

Flächendatenbank für die hydrogeologische Karte im bayerischen Bodeninformationssystem

Bernhard Wagner, Birte Schäfer, Christian Strobl, Christian Mikulla, Timo Spörlein, Andreas Barth, Manja Sieste

Kurzfassung

In Bayern wurde die hydrogeologische Landesaufnahme deutlich intensiviert mit dem Ziel bis 2015 das hydrogeologische Kartenwerk 1 : 50.000 flächendeckend fertig zu stellen. Die Raumdaten sollen blattschnittfrei vorliegen, dem 3-dimensionalen Charakter hydrogeologischer Kartendaten gerecht werden und es soll eine flächendeckende Recherchierbarkeit gegeben sein. Es wurde eine Flächendatenbank konzipiert und erstellt, in der die komplexen Zusammenhänge von Gestein und Grundwasser mit ihren jeweiligen Relationen abgebildet werden. Das zugrunde liegende relationale Datenmodell wird vorgestellt. Das Modell integriert im Wesentlichen die Objektarten Verbreitung des oberen Grundwasserleiters und der Deckschichten, Gesteinskörper, Strukturoberflächen mit Belegpunkten und Störungen, Grundwasserkörper sowie Grundwasseroberflächen mit Belegpunkten und Potenzialarten. Die Umsetzung erfolgte zunächst als ArcGIS-Erweiterung, wobei die Geodatabase als relationale Datenbank eingesetzt wird. Die Anwendung unterstützt den Kartievorgang und gewährleistet eine konsistente Struktur der Daten.

Dr. B. Wagner, B. Schäfer, C. Strobl,
Geologischer Dienst im Bayerischen Landesamt für Umwelt,
Heßstr. 128, 80797 München,
Telefon: +49 89 9214-2755, Telefax: +49 89 9214-2647,
E-Mail: bernhard.wagner@gla.bayern.de

Dr. C. Mikulla, Dr. T. Spörlein,
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und
Verbraucherschutz,
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München,
Telefon: +49 89 9214-3330, Telefax: +49 89 9214-2266,
E-Mail: timo.spoerlein@stmugv.bayern.de

Dr. A. Barth, M. Sieste,
Beak Consultants GmbH,
Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg,
Telefon: +49 3731 781-350, Telefax: +49 3731 781-352,
E-Mail: barth@beak.de

Eingang des Beitrages: 27.05.2005
Eingang des überarbeiteten Beitrages: 30.09.2005

Durch Integration des Datenmodells in das Bayerische Bodeninformationssystem können die hydrogeologischen Rauminformationen den Nutzern recherchefähig zur Verfügung gestellt werden.

Abstract

Spatial database for a hydrogeological map within the Bavarian Soil Information System

The hydrogeological survey of Bavaria has recently been intensified in order to produce a countrywide hydrogeological map at the scale of 1 : 50,000 by 2015. The spatial data will be seamfree, reflect the 3D-character of hydrogeological maps and comprehensive search functions will be available for the whole dataset. A spatial database was designed which incorporates the complex relations of rock and groundwater bodies. The underlying relational data model integrates the following main object types: propagation of the upper aquifers and surface layers, rock bodies, structural surfaces together with point data and fault lines, groundwater bodies as well as groundwater surfaces together with point data and the distribution of different types of groundwater potential. The database was developed as an ArcGIS-extension using the Geodatabase as a relational database. The application of this system supports the mapping process and guarantees a consistent data structure. After integration into the Bavarian Soil Information System, the hydrogeological spatial data will be available for the users in a searchable format.

Einleitung

Die Aufgaben des Geologischen Dienstes im Bayerischen Landesamt für Umwelt sind im Wesentlichen die geowissenschaftliche Landesaufnahme mit der zugehörigen Erfassung von Daten und Informationen, deren Auswertung und die Bereitstellung für Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und sonstige interessierende Stellen. Auf der Basis mehrerer Beschlüsse des Bayerischen Landtags zur Intensivierung der hydrogeologischen Landesaufnahme wurde der Bayerische Geologische Dienst durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz beauftragt, die hydrogeologische Landesaufnahme

Bayerns zu intensivieren mit dem Ziel einer flächendeckenden Kartierung im Maßstab 1 : 50.000 bis zum Jahr 2015. Derzeit werden am Geologischen Dienst in verschiedenen bis Ende 2006 laufenden Projekten insgesamt 47 Kartenblätter hydrogeologischer Karten im Maßstab 1 : 50.000 (HK50) bearbeitet. Damit sind dann etwa 40 % der Landesfläche hydrogeologisch bearbeitet. Die Erarbeitung der Karten erfolgt digital im GIS, wobei die Daten anschließend in das Bayerische Bodeninformationssystem (BIS) eingestellt werden. Hierfür wurde die Entwicklung eines Flächendatenbankmoduls Hydrogeologie erforderlich, an das die folgenden Anforderungen gestellt werden:

- Blattschnittfreiheit und flächendeckende Konsistenz der Datenstrukturen,
- projektübergreifende Recherchierbarkeit der Daten und
- Bereitstellung von Schnittstellen für die Datenweitergabe.

Für die Realisierung der Flächendatenbank Hydrogeologie wurde ein Grobkonzept entworfen (BEAK CONSULTANTS 2002), in dem die Arbeitsabläufe für die Erstellung der HK50 sowie deren Inhalte dargelegt und ein erstes fachliches Konzept für die Flächendatenbank Hydrogeologie erstellt wurden. Die Arbeiten stützten sich auf die Konzepte in AG FIS HYDROGEOLOGIE DER GEOLOGISCHEN LÄNDERÄMTER (1997) sowie den Vorgaben der hydrogeologischen Kartieranleitung (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 1997). Ferner wurden die Arbeiten von SCHLIMM (1996) und RICHTER et al. (2001) berücksichtigt. Die Umsetzung erfolgte in mehreren Stufen, zunächst als prototypische Version zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Konzepts und anschließend als Werkzeug zur Unterstützung des Kartierungsvorgangs, mit dem die Flächendaten so innerhalb des GIS aufbereitet und plausibilisiert werden, dass eine direkte Übernahme in das BIS möglich ist.

Im Folgenden wird das Fachdatenmodell der Flächendatenbank Hydrogeologie beschrieben und ein kurzer Überblick über das entwickelte Werkzeug gegeben.

Generallegende Hydrogeologie

Das Ziel eines landesweit recherchierbaren hydrogeologischen Kartenwerks in einer Flächendatenbank erfordert die Erstellung einer Generallegende für den jeweiligen Kartiermaßstab. Eine solche Legende wurde bereits für die abgeschlossene Kartierung des oberen Grundwasserleiters zur HÜK200 erstellt (siehe BÜTTNER et al. 2003). Für das Kartenwerk HK50 liegt ein Entwurf vor, der erst nach Vollendung der flächendeckenden Kartierung von Bayern im Maßstab 1 : 50.000 als abgeschlossen betrachtet werden kann.

Die Generallegende Hydrogeologie verwaltet wesentliche hydrogeologisch relevante Eigenschaften der Gesteinskörper. Die in der Generallegende beschriebenen hydrogeologischen Legendeinheiten (HGLE) werden zur landesweit einheitlichen Attributierung aller in den Karten ausgehaltenen hydrogeologischen Einheiten genutzt.

