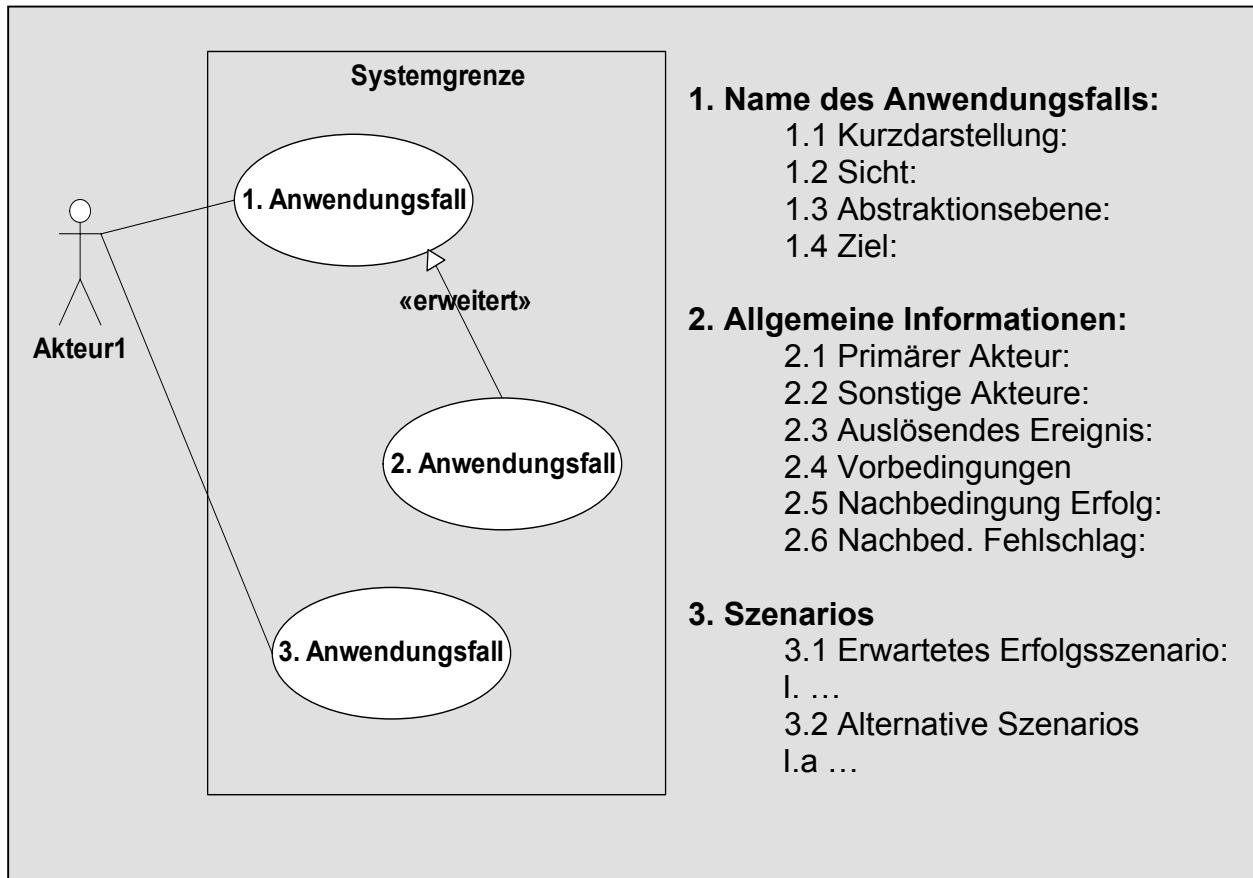


Abb. 4: Anforderungsanalyse: Use-Case-Diagramm, graphische und textliche Beschreibung

3. Integration der Zeit in das FISMon

Ein wesentlicher Aspekt bei der Unterstützung des Monitorings bergbaubedingter Umwelteinwirkungen ist die Integration der Zeit als zusätzliche Dimension in das FIS. Eine durchgängige und umfassende Integration temporaler Aspekte lässt sich in kommerziellen GIS der heutigen Generation jedoch nicht finden. Aus diesem Grund war die Entwicklung eines raumzeitlichen Konzeptes unter Berücksichtigung der systemspezifischen Möglichkeiten von ArcGIS sowie der ESRI Geodatabase notwendig. Einige bekannte Ansätze zur Integration der Zeit in Informationssysteme sollen deshalb im Folgenden kurz dargestellt werden.

Der Zeitaspekt kann sich auf die Weltzeit oder die Datenbankzeit beziehen. In bitemporalen Datenbanken beschreibt die Weltzeit 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. 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 oder Datenbankzeit zugeordnet sein. Die Integration temporaler Konzepte erfordert allerdings weit mehr, als die Implementierung temporaler Datentypen. Zusätzlich muss die Semantik der Datenbank- und Weltzeit dem Datenbanksystem bekannt gemacht werden. Zur Implementierung der Datenbankzeit wird das zugrunde liegende Datenmodell dahingehend erweitert, dass „alte“ Objektversionen nicht durch „neue“ Zustände überschrieben, sondern weiter vorgehalten werden und dem Nutzer weiterhin zur Verfügung stehen.

[Katz, 1990] stellt fest, dass für konstruktive Tätigkeiten wie z.B. im Bereich der Planung oder auch des Softwareengineerings, die dargestellten Konzepte temporaler Datenbanken zu kurz greifen. Daher muß dieses Konzept um Versionsmodelle mit Komponenten-Hierarchie und Versions-Historie ergänzt werden. Versionen sind weit mehr als Daten, die sich im Laufe der Zeit ändern und über Zeitstempel strukturiert werden können. Grundelement der Versionsmodelle ist das komplexe Objekt, das sich aus verschiedenen anderen komplexen und / oder simplen Objekten zusammensetzt (\Rightarrow Aggregation oder is-part-of-Beziehung). Am Beispiel des Monitorings könnte ein komplexes Objekt Monitoring (Abb. 5) definiert werden, das wiederum die komplexen Objekte Erdoberfläche, Grundwasser usw. aggregiert. Es besteht die Möglichkeit, sehr umfangreiche Hierarchien festzulegen (\Rightarrow Komponenten-Hierarchie). Eine Komponenten-Hierarchie berücksichtigt u. a., dass komplexe Aufgaben in immer kleinere Aufgaben unterteilt und zu verschiedenen Zeitpunkten bearbeitet werden können, letztendlich aber doch im Zusammenhang gesehen werden müssen.

