

Flächendatenbank für die hydrogeologische Karte von Bayern:

Konzept, Fachdatenmodell, Realisierung

Timo Spörlein¹, Bernhard Wagner¹, Birte Schäfer¹, Christian Strobl¹, Christian Mikulla², Andreas Barth³, Manja Sieste³

¹ Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 28, 80797 München, Email: timo.spoerlein@gla.bayern.de

² Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Rosenkavalierplatz 2 81925 München

³ Beak Consultants GmbH, Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg

Am Bayerischen Geologischen Landesamt wurde in Zusammenarbeit mit der Firma BEAK Consultants GmbH ein Fachdatenmodell zur Ablage hydrogeologischer Kartendaten in einer Flächendatenbank entwickelt. Die Umsetzung erfolgte zunächst prototypisch auf Basis einer ArcGIS 8.2-Extension unter Verwendung der Geodatabase als Datenbank für die Verwaltung der relational verknüpften Geometriedaten. Die Verwaltung der Schlüssellisten einschließlich der hydro-geologischen Generallegende erfolgt in einer externen MS Access Datenbank.

Die Tragfähigkeit des Fachdatenmodells, insbesondere im Hinblick auf die Konsistenz der Datenstrukturen, und damit die objektübergreifende Recherchierbarkeit der Flächendaten konnte mit der Anwendung nachgewiesen werden. Das Datenmodell soll nun auf das Bodeninformationssystem Bayern übertragen werden.

1 Einleitung

Aufgrund eines Landtagsbeschlusses wurde durch das Bayerische Geologische Landesamt (BayGLA) die hydrogeologische Landesaufnahme in jüngerer Zeit deutlich intensiviert. In verschiedenen Projekten werden derzeit bis Ende 2006 insgesamt 47 Kartenblätter hydrogeologischer Karten im Maßstab 1: 50.000 bearbeitet. Einschließlich der bereits vorliegenden Karten entspricht dies etwa 40 % der Landesfläche. Bis zum Jahr 2015 soll die hydrogeologische Landesaufnahme Bayerns flächendeckend abgeschlossen werden. Die hierdurch in den nächsten Jahren anfallenden großen Mengen an Flächendaten müssen in geeigneter Weise bearbeitet, verwaltet und den Nutzern zugänglich gemacht werden. Hierfür bietet sich der Aufbau einer Flächendatenbank an.

2 Anforderungen

Die Bearbeitung der Hydrogeologischen Karten 1:50.000 (HK50) erfolgt durch die Sachbearbeiter digital mittels GIS im Rahmen von Einzelplatzanwendungen. Die einzelnen Informationsebenen der Karten sollen nach ihrer Fertigstellung in das Bodeninformationssystem (BIS) Bayern übernommen werden. Die Anforderungen an ein modernes, nicht ausschließlich auf die

Karte als Darstellungsmedium fixiertes Informations- und Auskunftssystem sind umfangreich:

- Strukturierte Ablage der Flächen- und Liniendaten mit den dazugehörigen Eigenschaften als Grundlage für Datenabgabe und kartographische Aufbereitung
- Flächendeckende Konsistenz der Datenstrukturen
- Blattschnittfreiheit und projektübergreifende Recherchierbarkeit
- Abbildung der Zusammenhänge von Gestein und Grundwasser mit ihren komplexen Beziehungen sowie des 3-dimensionalen Charakters hydrogeologischer Sachverhalte
- Bereitstellung von Schnittstellen für die Weiterverarbeitung

Die unterschiedlichen Informationsebenen sollen sowohl als Ausdruck als auch digital ausgegeben werden können. Diese Konzeption trägt der Tatsache Rechnung, dass die digitale Abgabe hydrogeologischer Daten, z.B. für die Übernahme in numerische Grundwassermodelle, immer mehr in den Vordergrund rückt.