Zur Beschreibung der HGLE dienen die folgenden Datengruppen:

- (1) Stammdaten
- (2) geologische Beschreibung
- (3) textliche Beschreibung
- (4) qualitative Beschreibung
- (5) quantitative Beschreibung

Beschreibung der wesentlichen Objektarten

Die im Fachdatenmodell Hydrogeologie abzubildenden Objektarten ergeben sich aus den fachlichen hydrogeologischen Zusammenhängen, den in den hydrogeologischen Karten abzubildenden Sachverhalten und den Anforderungen der Nutzer an die im Bodeninformationssystem enthaltenen Daten und deren Recherchefähigkeit. Das Ziel ist ein möglichst redundanzfreies relationales Datenmodell, welches geeignet ist, die hydrogeologischen Sachverhalte in einer Fachdatenbank abzubilden. Die Schaffung eines nicht ausschließlich auf die Karte als Darstellungsmedium fixierten Informations- und Auskunftssystems erfordert dabei die Berücksichtigung des 3D-Charakters der wesentlichen geologischen und hydrogeologischen Sachverhalte. 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 räumliche Abgrenzbarkeit gegenüber Nachbarkörpern. 3D-Geoobjekte können sich überlagern und auch durchdringen, ähnlich den verschiedenen auf thematischen Karten dargestellten Sachverhalten. Zu unterscheiden ist nach der Art des zu betrachtenden Körpers: die Gesteinskörper geben dabei den Rahmen für die Grundwasserkörper vor. Diese beiden Entitäten bilden die wesentlichen Sachverhalte, deren räumliche Abgrenzung und Eigenschaften in der hydrogeologischen Kartierung ermittelt und dargestellt werden. Zur Erfassung des räumlichen Zusammenhangs von Gestein und Grundwasser wird der Grundwasserleiterkomplex eingeführt.

Hydrogeologische Einheit

Die hydrogeologische Einheit bezeichnet einen Gesteinskörper, der aufgrund seiner Petrographie, 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 Durchtrennungsgraden (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 1997).

Die globalen Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten werden in der Generallegende beschrieben. Der räumliche Bezug wird in einem zweistufigen Verfahren der Zuordnung der hydrogeologischen Legendeinheit zu mindestens einem dreidimensionalen Körper, welcher seinerseits über Ausstrichflächen an der Erdoberfläche verfügen kann, hergestellt.

Die Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten wird in der Kartierung durch die folgenden Geometrien dargestellt:

- Verbreitung in einer definierten Projektionsebene (z. B. Ausbiss, Grundwasseroberfläche),
- Verbreitung im Grundriss und
- räumliche Lage der Grenzflächen (Schichtlagerungsplan von Ober- und Unterkante).

Ein Sonderfall der hydrogeologischen Einheiten sind die Deckschichten. Als Deckschicht wird eine oberflächennahe hydrogeologische Einheit oberhalb des ersten zusammenhängenden Grundwasserleiters verstanden, die mit Ausnahme schwebenden Grundwassers kein Grundwasser führt und damit vollständig im Bereich der ungesättigten Gesteinszone liegt. Letztere beinhaltet jedoch zusätzlich den grundwasserfreien Raum der Grundwasserleiter (Grundwasserüberdeckung). In der hydrogeologischen Karte werden im Regelfall die Ausbissflächen des oberen Grundwasserleiters mit den Deckschichten als Übersignatur dargestellt.

Attribute der hydrogeologischen Einheiten

Gemäß dem Konzept der AG FIS HYDROGEOLOGIE DER GEOLOGISCHEN LÄNDERÄMTER (1997) werden globale Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten angegeben sowie lokale Eigenschaften der Gesteinskörper, die mit den Verbreitungsflächen verknüpft werden. Dies ist aufgrund lokal unterschiedlicher Ausprägung globaler Eigenschaften erforderlich. Hinsichtlich der lokalen Attribute sind unterschiedliche Bezugsebenen zu unterscheiden. Die lokalen Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten werden gemäß AG FIS HYDROGEOLOGIE DER GEOLOGISCHEN LÄNDERÄMTER (1997) überwiegend auf der Ebene der Gesteinskörper vergeben. Variationen von Eigenschaften innerhalb der Fläche (z. B. Transmissivität, Verwitterungsgrad) werden auf der Ebene der Ausbissflächen vergeben.

Globale Attribute

Die globalen Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten sind durch die Attributierungen der referenzierten Einheiten in der Generallegende definiert. Auf der Ebene der globalen Attribute werden sämtliche Datengruppen 1–5 beschrieben, wobei die textliche Beschreibung sich hier im Wesentlichen auf die Erläuterung der Abgrenzungskriterien beschränkt. Pflichtfelder sind die Datengruppen (1) Stammdaten, (2) geologische Beschreibung (Stratigraphie entweder eine Angabe oder zwei Angaben mit von-bis-Beziehung) und (4) qualitative Beschreibung. Diese erfolgt für die Eigenschaften Durchlässigkeit, geochemischer Gesteinstyp, Hohlraumart, Verfestigung, hydraulische Eigenschaft und Gesteinsart nach Schlüssellisten. Hinsichtlich der quantitativen Beschreibung sind bisher die Parameter

Durchlässigkeit und elektrische Leitfähigkeit realisiert, wobei hier als Zahlenwerte rangkorrelative statistische Parameter angegeben werden (Percentil- und Medianwerte).

Lokale Attribute der Gesteinskörper

Die lokalen Attribute der Gesteinskörper sind mit den Verbreitungsflächen der Gesteinskörper verknüpft. Die Attribute der qualitativen Beschreibung werden als objektbildend angesehen, d. h. bei Änderung eines dieser Attribute ist eine neue Legendeneinheit zu bilden. Diese Datengruppe fehlt daher bei den lokalen Eigenschaften. Die Datengruppen (1) Stammdaten, (2) geologische Beschreibung und (4) qualitative Beschreibung sind hinsichtlich der Felder identisch mit denen der globalen Attribute; d. h. diese Attribute können im Hinblick auf die globalen Attribute verfeinert bzw. variiert werden.

Lokale Attribute der Ausbissflächen hydrogeologischer Einheiten
Als lokales Attribut der Ausbissflächen und der Deckschichten wird die hydrogeologische Klassifikation (Schlüsselliste 6) in der Datengruppe (4) qualitative Beschreibung eingeführt. Diese stellt die Grundwasserführung und die Ergiebigkeit der dargestellten hydrogeologischen Einheit dar und leitet sich im Wesentlichen aus einer Kombination der Attribute Hohlraumart, Durchlässigkeit und Mächtigkeit ab. In den Karten des oberen Grundwasserleiters erfolgt die Farbgebung nach diesem Attribut (siehe auch STRUCKMEIER & MARGAT 1995).

Zuweisung der Attribute

Die Abbildung 1 zeigt schematisch das Vorgehen der Attributierung hydrogeologischer Einheiten. Als Geometrien hydrogeologischer Einheiten liegen die Ausbissflächen der hydrogeologischen Einheiten HGE-F sowie die Verbreitungsflächen der Gesteinskörper HGE-K und der Deckschichten vor. Die Verbreitungsflächen der HGE-K sind mit den HGE-F über eine 1 : n-Beziehung verknüpft. Sämtliche Polygone werden jeweils auf genau eine Legendeneinheit der Generallegende referenziert und erhalten damit die in dieser geführten globalen Eigenschaften. Gleichzeitig können allen Objektarten lokale Eigenschaften zugewiesen werden. Die den HGE-F zugewiesenen Generallegendeneinheiten müssen entweder mit denen der verknüpften HGE-K identisch sein, oder sich in einer hierarchisch darunter liegenden Ebene befinden.