Eine Version im Sinne der Versionsmodelle ist demnach eine Zustandsbeschreibung eines komplexen oder simplen Objektes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Der Zeitpunkt zur Erzeugung einer Version kann, anders als bei den temporalen Datenbanken, vom Anwender explizit gewählt werden. Eine Version wird über den Versionsnamen direkt angesprochen und es besteht die Möglichkeit, jeder Version einen Bearbeitungsstatus und entsprechende Zugriffsrechte zuzuordnen. Ein weiterer Grundgedanke der Versionsmodelle ist die Integration der Versions-Historie. Die Zeit wird hierbei über eine Versionsnummer oder über einen Zeitstempel berücksichtigt.

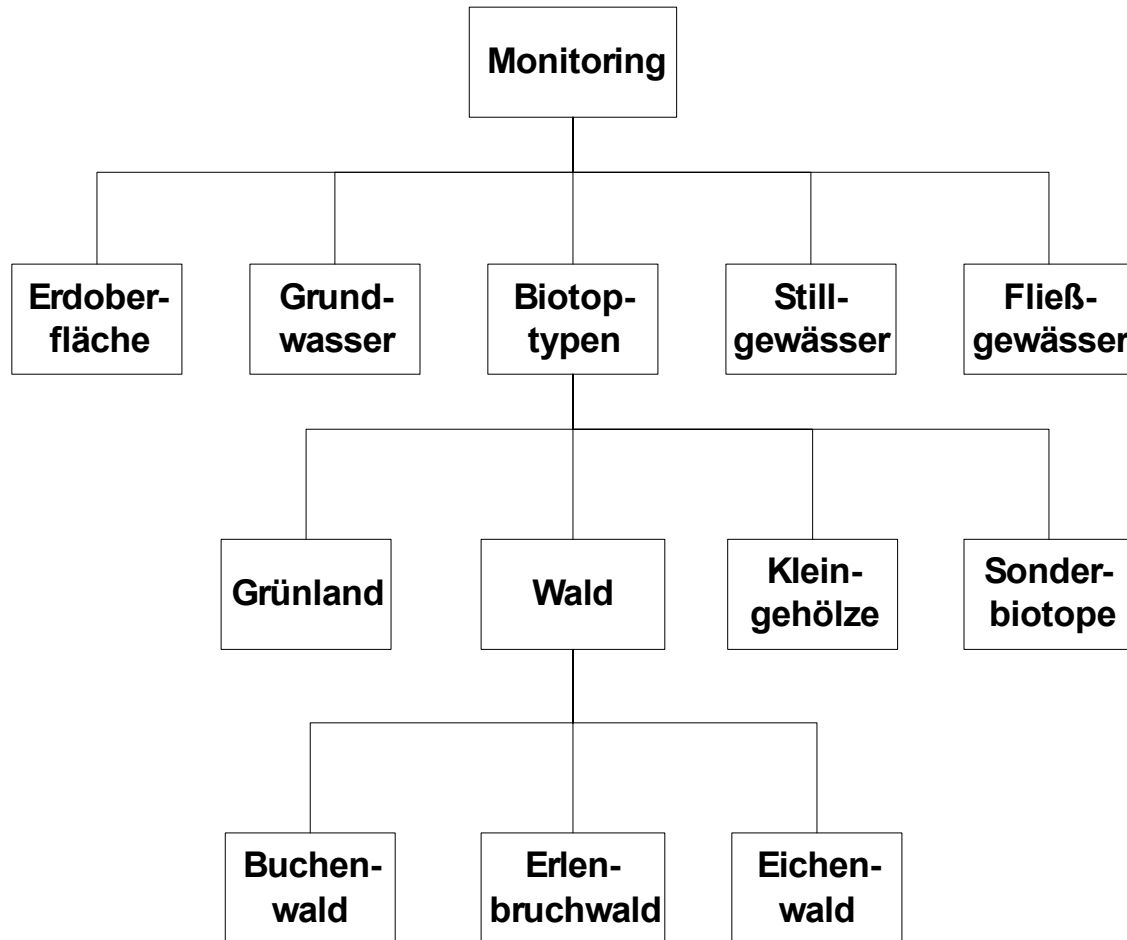


Abb. 5: Komponenten-Hierarchie eines komplexen Objektes

In der Abb. 6 existiert ein Ausgangszustand Ist_2001. Prog_2002, Prog_2003 und Ist_2002 haben jeweils als Vorgänger Ist_2001 und der Vorgänger ist dem Nachfolger bekannt. Zur Erzeugung eines Nachfolgers können Regeln definiert werden, z.B. ob der Versionszustand des Vorgängers an den Nachfolger vererbt werden soll (\Rightarrow Vererbung). Prog_2002 stellt in diesem Beispiel eine Prognose und somit eine Alternative zu Ist_2002 dar. Dies ist aus der Versions-Historie auch direkt herzuleiten, da diese beiden Versionen nicht auf der gleichen Verbindungslinie zum Ausgangszustand liegen.