Gleichzeitig sollen die Sachbearbeiter durch die Bereitstellung geeigneter Werkzeuge bei der Erstellung konsistenter Flächendaten unterstützt

werden. Diese ergänzen die üblichen GIS-Funktionalitäten und ermöglichen z.B. den Import geologischer Eingangsdaten, die Flächenattributierung mit Einheiten einer hydrogeologischen Generallegende, Erstellung von Relationen, Recherchen, usw. und stellen Funktionen zur Integritäts- und Plausibilitätsprüfung mit einer zentralen Schlüssellistenverwaltung bereit. Die Projektdaten werden während der Bearbeitungsphase außerhalb des BIS bearbeitet und sollen nach Beendigung der fachlichen Bearbeitung mit möglichst geringem Aufwand in das BIS Bayern importiert werden.

3 Fachliche Beschreibung des Datenmodells

Am BayGLA wurden zusammen mit der Fa. BEAK als externem Partner im Rahmen einer Grundlagenstudie Arbeitsabläufe und Produkte der hydrogeologischen Kartierung analysiert und ein Datenmodell zur Abbildung der relationalen Zusammenhänge der unterschiedlichen Informationsebenen der hydrogeologischen Karte erarbeitet (BEAK CONSULTANTS GMBH 2002).

Die Arbeiten stützten sich auf die Konzepte in AG FIS HYDROGEOLOGIE DER GEOLOGISCHEN LÄNDESÄMTER (1997) sowie den Vorgaben in AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997). Ferner wurden die Ansätze in SCHLIMM (1996) und RICHTER et al. (2001) berücksichtigt.

Die Umsetzung des Datenmodells erfolgte in mehreren Stufen: Zunächst wurde eine prototypische Version zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Konzepts unter Nutzung von Standard-Software (MS Access, ArcGIS 8.2) entwickelt (Abbildung 1). Diese wurde dann bis zu einer

produktionsfähigen Version als Einzelplatzanwendung ausgebaut, die dem Sachbearbeiter die für seine Arbeit notwendigen Werkzeuge bietet (BEAK CONSULTANTS GMBH 2003).

Das Gesamtsystem besteht aus den folgenden Applikationen:

Datenbankanwendung „Schlüssellistenverwaltung und Generallegende Hydrogeologie“.

Die Datenbankanwendung (MS Access 2000) „Schlüssellistenverwaltung und Generallegende Hydrogeologie“ enthält die folgenden integralen Komponenten:

- Access-Datenbank zur Verwaltung der Daten (Daten-.mdb)
- Access-Datenbank mit Applikationslogik (Frontend-.mdb)

Beide Komponenten sind miteinander verlinkt. Mit Hilfe der Datenbankanwendung können Schlüssellistentabellen und die Generallegende Hydrogeologie durch das BayGLA zentral administriert werden.

Applikation ArcGIS 8.2-Extension „Flächendatenbank Hydrogeologie“

Die Applikation für hydrogeologische Flächendaten wird als Extension in ArcGIS 8.2 geladen und erweitert dessen Funktionalität um spezielle, für die Attributierung und Verknüpfung der Flächendaten notwendige Funktionen. Sie nutzt über ADO (Advanced Data Objects) die Schlüssellisten der Datenbankanwendung „Schlüssellistenverwaltung und Generallegende Hydrogeologie“.

4 Beschreibung der wichtigsten Objektarten

Die im Fachdatenmodell Hydrogeologie abzubildenden Objektarten ergeben sich aus den fachlichen hydrogeologischen Zusammenhängen, den Anforderungen der zukünftigen Nutzer an die im Informationssystem enthaltenen Daten und deren Recherchefähigkeit sowie die in den konkreten Karten abzubildenden Sachverhalte.

Die Schaffung eines nicht ausschließlich auf die Karte als Darstellungsmedium fixierten Informations- und Auskunftssystems erfordert die Berücksichtigung des 3D-Charakters der wesentlichen geologischen und hydro-geologischen Sachverhalte. Das Ziel der Schaffung eines redundanzfreien relationalen Datenmodells, welches geeignet ist, die hydrogeologischen Sachverhalte als Grundlage für die Erstellung der