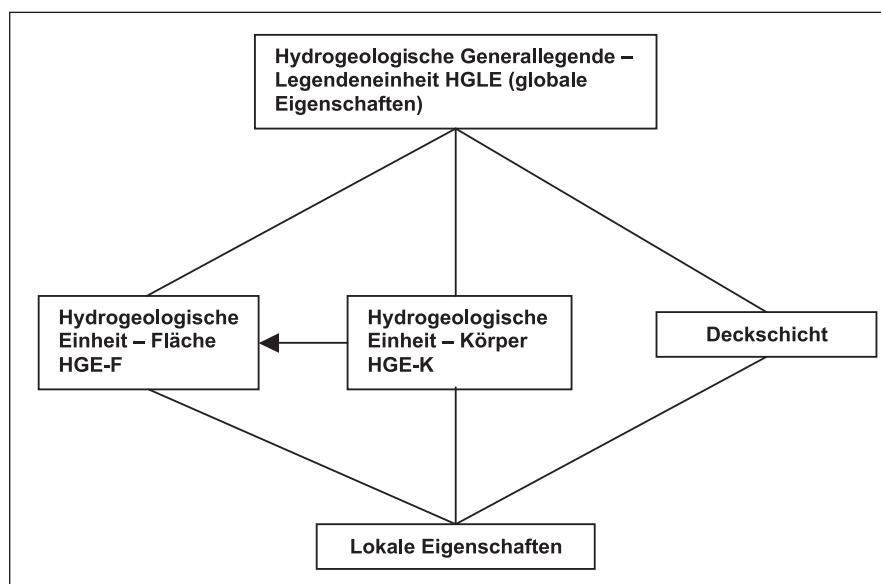


Abb. 1: Beschreibung hydrogeologischer Einheiten durch Verknüpfung mit hydrogeologischen Legendeneinheiten sowie Zuweisung lokaler Eigenschaften

Grundwasserkörper

Nach DIN 4049 handelt es sich bei einem Grundwasserkörper (GWK) um ein abgegrenztes Grundwasservorkommen oder abgrenzbaren Teil eines solchen. Für Grundwasserkörper gelten die folgenden Regeln:

- Nur hydraulisch zusammenhängende Bereiche bilden Grundwasserkörper.
- Bereiche hydraulischer Fenster sind abzugrenzen. In diesem Fall erfolgt eine Aufteilung der Gesteinskörper nach hydraulischen Gesichtspunkten.

Seine räumliche Abgrenzung erhält der Grundwasserkörper durch:

- die räumliche Verbreitung der wasserleitenden HGE-K und deren hydraulische Verbindungen sowie
- die Grundwasseroberfläche (nicht die Grundwasserdruckfläche).

Die räumliche Ausdehnung des Grundwasserkörpers entspricht maximal derjenigen des ihn aufnehmenden geologischen Rahmens.

Die Verbreitung des GWK wird in der Kartierung durch die folgenden Geometrien dargestellt:

- Verbreitung des GWK im Grundriss
- räumliche Verbreitung des GWK (Oberflächen von Ober- und Unterkante); in der Regel aus der räumlichen Verbreitung des geologischen Rahmens zu ermitteln
- Oberfläche der Potenzialhöhe des GWK

Grundwasserleiterkomplex

Grundwasserleiterkomplexe LK bilden die Gesteinhülle für Grundwasserkörper und stellen somit das Bindeglied zwischen Grundwasserkörper und Gesteinskörper dar. Ein LK ist derjenige geologische Rahmen (ein oder mehrere hydraulisch verbundene HGE-K einschließlich des nicht grundwassererfüllten oberen Teils des Grundwasserleiters), in dem sich ein zusammenhängender Grundwasserkörper befindet. Der LK ist damit die 1 : n-Beziehung zwischen GWK und HGE-K. Unter Berücksichtigung der beschriebenen Regeln für Grundwasserkörper gilt für Leiterkomplexe:

- Ein Leiterkomplex stellt eine räumlich definierte Einheit dar, welche aus der Zuordnung der HGE-K oder Teilen von HGE-K zum Grundwasserkörper entsteht.

Einen Sonderfall bilden Bereiche, in denen nur ein Teil eines HGE-K in hydraulischer Verbindung mit den restlichen HGE-K steht, die den LK aufbauen. In diesem Fall muss der HGE-K in den hydraulisch verbundenen und getrennten Bereich aufgetrennt und nur der hydraulisch verbundene Teil zum LK verknüpft werden. Auf diese Weise kann ein Gesteinskörper je nach den hydraulischen Gegebenheiten in Teilbereichen auch unterschiedlichen Grundwasserstockwerken (Leiterkomplexen) zugeordnet werden. Die nach hydraulischen Gesichtspunkten getrennten Gesteinskörper können als Strukturkomplexe wieder zusammengefügt werden.

Strukturkomplex

Aneinander grenzende HGE-K können zu einem Strukturkomplex zusammengefasst werden. Dies erlaubt die Referenzierung von Strukturgleichenplänen auf übergeordnete Einheiten. So kann z. B. eine Basisfläche Obere Süßwassermolasse ausgehalten werden, die sich aus den Einheiten Nördlicher Vollschorter, Geröllsandserie, Fluviafile Serie etc. zusammensetzt. Auch unter hydraulischen Gesichtspunkten aufgetrennte Gesteinskörper können durch eine Verknüpfung zum Strukturkomplex zusammengefügt werden, auf den dann vorhandene Strukturgleichenpläne referenziert werden können. Der Strukturkomplex wird mit einer – auch übergeordneten – hydrogeologischen Legendeneinheit attribuiert.

Beziehungen der Objektarten

Die Beziehungen im Fachdatenmodell Hydrogeologie müssen die fachlichen Zusammenhänge der wesentlichen Objektarten HGE-K und GWK abbilden und damit recherchierbar machen. In Abbildung 2 sind die grundlegenden räumlichen Zusammenhänge anhand eines beispielhaften Blockbilds dargestellt. Die hydrogeologischen Einheiten HGE1 und 2 stellen zwei Grundwasserleiter vergleichbarer hydraulischer Durchlässigkeit dar, die einem Grundwassergeringleiter auflagern. Der an den Vor-

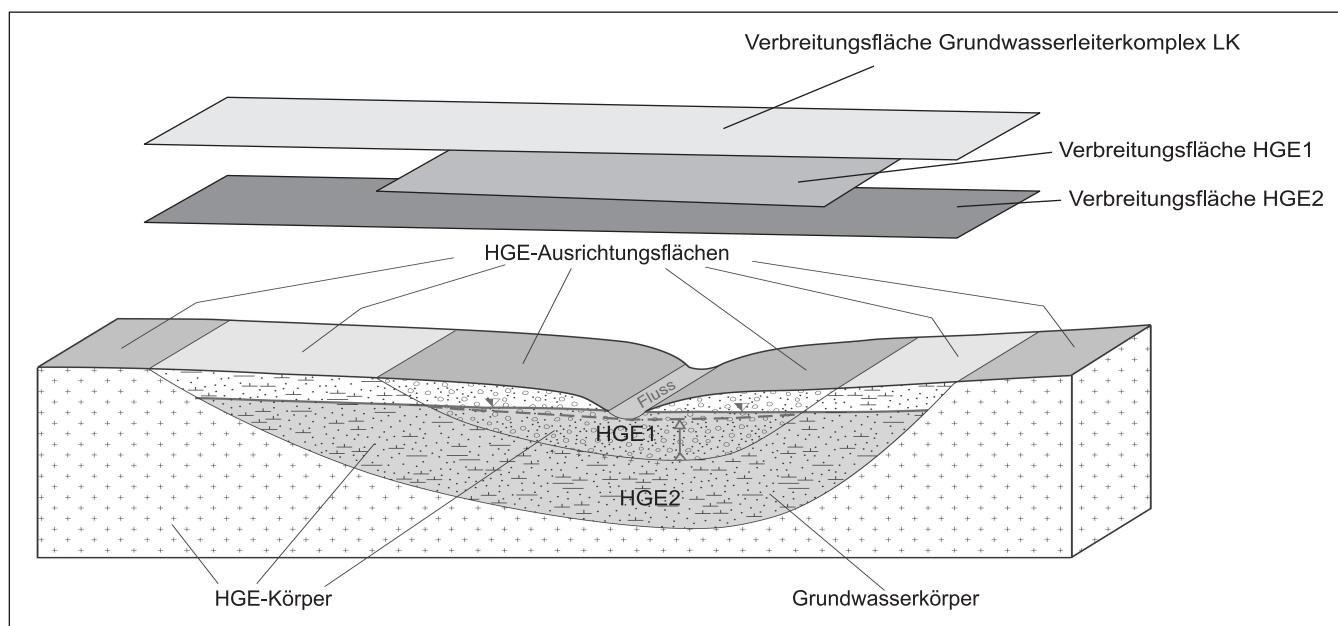


Abb. 2: Beziehung zwischen hydrogeologischer Einheit HGE, Grundwasserleiterkomplex LK und Grundwasserkörper GWK