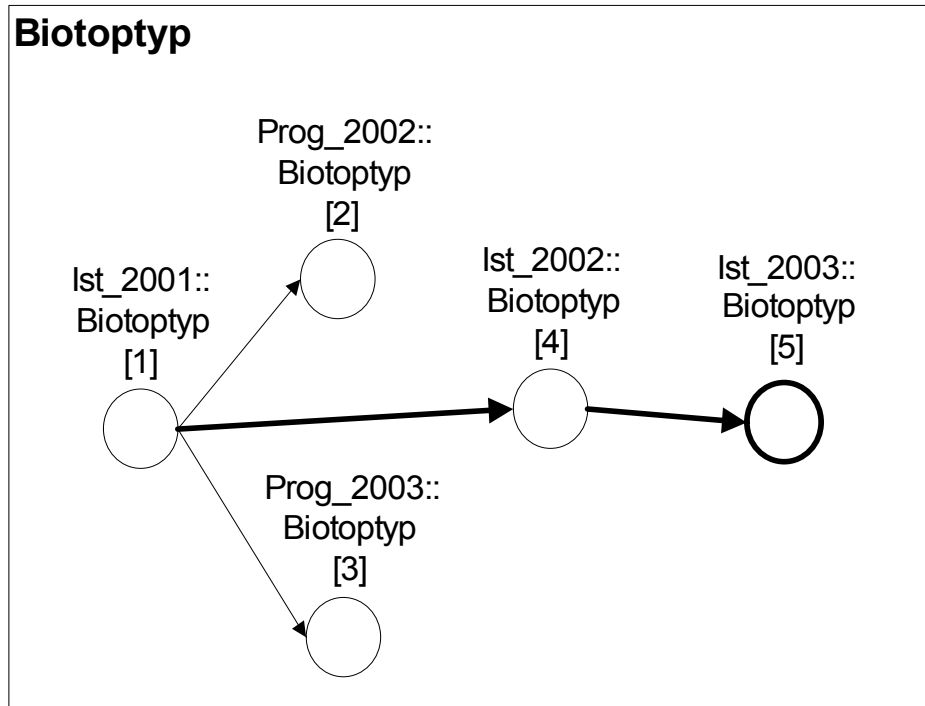


Abb. 6: Versions-Historie eines komplexen Objektes
(Versionsname:: Objektklasse [Versionsnummer])

Wird das Konzept der Komponenten-Hierarchie mit dem Konzept der Versions-Historie kombiniert, erhält man die so genannten Konfigurationen. Eine Konfiguration legt den Versionszustand eines komplexen Objektes auf der Grundlage bestimmter Versionen der aggregierten Komponenten fest. Hierbei sind die statische und dynamische Erzeugung dieser Konfigurationen zu unterscheiden. Bei der statischen Konfiguration werden die beteiligten Versionen der Komponenten explizit vom Nutzer festgelegt. Die dynamischen Konfigurationen werden im Gegensatz dazu jedes Mal neu berechnet, sobald sich eine Version einer Komponente ändert (z.B. kann jeweils die aktuellste Version einer Komponente in die Konfiguration übernommen werden). Das Versionsmanagement stellt u. a. sicher, dass:

- * Versionen erzeugt, redigiert und gelöscht werden können,
- * die Versionshistorie gespeichert wird und Regeln zur Vererbung eingehalten werden,
- * die Konfiguration erzeugt werden kann (statisch oder dynamisch).

Die Geodatabase von ESRI unterstützt bereits folgende Konzepte der temporalen Datenbanken und der Versionsmodelle:

- * die Datenbankzeit wird berücksichtigt und eingesetzt, um Datenmanipulationen zu dokumentieren. Zur Speicherung der Historie der Objektzustände werden Add- und Delete-Tabellen eingeführt. Die Zeit der Datenmanipulation (insert, update, delete) wird in der State-Tabelle gespeichert. Die Weltzeit wird nicht explizit berücksichtigt.

- * Es existiert nur ein komplexes Objekt - die Geodatabase an sich. Es ist nicht möglich, eigene komplexe Objekte im Sinne der Versionsmodellierung zu erstellen und zu verwalten.
- * Es existiert eine Komponenten-Hierarchie, diese ist allerdings statisch, nicht veränderbar und ergibt sich aus der Geodatabase als einzigem komplexen Objekt und sämtlichen Feature-Datasets, Feature-Classes und Object-Classes als simplen Objekten.
- * Versionen des komplexen Objektes können explizit erstellt und benannt werden. Das komplexe Objekt aggregiert automatisch alle in der Geodatabase vorhandenen simplen Objekte.
- * Zugriffsrechte können einer Version zugeordnet werden.
- * Wird eine neue Version erstellt, wird die Beziehung zur Vorgänger-Version gespeichert. Die neue Version erbt den aktuellsten Zustand der Vorgänger-Version. Somit werden die Konzepte Versions-Historie und Vererbung unterstützt.
- * Alternativen, wie sie in der Versionsmodellierung vorgesehen sind, können mit der Geodatabase realisiert werden (Abb. 7).
- * Versionen der simplen Objekte (Feature-Dataset, Feature-Class und Object-Class) werden einer Version des komplexen Objektes (Geodatabase) zugeordnet. Die Version des komplexen Objektes ergibt sich immer aus den aktuellen Zuständen der simplen Objekte, was der automatischen Erstellung einer dynamischen Konfiguration entspricht.

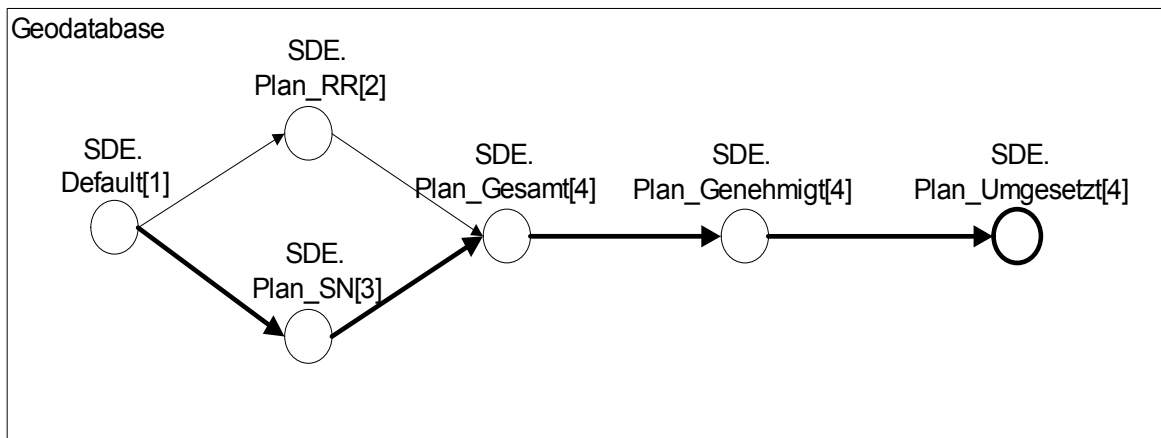


Abb. 7: Versions-Historie der ESRI-Geodatabase

Zur optimalen Unterstützung eines Monitorings bergbaubedingter Umwelteinwirkungen muss dieses Versionsmodell der Geodatabase erweitert werden. Komplexe und simple Objekte im Sinne der Versionsmodellierung werden um Attribute zur Beschreibung der Gültigkeit dieser Version in der Welt- und Datenbankzeit sowie zur Zuordnung einer konkreten Aufgabe erweitert. Es ist somit sichergestellt, dass eine Version nicht nur über den Namen, sondern auch über die Gültigkeitszeit und über eine Aufgabe selektiert werden kann. Die Komponenten-Hierarchie des Versionsmodells der Geodatabase wird dynamisch erzeugt. Jedes simple Objekt, das der Datenbank hinzugefügt wird, wird automatisch vom komplexen Objekt aggregiert. Im Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen kann es durchaus die Einschränkungen geben, dass bestimmte

simple Objekte innerhalb bestimmter Versionen der Geodatabase nicht verändert werden dürfen. Aus diesem Grund, wird eine explizite Erzeugung einer Komponenten-Hierarchie dem ESRI-Versionsmodell hinzugefügt.