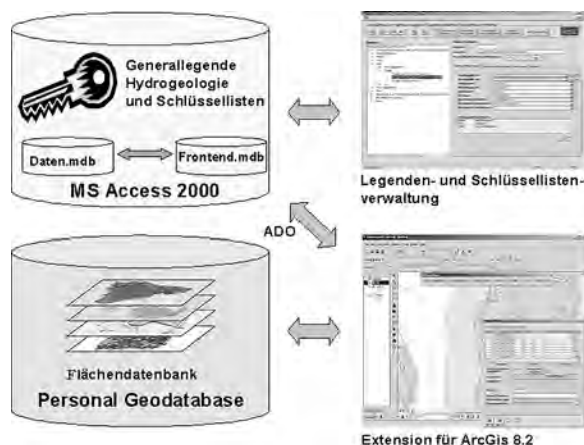


Abb. 1: Systemarchitektur der Einzelplatzanwendung der Flächendatenbank für die hydrogeologische Karte von Bayern.

Fachdatenbank abzubilden, setzt die entsprechende Abstraktion der zu speichernden Informationen bis auf das für die Datenmodellierung notwendige Niveau voraus.

Dementsprechend ist die allgemeinste im Datenmodell darzustellende Einheit das 3D-Geoobjekt (gleichzusetzen mit dem Begriff des Geoobjektes in der 2D-Welt). Dieses wird definiert als Körper mit einer Gruppe gleicher Eigenschaften. Wesentlichstes Merkmal ist dessen (auch nur theoretische) räumliche Abgrenzbarkeit gegenüber Nachbarkörpern. 3D-Geoobjekte können sich überlagern und auch durchdringen, ähnlich den verschiedenen auf thematischen Karten dargestellten Sachverhalten.

Im Fachdatenmodell Hydrogeologie erfolgt eine grundsätzliche Trennung zwischen Gesteinskörper und Grundwasserkörper. Die Gesteinskörper geben dabei den Rahmen für die Grundwasserkörper vor. Diese beiden Entitäten bilden die wesentlichen räumlichen Sachverhalte, deren räumliche Abgrenzung und Eigenschaften in der hydrogeologischen Kartierung ermittelt und dargestellt werden. Die Beziehungen im Modell müssen die fachlichen Zusammenhänge zwischen „Gestein“ und „Grundwasser“ abbilden und recherchierbar machen.

Der Kern des Fachdatenmodells bildet sich aus folgenden fachlichen Beziehungen (Abbildung 2):

- Jeder Gesteinskörper einer hydrogeologischen Einheit verfügt über n Flächenausbisse (i.e. Darstellung des Gesteinskörpers als Fläche in einer festgelegten Projektionsebene; z.B. oberer Grundwasserleiter), wobei auch Einheiten ohne Ausbissflächen abbildbar sein müssen.
- Der Grundwasser-Leiterkomplex ist die Schnittmenge zwischen Gesteinskörper und Grundwasserkörper.
- Ein oder mehrere hydraulisch in Verbindung stehende Gesteinskörper bilden einen Grundwasserleiterkomplex, wobei jeder Leiterkomplex einen Grundwasserkörper oder n Teile eines solchen (z.B. bei hydraulischen Fenstern) beinhaltet.
- Jedem Grundwasserkörper können wiederum in der Zeit unterschiedliche Grundwasserstände zugeordnet werden.

Die weiteren Objektarten wie z.B. hydrogeologische Punktinformationen oder Gleichpläne sowie zusätzliche Attribute wie z.B. chemische und physikalische Eigenschaften der Grundwasserkörper oder der Gesteinskörper können problemlos an das Datenmodell angekoppelt werden bzw. sind als separate Datenmodelle abbildbar. Im Folgenden werden die wichtigsten Objektarten der Flächendatenbank beschrieben.