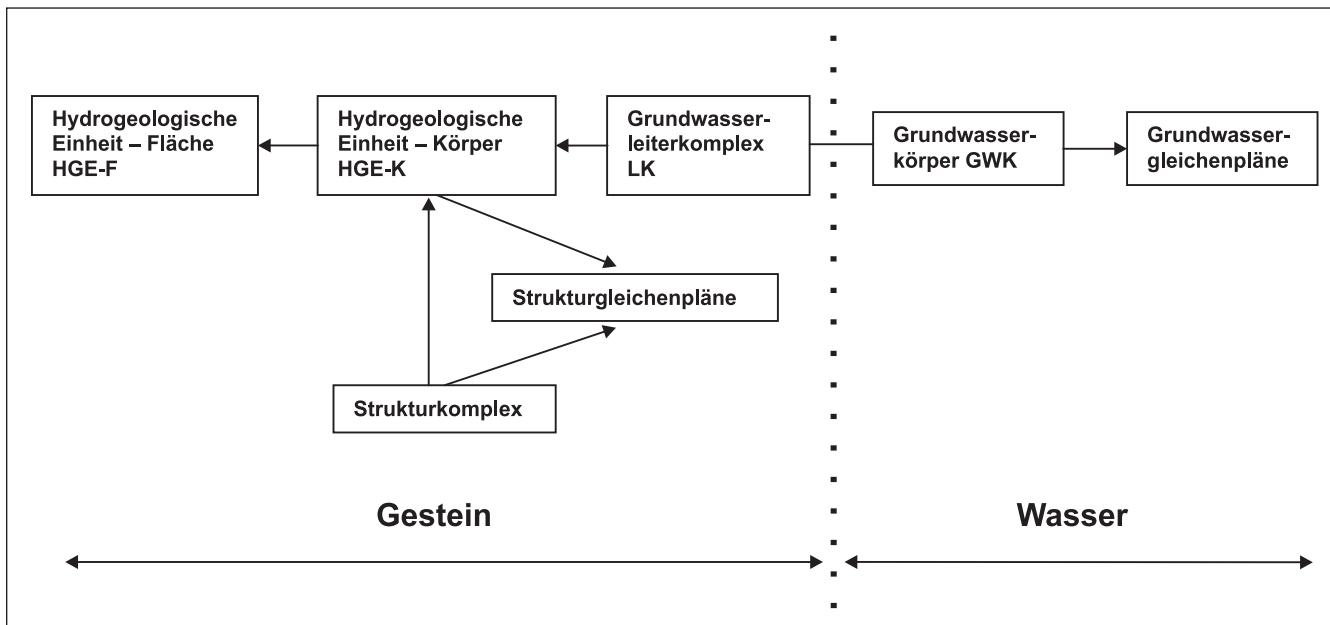


Abb. 3: Wesentliche Objektarten und ihre Relationen im Datenmodell ($\rightarrow = 1:n$ -Beziehung, $= 1:1$ -Beziehung)

fluter angebundene Grundwasserkörper befindet sich in HGE1 und 2. Beide Einheiten bilden damit einen Grundwasserleiterkomplex, dessen Verbreitungsfläche sich aus der Summe der Verbreitungsflächen der Einheiten HGE1 und 2 ergibt.

Aus den vorangehend geschilderten fachlichen Beziehungen leitet sich der Kern des Fachdatenmodells Hydrogeologie (Abb. 3) ab: Es erfolgt eine getrennte Betrachtung nach den Bereichen Gestein und Wasser. Jeder Gesteinskörper HGE-K einer hydrogeologischen Einheit verfügt über n Flächen(ausbisse) HGE-F; die Grundwasserleiterkomplexe LK werden wiederum aus der Kombination von n Gesteinskörpern hydrogeologischer Einheiten HGE-K mit jeweils einem Grundwasserkörper GWK aufgebaut. Der Grundwasserleiterkomplex ist damit das Bindeglied zwischen den hydrogeologischen Einheiten HGE-K und den Grundwasserkörpern GWK, die zueinander in einer n : 1-Beziehung stehen.

Die räumliche Erstreckung der Gesteinskörper wird durch die Verbreitungsflächen und durch Strukturgleichungen der Ober- bzw. Untergrenzen dargestellt. Dabei können auch mehrere Gesteinskörper einem Strukturgleichenenplan in Form eines Strukturkomplexes zugeordnet werden. Ebenso werden die Grundwasserkörper durch Verbreitungsflächen dargestellt. Ihre räumliche Erstreckung wird definiert durch die Verknüpfung mit den sie aufnehmenden Gesteinskörpern sowie durch die Grundwasseroberfläche. Den Grundwasserkörpern können in der Zeit unterschiedliche Grundwassergleichenenpläne zugeordnet werden.

Alle weiteren Objektarten (wie z. B. Bohrungen, Brunnen, Störungen, Dolinen etc.) sowie andere punkt- bzw. linienbezogene Daten (Gleichenpläne, chemische und physikalische Eigenschaften) können als Attribute problemlos an diese Objektarten angekoppelt werden bzw. sind als separate Datenmodelle abbildbar. Das vollständige Datenmodell ist in BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (2004) dargestellt.

Oberflächen

Strukturisolinienpläne

Die Lage von hydrogeologischen Einheiten im Raum wird mithilfe von Strukturisolinienplänen dargestellt. Ein vollständiger Strukturisolinienplan beinhaltet die folgenden Informationsebenen:

- Stammdatentabelle
- Umrisspolygon der räumlichen Erstreckung des Isolinienplans
- Linien(abschnitte) des Umrisspolygons mit Attributierung der Grenzarten
- Isolinien
- Belegpunkte
- Störungen

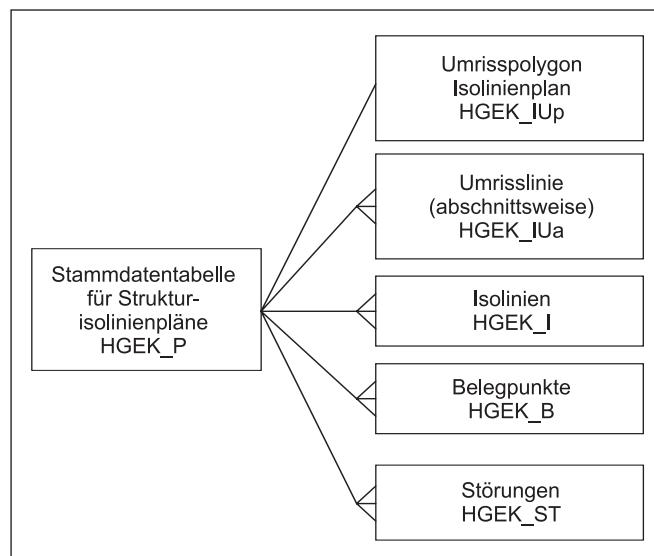


Abb. 4: Relationen der Informationsebenen zur Darstellung der Raumlage von Grenzflächen hydrogeologischer Einheiten