Die Konfiguration wird dynamisch berechnet und weist einer Version der Geodatabase immer den aktuellsten Zustand der Versionen der simplen Objekte zu, die in dieser Version bearbeitet wurden (Abb. 8). Das ESRI-Versionsmodell wird so erweitert, dass die Zuweisung einer statischen Konfiguration möglich ist. D. h. einer Version der Geodatabase können explizit bestimmte Zustände der simplen Objekte zugeordnet werden, die auch durch weitere Bearbeitungen des Objektes nicht aufgehoben werden. Zur Vererbung eines Zustandes eines komplexen Objektes an den Nachfolger wird allerdings immer der letzte vorhandene Zustand weitergeben.

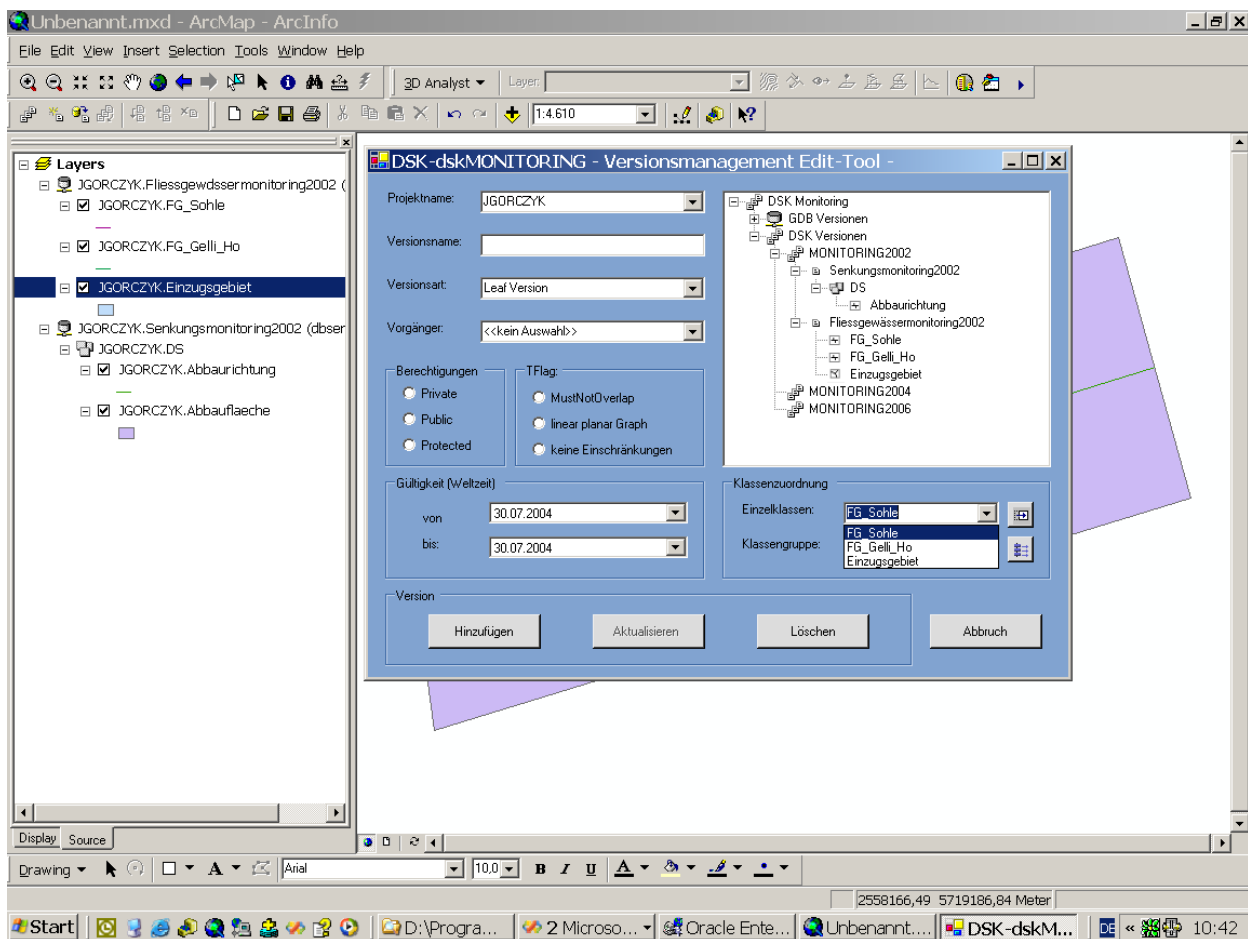


Abb. 8: Versionsverwaltung für die ESRI Geodatabase

4. Raumzeitliche Analysen

Die oben beschriebene Integration der Zeit als weitere Dimension in das GIS ermöglicht grundsätzlich die Durchführung räumlicher, thematischer, zeitlicher und raumzeitlicher Analysen. Zur Durchführung dieser Analysen wird die Funktionalität von ArcGIS um

neue fachspezifische Methoden mit integrierten Benutzeroberflächen erweitert (z.B. für raumzeitliche Selektionen, Objektverfolgung, Bearbeitung von Geländemodellen und Gewässernetzen). Raumzeitliche Analysen spielen speziell bei der Durchführung der Veränderungsanalyse im Rahmen des Monitorings bergbaulicher Umwelteinwirkungen eine große Rolle.

Eine Grundlage weiterführender Bewertungen und komplexerer Analysen sind selektive Abfragen über eine bestimmte räumliche und zeitliche Ausdehnung, wie z.B.: Selektiere alle Objekte innerhalb einer bestimmten Region zu einem bestimmten Zeitpunkt (Abb. 9).