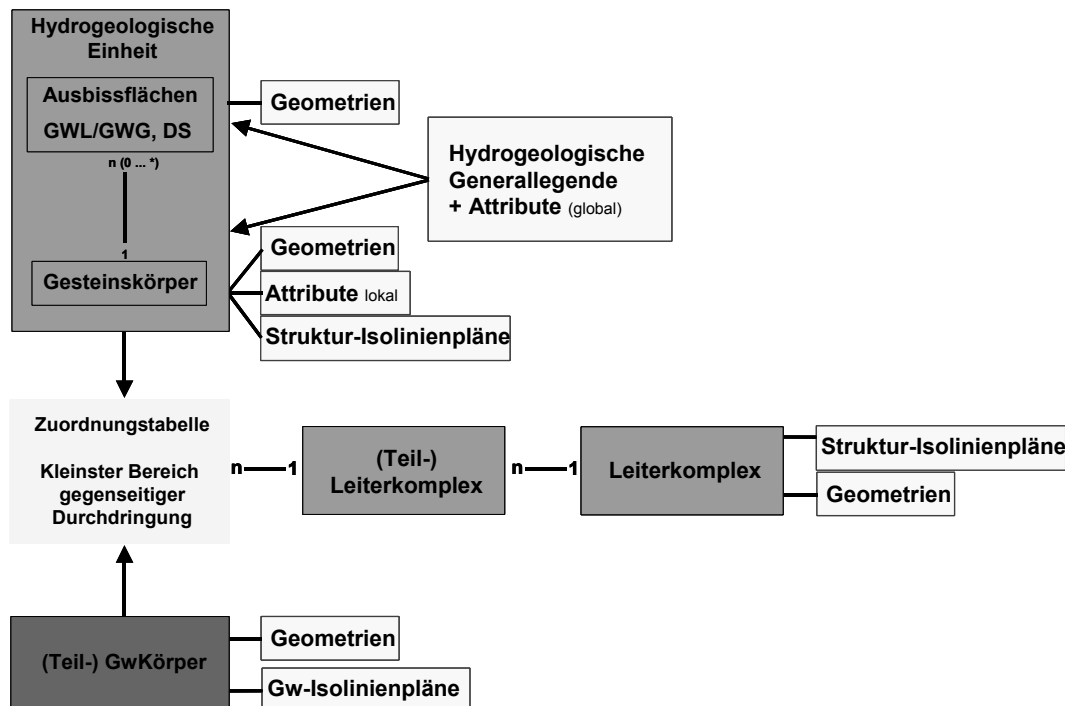


Abb. 2: Schematisches Datenmodell mit den wichtigsten Objektarten.

4.1 Hydrogeologische Einheit

Die hydrogeologische Einheit (HGE) bezeichnet einen Gesteinskörper, der aufgrund seiner Petrografie, Textur oder Struktur im Rahmen einer festgelegten Bandbreite einheitliche hydrogeologische Eigenschaften aufweist und durch Schichtgrenzen, Faziesgrenzen, Erosionsränder oder Störungen begrenzt ist. Die Bandbreite, innerhalb der ein Gesteinskörper als homogen betrachtet wird, ist in starkem Maße vom Bearbeitungs- und Darstellungsmaßstab abhängig. Eine hydrogeologische Einheit kann bei Lockergesteinen aus einem einzelnen oder einem Komplex von mehreren Sedimentationskörpern bestehen, bei Festgesteinen aus einer einzelnen Schicht oder einer Abfolge von Schichten ähnlicher Gesteinsausbildung und ähnlichen Durchtrennungsgrades (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 1997).

Das Ziel eines landesweit recherchierbaren hydrogeologischen Kartenwerks in einer Flächendatenbank erfordert die Erstellung einer Generallegende für den jeweiligen Kartiermaßstab.

Die Generallegende abstrahiert die realen Eigenschaften geologischer Körper auf das für die jeweilige hydrogeologische Aufgabenstellung erforderliche Maß. Die Legendeneinheiten werden zur einheitlichen Attributierung aller in den Karten ausgehaltenen hydro-geologischen Einheiten verwendet und enthalten als so genannte globale Attribute die wesentlichen geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften der Einheiten wie Stratigraphie, Petrographie, Gesteinsart, Hohlraumart, Verfestigung, GwCharakter, hydrogeochemischer Gesteinstyp, kf-Wertebereich.

Eine solche Legende wurde bereits für die abgeschlossene Kartierung des oberen Grundwasserleiters zur HÜK200 erstellt (BÜTTNER et al. 2003). Für das Kartenwerk HK50 liegt ein Entwurf vor, der erst nach Beendigung der flächendeckenden Kartierung von Bayern im Maßstab 1:50.000 fertiggestellt werden kann.