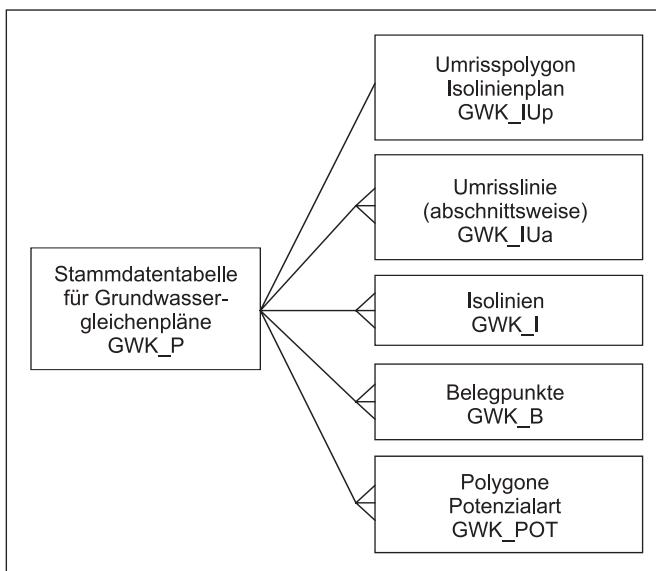


Abb. 5: Relationen der Informationsebenen zur Darstellung von Grundwassergleichenplänen

Die Stammdatentabelle ist über eine n : 1-Beziehung zum Gesteinskörper verknüpft (ein Gesteinskörper kann durch eine Ober- bzw. Untergrenze abgegrenzt werden). Jedes Shapefile bzw. Coverage besitzt einen fest vorgegebenen Aufbau mit definierten Attributfeldern. Mithilfe der Importfunktion der ArcGIS-Extension werden die extern erstellten Features in die entsprechenden Zieltabellen der Projekt-Arbeitsdatenbank eingelesen. Es kann grundsätzlich nur ein vollständiger Isolinienplan (also Stammdaten, Isolinien, Umrisspolygone/-linien, Belegpunkte, Störungslinien) importiert werden.

Durch die Ablage der Strukturisoliniendiagramme trägt die Flächen-datenbank Hydrogeologie dem 3D-Charakter des hydrogeologischen Modells Rechnung. Da die Möglichkeiten der Ablage der Ober- und Unterkanten von 3D-Raumobjekten mit den verwendeten Werkzeugen noch limitiert sind (2,5D-Darstellung), können nicht beliebig komplexe Strukturen dargestellt werden; hierfür muss derzeit noch auf separate 3D-Modellierungssoftware zurückgegriffen werden.

Grundwassergleichenpläne

Ein vollständiger Grundwassergleichenplan beinhaltet die folgenden Informationsebenen:

- Stammdatentabelle
- Umrisspolygon der räumlichen Erstreckung des Grundwasserkörpers
- Linien(abschnitte) des Umrisspolygons mit Attributierung der Grenzarten
- Isolinien
- Belegpunkte
- Polygone der Potenzialarten

DV-technische Umsetzung des Datenmodells

Die Umsetzung der Flächendatenbank Hydrogeologie erfolgt als zweistufiges System: die Bearbeitung der Daten im Kartierprozess wird mit der ArcGIS-Extension „Flächendatenbank

Hydrogeologie“ vorgenommen, die die Festlegung der hier dargestellten Relationen mit einer eigens programmierten Benutzeroberfläche ermöglicht. Damit können auch bei Bearbeitungen in räumlich getrennten Projekten stimmige Daten mit identischen Datenstrukturen und Formaten produziert werden.

Zusätzlich wird das Datenmodell für die Vorhaltung der Flächen-daten im Bayerischen Bodeninformationssystem (BIS) umgesetzt. Das BIS dient dabei vorwiegend als Datenspeicher und für die Abgabe der digitalen Daten über entsprechend konzipierte Schnittstellen an weitere Nutzer. Die Übergabe der Daten von der ArcGIS-Extension an das BIS erfolgt über eine eigens programmierte GML/XML-Schnittstelle. Im ersten Schritt wurde die ArcGIS-Extension „Flächendatenbank Hydrogeologie“ (BEAK CONSULTANTS 2003) erstellt, die im Folgenden beschrieben ist.

ArcGIS-Extension „Flächendatenbank Hydrogeologie“

In der ArcGIS-Extension für die Flächendatenbank Hydrogeologie sind die Hauptmenüpunkte „Allgemeine Aktionen“, „Punkt- und Flächendaten“, „Körper“, „Leiterkomplexe“ und „Recherche“ realisiert. In der Tabelle 1 sind die Menüpunkte der ArcGIS-Extension kurz erläutert. Zu jedem der dargestellten Auswahlpunkte werden Aktionsfenster geöffnet, die eine Auswahl und Attributierung bzw. Verknüpfung von Objekten der verschiedenen Objektarten zulassen. Das Modul hat die Aufgabe, den kartierenden Hydrogeologen bei der Zusammenstellung und relationalen Verknüpfung der hydrogeologischen Flächendaten zu unterstützen. Hierzu müssen nacheinander alle Menüpunkte der Oberpunkte Punkt- und Flächendaten, Körper und Leiterkomplexe abgearbeitet werden. Im Ergebnis führt dies über den Import der Flächendaten und deren Attributierung und Verknüpfung zu einem konsistenten Datensatz innerhalb der Geodatabase. Dieser Datensatz stellt die Grundlage für die eigentliche redaktionelle Erstellung der hydrogeologischen Karten sowie für die Übergabe der Daten ins BIS über die Schnittstelle dar.

Systemarchitektur

Das Gesamtsystem besteht aus den folgenden Applikationen:

- Datenbankanwendung „Schlüssellisten Hydrogeologie“
- Applikation ArcGIS 8.2 mit der Extension „Flächendatenbank Hydrogeologie“

Die Datenbank „Generallegende Hydrogeologie“ besteht aus den folgenden integralen Komponenten:

- Access-Datenbank zur Verwaltung der Daten (Daten-.mdb)
 - Access-Datenbank mit Applikationslogik (Frontend-.mdb)
- Beide Komponenten sind miteinander verlinkt.