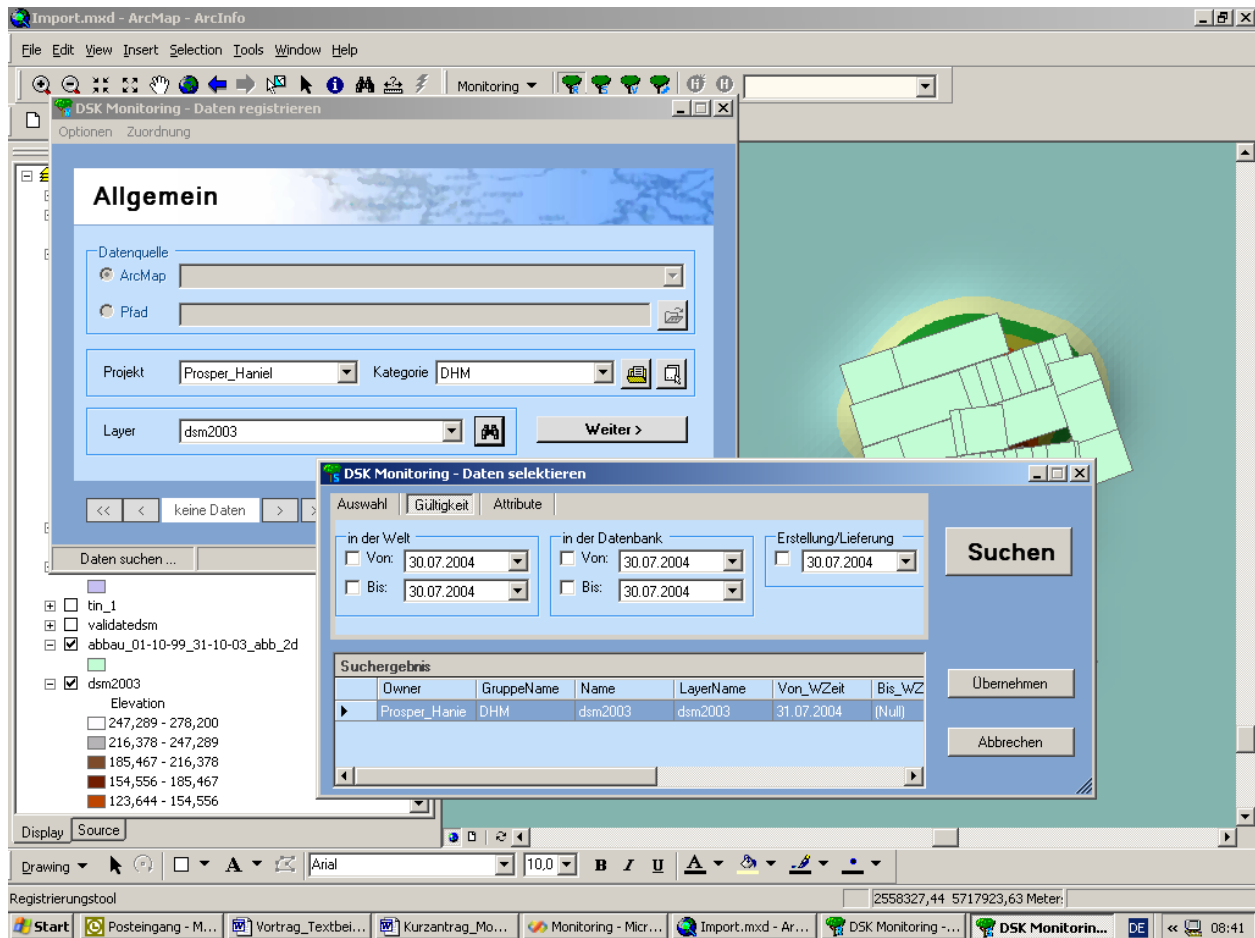


Abb. 9: Selektion von Objekten durch Zeitangaben

Die besonderen Vorteile des integrierten Zeitmodells zeigen sich bei der Durchführung von Veränderungsanalysen, die der Ermittlung von Veränderungen eines oder mehrerer Objekte in einem bestimmten Zeitraum dienen. Hierdurch kann die gesamte raumzeitliche Entwicklung dieser Objekte mit ihren Vorgängern und Nachfolgern präsentiert werden (Abb. 10).

Die Interpolation sowohl räumlicher als auch thematischer Eigenschaften zwischen zwei Erfassungszeitpunkten ist im Monitoring bergbaubedingter Umwelteinwirkungen zur Zeit

nicht von Interesse. Die Zustände der Objekte zwischen den Erfassungszeitpunkten werden verabredungsgemäß als zustandsstabil modelliert.