Der Begriff der hydrogeologischen Einheit existiert zunächst abstrakt ohne konkrete räumliche Zuordnung als „Legendeneinheit“. Der räumliche Bezug wird in einem zweistufigen Verfahren durch Zuordnung der hydrogeologischen Legendeneinheit zu mindestens einem dreidimensionalen Körper, welcher seinerseits über Ausstrichflächen an der Erdoberfläche verfügen kann (aber nicht muss), hergestellt. Demzufolge besteht jede abstrakte hydrogeologische Einheit im Sinn

des Legendenbegriffs aus n realen Körpern und jeder reale Körper kann m Ausstrichflächen haben.

Dieses Verfahren ist von entscheidender Bedeutung für die Zuordnung konkreter hydrogeologischer Eigenschaften zu Ausstrichflächen und Körpern über die Attributierung mit den Generallegendeneinheiten sowie der Zuweisung von 3D-Eigenschaften (z.B. Isolinienpläne der Ober- und Unterkanten) zu Körpern und letztendlich zur Herstellung der Recherchefähigkeit.

Die räumliche Ausdehnung des Gesteinskörpers wird zum einen über die Verbreitungsflächen im Grundriss sowie durch die flächigen Verteilungen von Ober- und Untergrenzen (mit Isolinien, Belegpunkten und Unstetigkeitsflächen) abgegrenzt.

Über die globalen Attribute der Legendeneinheiten hinaus können auf der Ebene der Gesteinskörper lokale Eigenschaften vergeben werden. Dies betrifft die Attribute Stratigraphie und Petrographie und die quantitativen Eigenschaften der Legendeneinheiten (statistische Parameter z.B. zur Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit oder hydrogeochemischer Parameter). Hier können durch Vergabe lokaler Attribute die globalen Eigenschaften eingegrenzt werden.

Auf der Ebene der Ausstrichflächen hydrogeologischer Einheiten werden die Informationen zum Deckschichtcharakter und die hydrogeologische Klassifikation vergeben. Letztere beinhaltet Angaben zur Transmissivität bzw. zum Verwitterungsgrad der Gesteine und kann damit innerhalb der hydrogeologischen Einheit variieren.

Ein Sonderfall der hydrogeologischen Einheit sind die Deckschichten. Als Deckschicht wird eine oberflächennahe hydrogeologische Einheit oberhalb des ersten zusammenhängenden Grundwasserleiters verstanden, die in ihrer Gesamtheit keine nennenswerten Grundwasservorkommen aufweist. Sie liegt damit vollständig im Bereich der ungesättigten Gesteinszone (Ausnahme: schwebende Grundwasservorkommen).

Deckschichten werden in der Regel mit einer Übersignatur dargestellt, die deren hydraulische Eigenschaften klassifiziert.

4.2 Grundwasserkörper

Nach DIN4049 handelt es sich bei einem Grundwasserkörper (GWK) um ein Grundwasservorkommen oder Teil eines solchen, das ein-

deutig abgegrenzt oder abgrenzbar ist. Seine wesentliche räumliche Abgrenzung erhält der Grundwasserkörper durch die räumliche Verbreitung der wasserleitenden HGE und deren hydraulischen Verbindungen (der physische Rahmen) sowie der Grundwasseroberfläche (nicht die Potenzialhöhe).

Damit gelten die folgenden Objektbildungsregeln für Grundwasserkörper:

- Nur hydraulisch zusammenhängende Bereiche bilden Grundwasserkörper.
- Bereiche hydraulischer Fenster sind abzugrenzen. In diesem Fall erfolgt die Definition des Leiterkomplexes als Summe mehrerer Teil-Leiterkomplexe.