Die Anwendung der Flächendatenbank Hydrogeologie kann als Extension in ArcGIS geladen werden und erweitert die Funktionalität dieses GIS um spezielle, für die Attributierung der Flächendaten und die relationale Verknüpfung der unterschiedlichen Objektarten notwendige Funktionen. Sie nutzt über ADO (Advanced Data Objects) die Schlüssellisten der Daten-Datenbank „Generallegende_Hydro_Daten.mdb“.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Erste Erfahrungen mit der Flächendatenbank Hydrogeologie zeigen, dass mit dem erstellten Fachdatenmodell selbst komplexe hydrogeologische Zusammenhänge (z. B. Grundwasserstockwerksbau, hydraulische Fenster) innerhalb des relationa-

Tab. 1a: Kurzerläuterung der Aktionen in der Menüführung der ArcGIS-Extension „Flächendatenbank Hydrogeologie“, Teil 1

Menüpunkt	Beschreibung
Allg. Aktionen	
Übersicht Geodatabase	Übersichtsmaske zum Anzeigen des Inhalts der Arbeitsdatenbank
Datenstruktur anlegen	Anlage der Zieldatenstruktur der Arbeitsdatenbank; die Aktion ist vor Anlage eines neuen Projekts auszuführen
Projektgrenze bearbeiten	Anlage und Attributierung der Projektgrenze. Hier werden allgemeine Metainformationen zum Projekt (z. B. Bearbeiter, Bearbeitungszeitraum, Bearbeitungsmaßstab) abgelegt
Prüffunktionen	Formular für Datenprüfungen auf Konsistenz
Import	Importfunktion für externe Geometriedaten (Shapefiles)
Punktdaten	Einlesen der in der Karte darzustellenden hydrogeologischen Punktobjekte nach Klassifizierung gemäß Kartieranleitung; in der aktuellen Version noch nicht realisiert
Oberer Grundwasserleiter	Layer der Verbreitungsflächen des oberen Grundwasserleiters
Deckschichten	Layer der Verbreitungsflächen der Deckschichten
Gesteinskörper	Layer der Verbreitungsflächen der Gesteinskörper
Strukturkomplex	Layer der Verbreitungsflächen der Strukturkomplexe
Strukturisoliniensplan	Zum Strukturisoliniensplan gehören die Informationsebenen gemäß Abb. 4
Grundwasserkörper	Layer der Verbreitungsflächen der Grundwasserkörper
Grundwassergleichenplan	Zum Grundwassergleichenplan gehören die Informationsebenen gemäß Abb. 5
Export	Exportfunktion für hydrogeologische Flächendaten (Deckschichten und Oberer Grundwasserleiter)
Einstellungen	Setzen des Bezugs zur externen Schlüssellistenverwaltung (einschließlich Generallegende Hydrogeologie)
Info Version	Info zur aktuellen Version (derzeit 2.0.0)
Punkt- und Flächendaten	
Attributierung Punktdaten	Klassifizierung hydrogeologischer Punktobjekte gemäß Kartieranleitung; in der aktuellen Version noch nicht realisiert
Attributierung Oberer Grundwasserleiter	Attributierformular für die hydrogeologischen Einheiten; es erfolgt eine Referenzierung auf hydrogeologische Legenden-einheiten der Generallegende Hydrogeologie und die Zuordnung der hydrogeologischen Klassifikation. Als Deckschichten markierte Polygone sind nach dem Kopieren in den Layer Deckschichten nachzubearbeiten.
Deckschichten kopieren	Kopieren der als Deckschichten markierten Polygone des Layers Grundwasserleiter in den Layer Deckschichten (s. o.)
Deckschichten attributieren	Attributierformular für die Deckschichten; es erfolgt eine Referenzierung auf hydrogeologische Legenden-einheiten der Generallegende Hydrogeologie und die Zuordnung der hydrogeologischen Klassifikation
Körper	
Gesteinskörper	Funktionen zur Definition von Gesteinskörpern. Dem Menüpunkt ist ein weiteres Untermenü nachgeordnet, in dem die Stammdaten und die lokalen Attribute der Gesteineinheiten vergeben werden. Des weiteren werden hier unter dem Punkt Isolinienpläne vorhandene Strukturisolinienspläne mit den Elementen Umrisspolygone, Umrisslinien, Isolinien, Belegpunkte und Störungslinien eingestellt und referenziert
Attributierung	Maske für die Attributierung der Gesteinskörper (Generallegendeneinheiten, lokale Attribute)
Referenzierung	Maske zur Referenzierung eines Strukturisoliniensplans mit allen zugehörigen Informationsebenen auf den selektierten Gesteinskörper
Strukturisolinienspläne	
Zugeordnete Objekte	Maske zur Zuordnung und Anzeige der zum Gesteinskörper gehörigen Objektarten (Verbreitungsflächen oberer Grundwasserleiter, Strukturisolinienspläne, Grundwasserleiterkomplex sowie Zugehörigkeit zu Strukturkomplex)
Grundwasserkörper	Funktionen zur Definition von Grundwasserkörpern. Ähnlich wie bei den Gesteinskörpern werden hier die Stammdaten vergeben und Grundwassergleichenpläne mit ihren zugehörigen Informationsebenen eingestellt und referenziert.
Attributierung	Maske für die Attributierung der Grundwasserkörper (hydrogeochemische Eigenschaften)
Referenzierung	Maske zur Referenzierung eines Grundwassergleichenplans mit allen zugehörigen Informationsebenen auf den selektierten Grundwasserkörper
Grundwassergleichenpläne	
Zugeordnete Objekte	Maske zur Zuordnung und Anzeige der zum Grundwasserkörper gehörigen Objektarten (Grundwassergleichenpläne, Grundwasserleiterkomplexe mit enthaltenen Gesteinskörpern)

Tab. 1b: Kurzerläuterung der Aktionen in der Menüführung der ArcGIS-Extension „Flächendatenbank Hydrogeologie“, Teil 2

Menüpunkt	Beschreibung
Leiterkomplexe	
Leiterkomplex	Funktionen zur Definition von Grundwasserleiterkomplexen. Diese werden durch eine 1:n-Referenzierung von Grundwasserkörpern auf Gesteinskörper gebildet.
Neuerstellung	Maske, in der nach Auswahl eines Grundwasserkörpers über eine räumliche Analyse alle Gesteinskörper aufgelistet werden, die Überschneidungen mit dem Grundwasserkörper aufweisen. Grundwasserleiterkomplexe werden durch eine Auswahl der zum Grundwasserkörper zugehörigen Gesteinskörper gebildet.
Bearbeitung	Maske, in der die gebildeten Grundwasserleiterkomplexe und die zugehörigen Gesteinskörper aufgelistet werden
Recherche	
Über Grundwasserkörper GWK	Recherchefunktion, bei der alle auf einen Grundwasserkörper referenzierten Objektarten dargestellt werden
Über hydrogeologische Legendeneinheit HGLE	Recherchefunktion, bei der alle auf eine hydrogeologische Legendeneinheit referenzierten Objektarten dargestellt werden

len Datenmodells konsistent abgelegt werden können und somit auch selektiv recherchierbar sind. Als erster Test wurden die Daten der blattübergreifenden hydrogeologischen Kartierung der Planungsregion 10 – Ingolstadt (BÜTTNER et al. 2002), die insgesamt einer Fläche von annähernd sechs TK50-Blättern entspricht, in die Flächendatenbank importiert und dort die erforderlichen fachlichen Verknüpfungen hergestellt (Abb. 7). Mithilfe der Recherchefunktion konnte gezeigt werden, dass sich nun gezielt über einfache Abfragen die jeweils vorhandenen Objekte zu unterschiedlichen Fachthemen abfragen lassen (z. B. alle einem Grundwasserleiter zugehörigen Strukturisolinien-

pläne, Ausbissflächen, Grundwasserkörper). Die Abbildung 8 zeigt das Recherchenfenster für die Abfrage nach hydrogeologischen Einheiten (hier: alle verknüpften Elemente der Vollschotter der Oberen Süßwassermolasse) In einem weiteren Schritt wurde die Flächendatenbank Hydrogeologie innerhalb des BIS umgesetzt. Für den Export der Daten aus der Geodatabase der ArcGIS-Extension steht eine GML/XML-Schnittstelle zur Übergabe der Geometrie- und Sachdaten ins BIS zur Verfügung. Damit können in naher Zukunft hydrogeologische Rauminformationen der Öffentlichkeit recherchefähig zur Verfügung gestellt werden. Die unterschiedlichen Informationsebenen

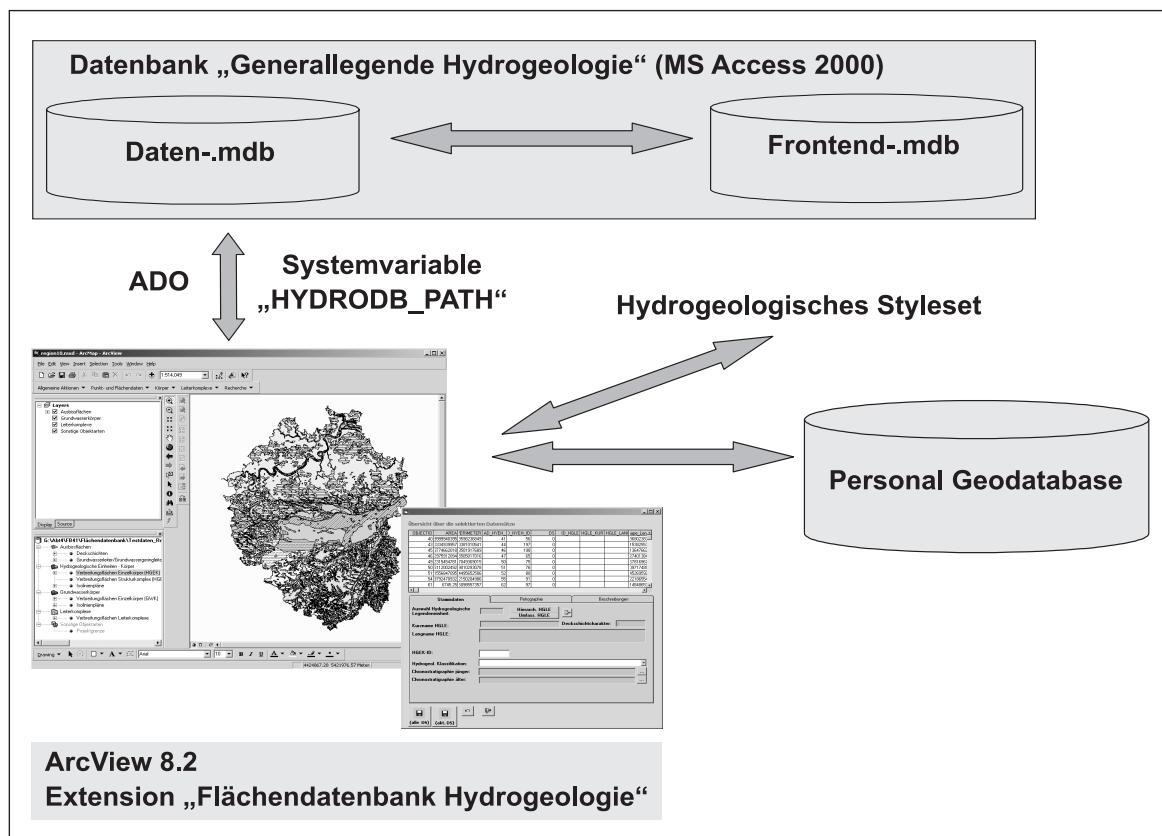


Abb. 6: Architektur des Gesamt-systems

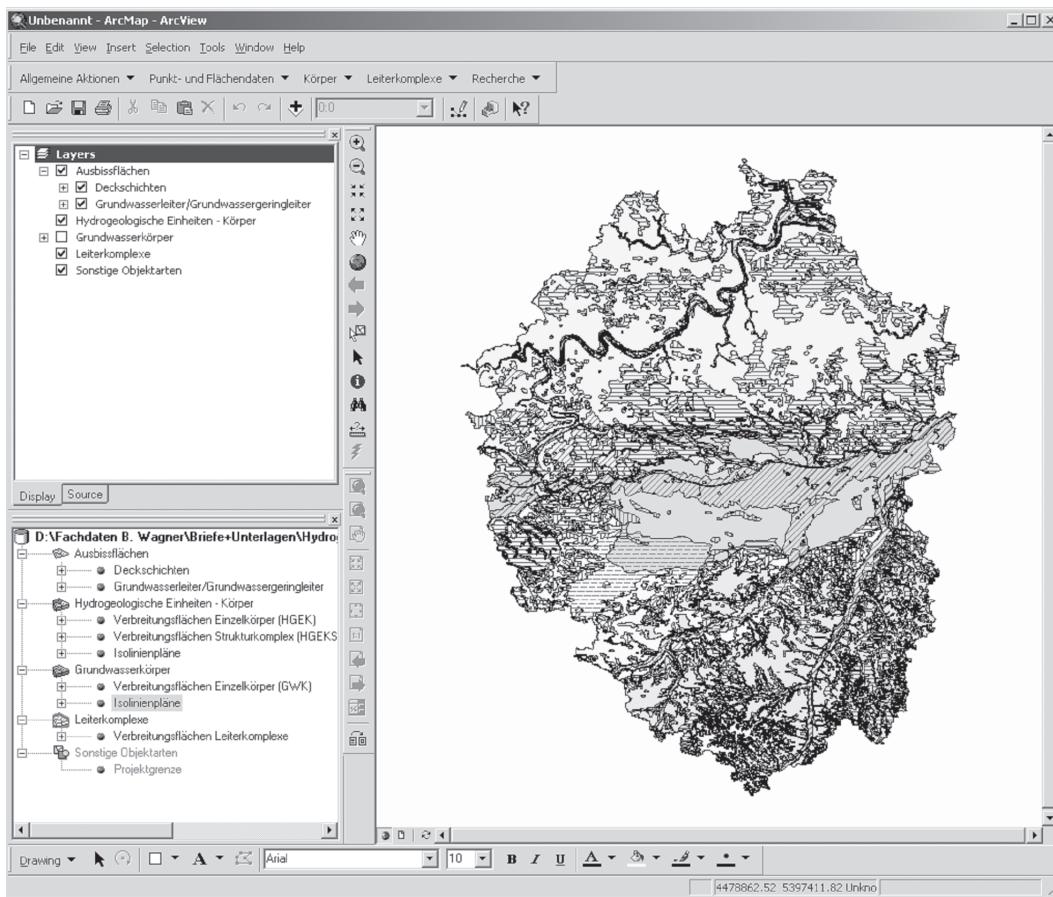


Abb. 7: Darstellung der hydrogeologischen Klassifikation des oberen Grundwasserleiters und der Deckschichten der Planungsregion 10 – Ingolstadt in der Flächendatenbank Hydrogeologie.

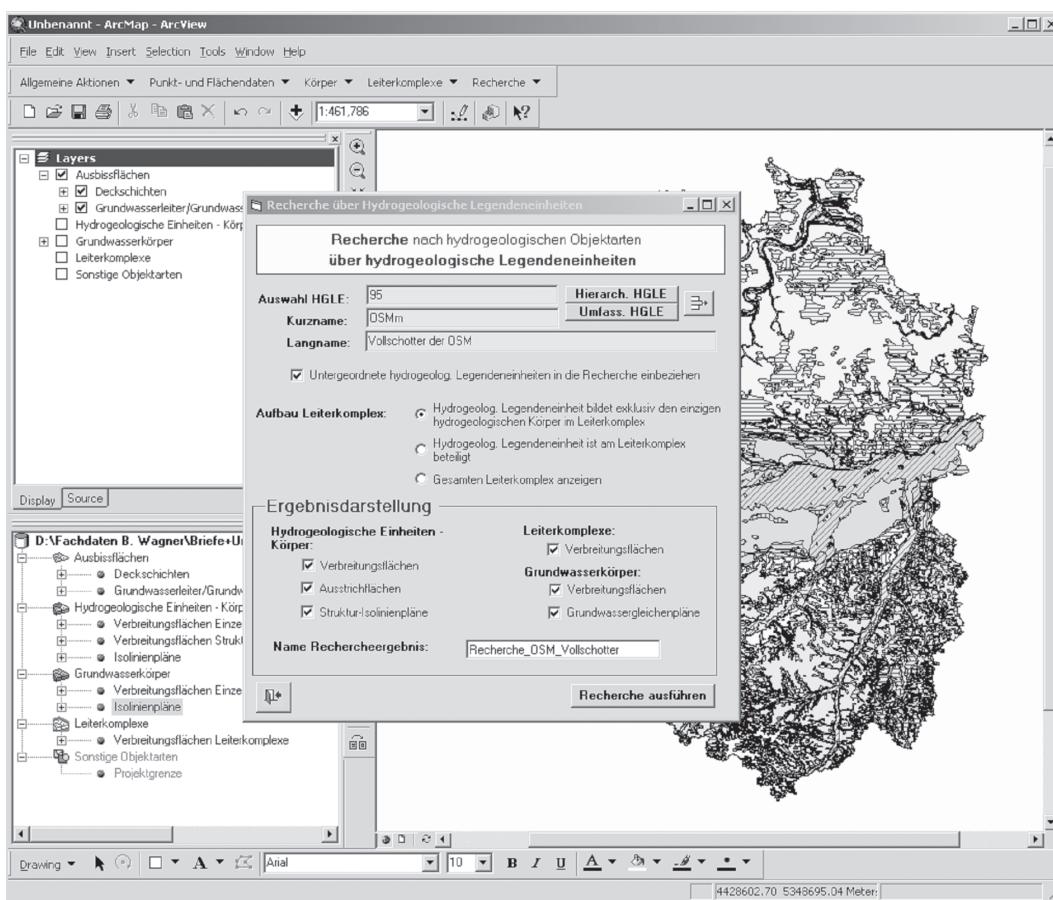


Abb. 8: Recherchefenster für hydrogeologische Einheiten (hier: Vollschorter der Oberen Süßwassermolasse).

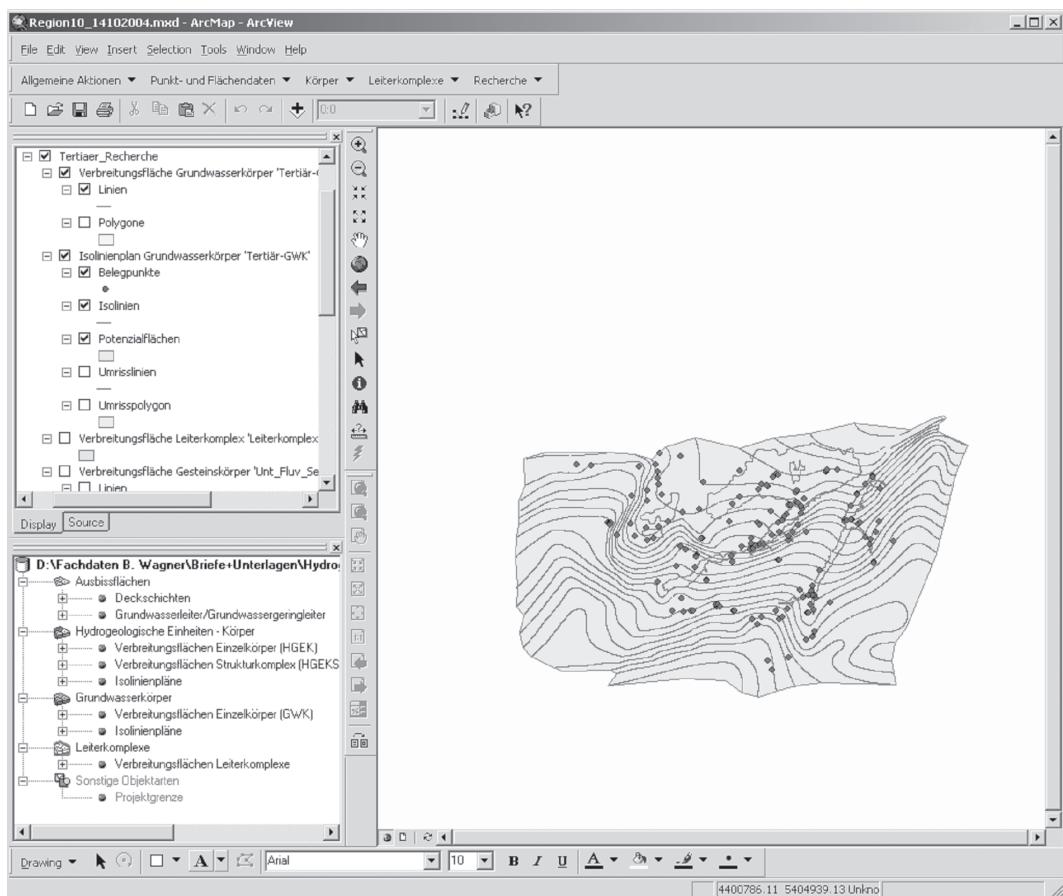


Abb. 9: Recherchergebnis aus dem Gesamtdatenbestand. Die Trefferobjekte werden aus dem Gesamtdatenbestand kopiert und als neue Layer abgelegt.

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

Danksagung

Die hydrogeologische Landesaufnahme des Bayerischen Geologischen Dienstes wird im Projekt Hydrogeologische Landesaufnahme (HL) durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz sowie durch die EU-Maßnahmen im Ziel-2-Gebiet und im Phasing-Out-Gebiet aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Die vorgestellten Arbeiten zur Flächendatenbank Hydrogeologie wurden als Grundlage für die Verwaltung der erarbeiteten Daten aus diesen Projekten unterstützt.

Literaturverzeichnis

- AG FIS HYDROGEOLOGIE DER GEOLOGISCHEN LÄNDERÄMTER (1997): Konzept zur Beschreibung hydrogeologischer Einheiten und von Informationsebenen in einer Datenbank.- unveröff. Dokumentation, 10 S.
- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung.- Geol. Jb. G2: 157 S.; Hannover.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (2004): Fachliche und DV-technische Konzeption der Flächendatenbank Hydrogeologie.- unveröff. Dokumentation, 39 S.
- BEAK CONSULTANTS GMBH (2002): Grundlagenstudie für das Grobkonzept Flächendaten Hydrogeologie. Bericht an das Bayerische Geologische Landesamt.- 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. Bericht an das Bayerische Geologische Landesamt.- 110 S., 28 Abb., 3 Tab., 1 Anl.; Freiberg.
- BÜTTNER, G., DIEPOLDER, G., DOBNER, A., FRITZER, T., PUKOWIETZ, C., SETTLES, E., SPÖRLEIN, T., WAGNER, B. (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt - Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1 : 100 000.- 127 S.; München (Bayer. Geol.-L.-Amt).
- BÜTTNER, G., PAMER, R., WAGNER, B. (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern.- GLA Fachberichte 20: 85 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DIN 4049 (1994): Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- FURTAK, H., LANGGUTH, H.R. (1967): Zur hydrogeochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen.- Mem. IAH-Kongress, 1965 VII: 86–96; Hannover.
- RICHTER, J., DUTELOFF, T., FELIX, M. (2001): Das Fachinformationssystem Hydrogeologie im Umweltinformationssystem Sachsen – Stand und praktische Anwendung.- Grundwasser 6 (3): 123–131.
- SCHLIMM, W. (1996): Arbeitsunterlagen zur Rahmenlegende der Hydrogeologischen Karte in Nordrhein-Westfalen.- Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld (unveröff.).
- STRUCKMEIER, W.F., MARGAT, J. (1995): Hydrogeological maps: A guide and a standard legend.- International Contributions to Hydrogeology 12: 177 S.; Hannover.