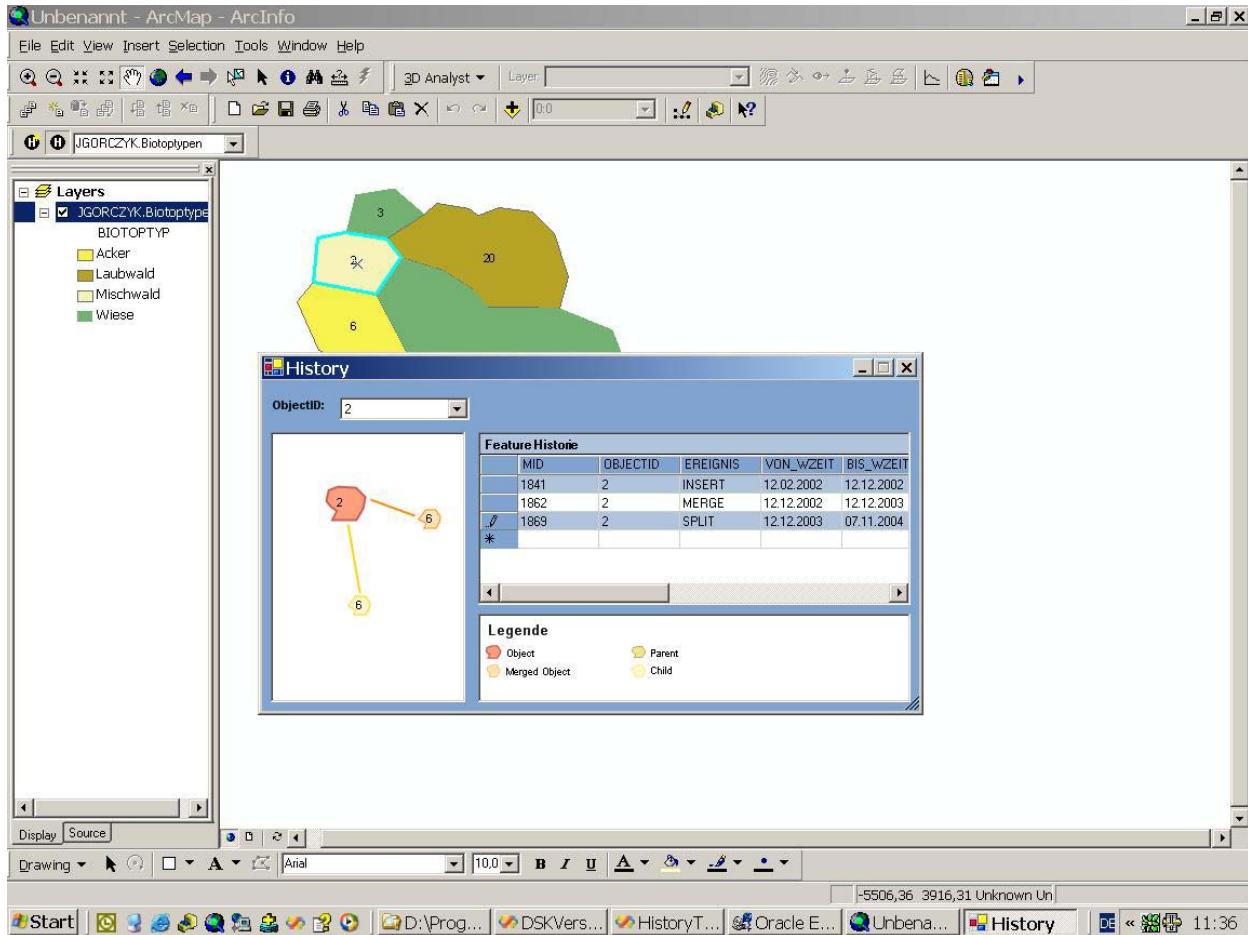


Abb. 10: Ergebnis einer Veränderungsanalyse

Durch Erweiterung der 3D-Analyse-Funktionalität von ArcGIS kann das Monitoring der Gelände- und Gewässermorphologie und damit die Überwachung des Senkungsgeschehens unterstützt werden. Die Erweiterungen ermöglichen z.B. die Modifikation von Höhenmodellen oder des 3D-Gewässernetzes durch Verschneidung mit prognostizierten oder nachberechneten Senkungsoberflächen (Abb. 11) oder die Validierung berechneter Geländemodelle mit empirischen Messwerten.

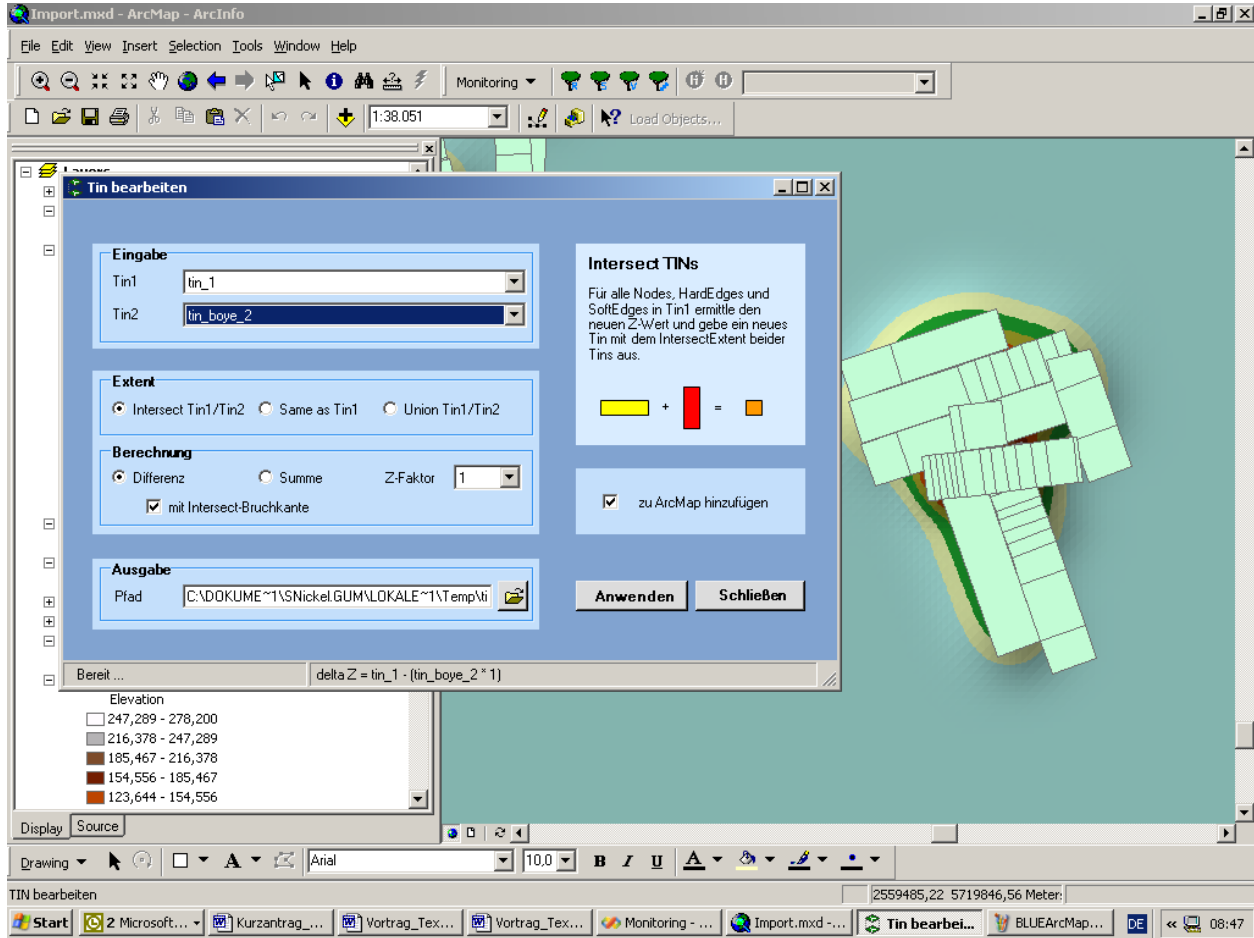


Abb. 11: Verschneidung zweier TINs (ESRI-Datenformat zur Speicherung dreidimensionaler Oberflächen) zur Absenkung eines Höhenmodells

5. Anforderungen an ein Auswertesystem fernerkundlicher Daten (AFeMon)

Eine Auswertung von Fernerkundungsdaten ermöglicht die Generierung von Basisdaten, die im Rahmen des Monitorings genutzt werden können. Gleichzeitig erlauben weiterführende Analysen dieser Basisdaten eine Erfassung auftretender Vitalitätsveränderungen auf ausgewählten Standorten sowie eine Veränderung von Flächengeometrien ausgewählter Landnutzungs- und Landbedeckungsklassen.

Der praktische Einsatz von Fernerkundungsdaten entspricht allerdings derzeit oftmals nicht den potenziellen Möglichkeiten, die eine Auswertung dieser Daten bietet. Dies liegt einerseits an der gerade für ein Monitoring notwendigen oftmals noch eingeschränkten Zuverlässigkeit der Datenbereitstellung und andererseits an der notwendigen komplexen und damit zeit- und personalintensiven Auswertung der Daten. Um das zunehmende Angebot an Fernerkundungsdaten wirtschaftlich und flexibel nutzen zu können, ist es daher notwendig, möglichst teil-automatisierte und robuste Verfahren zur Bildauswertung zu entwickeln, die es erlauben, die für das Monitoring notwendigen Geoinformationen ableiten zu können.

In Ergänzung zu dem unter Punkt 2 beschriebenen Vorgehen wurde ebenfalls im Rahmen von Interviews untersucht, welche Anforderungen seitens der am Monitoring Beteiligten an eine Auswertung unterschiedlicher fernerkundlicher Daten existieren. Aufgrund der oftmals divergierenden Vorstellungen wurden in enger Absprache mit der DSK und unter Berücksichtigung der erreichten Ergebnisse von aktuell bei der DSK durchgeführten Forschungsprojekten [Benecke 2000], [Vosen 2002], folgende Fragestellungen bearbeitet:

- * Entwicklung von Verfahren zur Erfassung auftretender Vitalitätsveränderungen ausgewählter Biotope und forstlicher Standorte innerhalb und außerhalb bekannter und prognostizierter Auswirkungsbereiche durch Auswertung hyperspektraler Bilddaten des flugzeuggetragenen Sensors HyMap™.
- * Erfassung auftretender Biotopveränderungen im Untersuchungsgebiet durch die Auswertung geometrisch hochauflösender Satellitenbilddaten des Sensors IKONOS. Dieser Ansatz erfolgt auch zur Unterstützung der Fachgutachter hinsichtlich deren Kartierungen durch Bereitstellung von aktuellen Daten zur geometrischen Situation im Untersuchungsgebiet und zur zielgerichteten Kontrolle ausgewählter Flächen, für die durch Auswertungen der Bilddaten Veränderungen hinsichtlich der Flächengeometrien zu erwarten sind.

Beide Sensoren ermöglichen die großflächige Dokumentation aktueller Zustände und erlauben durch multitemporale Auswertungen auftretende Veränderungen zu erkennen. Die Daten unterstützen daher ein dauerhaftes Umweltmonitoring. Auf Basis der Bilddaten können topographische Strichkarten oder thematische Rasterkarten in einem jeweiligen Planungskartenmaßstab von 1: 15.000 bis zu größer 1:10.000 hergestellt werden. Die Auswertungen fernerkundlicher Daten bilden damit eine inhaltliche Ergänzung zu vorhandenen Beobachtungskonzepten und Erfassungsmethoden und unterstützen deren Optimierung. Zukünftige Auswertungen erfolgen daher mit dem Ziel, bekannte Verfahren der Biotoptypen- und Flächennutzungskartierungen zu ergänzen und diese zu verifizieren, um ein nach objektiven und reproduzierbaren Regeln aufbauenden Datenbestand im Rahmen des Monitorings aufbauen zu können.

Die entwickelten Verfahren und Routinen zur Bildbearbeitung und -auswertung sind in die Bildverarbeitungssoftware ENVI integriert. Als Standard für den Austausch von Vektordaten zwischen ArcGIS und ENVI wurde das Shape-Format gewählt und eine Schnittstelle entwickelt, die zukünftig eine problemlose Datenkonvertierung erlauben wird. Dies wird zukünftig eine Nutzung vorhandener Daten bei der Bildauswertung und eine Nutzung der Ergebnisse im Rahmen GIS-gestützter Analysen sowie eine Integration der Daten in die Datenbestände des FISMon ermöglichen. Unterschiedliche Rasterdatenformate können bereits jetzt standardmäßig direkt und ohne Umwege über Austauschformate mit Hilfe der ArcToolbox in das Geodatabase Format integriert werden.

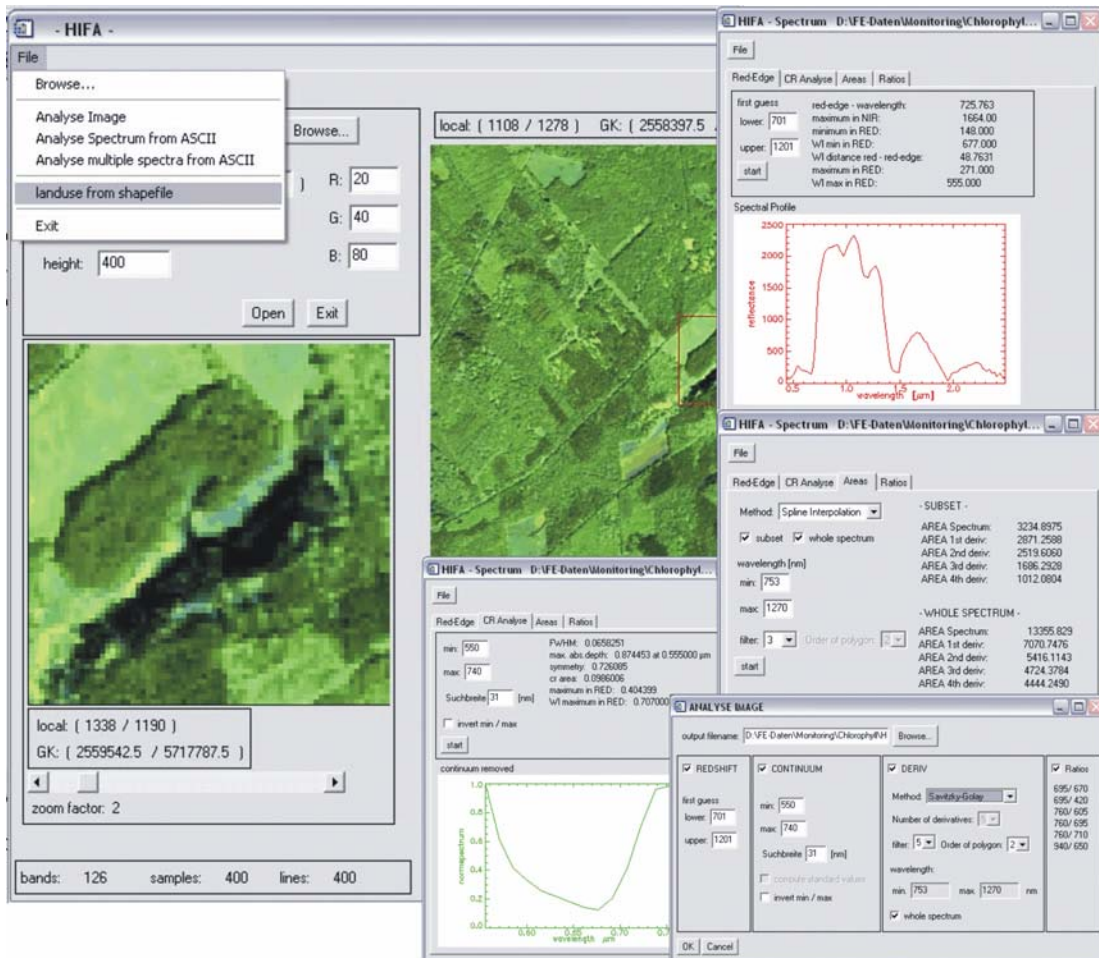


Abb 12: Auswertung hyperspektraler Bilddaten durch Nutzung entwickelter Tools

6. Zusammenfassung

Die Zulassungen der Rahmenbetriebspläne enthalten verstärkt Nebenbestimmungen zum Monitoring des bergbaulichen Einflusses auf die Umwelt. Dieses Monitoring erfordert seitens der DSK den Aufbau komplexer, zeitvarianter Datenbestände und die Entwicklung fachspezifischer Analyse- und Visualisierungsmethoden. Diese Methoden werden in der Öffentlichkeit (Fachbehörden, Bürger) nur dann akzeptiert, wenn sie mit einheitlichen und nachvollziehbaren Regeln durchgeführt werden. Daher ist die Durchführung des Monitorings ohne EDV-technische Unterstützung nicht möglich. Diese Unterstützung wird durch das entwickelte FISMon auf Basis von ArcGIS und Oracle gewährleistet. In Ergänzung dazu erfolgen die Entwicklungen von Konzepten und deren verfahrenstechnische Umsetzung zur Bereitstellung anwendungsbezogener Auswerteverfahren von Fernerkundungsdaten. Durch die Integration der Monitoring-Datenbasis in den zentralen Geodatenpool der DSK stehen stets aktualisierte, z.T. flächendeckende und bildgebende Daten für weitere Anwendungen zur Verfügung. Erste Teilbereiche des FISMon und des AFeMon werden bereits 2004 bei der DSK in

die Monitoringbearbeitung integriert, die gesamte Entwicklung soll 2006 abgeschlossen werden.

Quellenverzeichnis

- [Benecke 2000] Benecke, N.; Musiedlak, J.; Fischer, Chr.; Spreckels, V.: Nutzung von hochauflösenden Satellitendaten zur großräumigen Überwachung der Umweltauswirkungen bergbaulicher Tätigkeiten im Ruhrgebiet. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Steinkohle AG, gefördert durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (FKZ 50 EE 9652).
- [Benecke, 2001] Benecke, N.: Einsatz von Geoinformationssystemen in Bergbauunternehmen. In: Deutscher Markscheider-Verein (Hrsg.): Das Markscheidewesen in der Rohstoff-, Energie- und Entsorgungswirtschaft, „Markscheidewesen, quo vadis?“. 43. Wissenschaftliche Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins e.V., 26.-29. September 2001, Trier. Wissenschaftliche Schriftenreihe im Markscheidewesen, Heft 20, S. 418 - 423
- [Bezirksregierung Arnsberg, 2002a] Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8 Bergbau und Energie in NRW: Planfeststellungsbeschluss für den Rahmenbetriebsplan mit Umweltverträglichkeitsprüfung zur Gewinnung von Steinkohle im Bergwerk Walsum für den Zeitraum 2002 bis 2019 der Firma Deutsche Steinkohle AG. Arnsberg, 2002
- [Bezirksregierung Arnsberg, 2002b] Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8 Bergbau und Energie in NRW: Monitoringkonzept zur Erfassung der bergbaulichen Einwirkungen im Bereich Kirchheller Heide / Hünxer Wald für den Zeitraum bis 2019. Arnsberg, 2002
- [Hansel, 2000] Hansel, G.: Die Umweltverträglichkeitsprüfung im westdeutschen Steinkohlenbergbau. Deutscher Markscheider Verein e. V., Bochum, 2000
- [Maas, 1999] Maas, D.: Umweltmonitoring – Biomonitoring: Begriffsdefinitionen. In: Blaschke, T.: Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999
- [Vosen, 1997] Vosen, P.: Methodisch-konzeptionelles Vorgehen zur GIS-gestützten Bearbeitung von Umweltverträglichkeitsstudien (UVS) im Steinkohlenbergbau. In: DMV (Hrsg.): Das Markscheidewesen in der Rohstoff-, Energie- und Entsorgungswirtschaft. "Neue Technologien und Aufgaben in den Geowissenschaften". 41. Wissenschaftliche Tagung des DMV 10.-13.9.1997. Wissenschaftliche Schriftenreihe im Markscheidewesen Heft 17, Aachen 1998, S. 95 – 104
- [Vosen 2002] Vosen, P.; Dittmann, C.; Brunn, A.; e.a.: MINEO (central Europe) environmental test site in Germany Contamination/impact mapping and modelling – Final Report. August 2002. Project funded by the

- [Welz, 1999] European Community under the „Information Society Technology“ Programme, IST-1999-10337
GIS bei den Bergbehörden des Landes Nordrhein-Westfalen. In: GIS - Zeitschrift für raumbezogene Informationen und Entscheidungen, H. 1, S. 26 – 30, 1999