Die räumliche Ausdehnung des Grundwasserkörpers entspricht maximal derjenigen des ihn aufnehmenden geologischen Rahmens. Die Verbreitung des GWK wird in der Kartierung durch die folgenden Entitäten dargestellt:

- Räumliche Ausdehnung des GWK im Grundriss.
- Räumliche Verbreitung des GWK (flächige Verteilung von Ober- und Unterkante); in der Regel aus der räumlichen Verbreitung des geologischen Rahmens zu ermitteln.
- Flächige Verteilung der Potentialhöhe des GWK.

Zusätzlich zu berücksichtigende geometrische Elemente sind die Polygone der Potentialarten und die Belegpunkte.

4.3 Grundwasserleiterkomplex

Die Grundwasserleiterkomplexe (LK) beschreiben den räumlichen Zusammenhang zwischen Gesteins- und Grundwasserkörper und werden im Datenmodell relational über Zuordnungstabellen abgebildet.

Ein LK ist derjenige geologische Rahmen (ein oder mehrere hydraulisch verbundene HGE einschließlich des nicht grundwassererfüllten oberen Teils des Grundwasserleiters), in dem sich ein zusammenhängender Grundwasserkörper befindet. Dabei ist auch der komplexere Fall von hydraulischen Fenstern vorgesehen, bei dem die Grundwasserleiter nur in bestimmten Teilbereichen ihrer gesamten räumlichen Verbreitung miteinander hydraulisch verbunden sind.

In diesem Fall erfolgt für die Bereiche der unterschiedlichen räumlichen Zusammenhänge die

Bildung von Teil-Leiterkomplexen, die wiederum zu Leiterkomplexen zusammengefügt werden.

Ein Teil-Leiterkomplex als kleinste räumliche Einheit der Durchdringung von Gesteinskörper und Grundwasserkörper wird aus genau einem GWK und n HGE-Körpern ($1:n$ -Beziehung) aufgebaut.

Auf diese Weise kann ein Grundwasserleiter je nach den hydraulischen Gegebenheiten in Teilbereichen auch unterschiedlichen Grundwasserstockwerken (Leiterkomplexen) zugeordnet werden.

Im Datenmodell wird dies durch die Vorhaltung von Leiterkomplex-Teilkörpern und Leiterkomplexen in getrennten Featureklassen ermöglicht:

- Leiterkomplex-Teilkörper (Featureklasse LK_TK) werden aus n hydrogeologischen Einheiten gebildet, die den geologischen Rahmen für genau einen Grundwasserkörper bilden
- Leiterkomplexe (Featureklasse LK) setzen sich wiederum aus n Leiterkomplex-Teilkörpern zusammen.

Der LK ist damit die $n:m$ Beziehung zwischen GWK und HGE.

Es besteht die Möglichkeit, für Leiterkomplexe die Isolinienpläne (Ober- bzw. Unterkante des Gesteins, sowie Oberkante des Grundwasserspiegels) in einer separaten Datenstruktur vorzuhalten.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Objektbildungsregeln für Grundwasserkörper lässt sich für Leiterkomplexe die folgende Objektbildungsregel ableiten:

- Ein Leiterkomplex wird gebildet aus $1..n$ kleinsten räumlich definierten Einheiten, welche aus der Zuordnung der Grundwasser-teilkörper zu HGE entstehen.

5 Realisierte Funktionalitäten der ArcGIS-Extension

Über die generellen Funktionalitäten von ArcGIS zur Selektion, Bearbeitung und Attributierung von Geometrien hinaus unterstützt die Extension Flächendatenbank Hydrogeologie die folgenden Arbeitsschritte:

Allgemeine Funktionen und Import:

Automatische Erstellung der Datenstrukturen; Bereitstellung eines Übersichtsfensters mit den Inhalten der Geodatabase; Abgrenzung Projektgebiete, Angabe zu Projekten, Bearbeitungsmaßstäben und Bearbeitern; Zentrale Importfunktion für Eingangsdaten in die Geodatabase für z.B. digitale geologische Karten, bereits aufbereitete Ausbissflächen hydrogeologischer Einheiten oder Deckschichten, sonstige Verbreitungsflächen hydro-geologischer Körper oder Grundwasserkörper, Gw- und Strukturisolienpläne in vorgegebenen Formaten

Bereich Gesteinskörper:

Selektion und Attributierung geologischer Ausbissflächen von Grundwasserleitern/-geringleitern und Deckschichten mit hydrogeologischen Legendeneinheiten (globale Attribute) und weiteren hydrogeologischen Attributen; Trennung GWL/GWG und Deckschichten; Attributierung der Verbreitungsflächen (Umgrenzung) von Gesteinskörpern (globale und lokale Attribute); Automatische Verknüpfung der Ausbissflächen zu Gesteinskörpern; Referenzierung eingeladener Struktur-Isolinienpläne auf Gesteinskörper

Bereich Grundwasserkörper:

Attributierung der Umgrenzungsflächen der GwKörper; Referenzierung eingeladener GwIsolinienpläne auf GwKörper

Bildung (Teil-) Leiterkomplexe:

Bildung von Teilleiterkomplexen durch Zuordnung eines/mehrerer Gesteinskörper zu einem Grundwasserkörper nach räumlicher Abfrage; Bildung von Leiterkomplexen durch Zusammenfassung eines/mehrere Teilleiterkomplexe.

Recherche:

Recherchemöglichkeit über Grundwasserkörper oder hydrogeologische Legendeneinheiten; Anzeige des gewünschten Ergebnisumfangs (z.B.: Ausbissflächen, Gesamtverbreitungen, Isolinienpläne) im GIS.

Plausibilitätsprüfungen:

Verschiedene wichtige Funktionen zur Prüfung der Plausibilität und Datenintegrität während des Imports, der Bearbeitung bzw. beim Export.

Export:

Export ausgewählter Informationsebenen als Shapefile.

6 Ausblick

Erste Erfahrungen mit der Flächendatenbank Hydrogeologie in einem größeren Testgebiet (annähernd sechs TK50-Blätter) zeigen, dass mit dem erstellten Fachdatenmodell selbst komplexere hydrogeologische Zusammenhänge innerhalb des relationalen Datenmodells erstellt und konsistent abgelegt werden können. Mit Hilfe der Recherchefunktion konnte gezeigt werden, dass sich nun gezielt über einfache Abfragen die jeweiligen vorhandenen Objekte zu unterschiedlichen Fachthemen recherchieren lassen.

In einem weiteren Schritt soll die Flächendatenbank Hydrogeologie innerhalb des BIS umgesetzt werden. Für den Export der Daten aus dem Kartiertool soll eine XML- bzw. GML-Schnittstelle zur Übergabe der Geometrie- und Sachdaten ins BIS erstellt werden. Damit wird in naher Zukunft die Möglichkeit geschaffen, hydrogeologische Rauminformationen der Öffentlichkeit recherchefähig zur Verfügung zu stellen.

7 Literatur

- AG FIS HYDROGEOLOGIE DER GEOLOGISCHEN LÄNDESÄMTER (1997): Konzept zur Beschreibung hydrogeologischer Einheiten und von Informationsebenen in einer Datenbank. Unveröff. Dokumentation.
- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. – Geol. Jb., **G2**: 157 S, Hannover.
- BEAK CONSULTANTS GMBH (2002): Grundlagenstudie für das Grobkonzept Flächendaten Hydrogeologie. – 180 S., 39 Abb., 19 Tab., 7 Anl.; Freiberg.
- BEAK CONSULTANTS GMBH (2003): Planung und prototypische Entwicklung einer Anwendung zur Erstellung und Pflege hydrogeologischer Flächendaten in einer Datenbank. – 110 S., 28 Abb., 3 Tab., 1 Anl.; Freiberg.
- BÜTTNER, G., PAMER, R. & WAGNER, B. (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern. – GLA Fachberichte, **20**: 85 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RICHTER, J., DUTELOFF, T. & FELIX, M. (2001): Das Fachinformationssystem Hydrogeologie im Umweltinformationssystem Sachsen – Stand und praktische Anwendung. – Grundwasser, **6** (3): 123–131; Berlin Heidelberg.
- SCHLIMM, W. (1996): Arbeitsunterlagen zur Rahmenlegende der Hydrogeologischen Karte in Nordrhein-Westfalen. – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld.