

Das digitale geologische Strukturmodell Bitterfeld als neuer Baustein in der Sanierungsforschung

Peter Wycisk, Holger Fabritius, Ralf Ruske, Holger Weiß

Kurzfassung

Zur Erfassung, Bewertung und Behandlung großräumiger Grundwasserkontaminationen ist die Kenntnis des geologischen Aufbaus des Untergrundes für eine Vorhersage des Schadstoffverhaltens eine unbedingte Voraussetzung. Im Rahmen des SAFIRA-Projektes ist für ein Modellgebiet des ÖGP Bitterfeld/Wolfen die Architektur der Lockergesteinsaquifere in ein digitales geologisches Raummodell überführt worden. Basierend auf 125 Bohraufschlüssen, mit 28 vernetzten Profilschnitten, konnte die lithologische und strukturelle Heterogenität in 31 lithostratigraphischen Sedimentationskörpern plausibel auf der Basis eines 10 x 10 m-Rasters GIS-gestützt abgebildet werden. Die Zuordnung hydraulischer Parameter zu den einzelnen Sedimentkörpern erlaubt die spätere Nutzung mit Strömungs- und Transportmodellen. Das in Kombination von Profilschnitten und Flächendaten generierte Raummodell ermöglicht neben beliebigen Visualisierungen auch die Berechnung von Kubaturen einzelner Schichten. Dies ist z. B. bei der Restbraunkohle für die Abschätzung von Schadstoffretentionen und -remobilisierungen im Untergrund von erheblicher Bedeutung. Das hier vorgestellte geologische 3-D-Strukturmodell ist die Grundlage für die weiteren Bearbeitungen zur Bewertung von Umweltauswirkungen und Sanierungsvarianten.

Abstract

Identification, assessment and remediation of a large-scale groundwater contamination requires a profound knowledge of the geological structure to predict the fate of contaminants in the subsurface. Within the SAFIRA-project, a model sector of the Bitterfeld/Wolfen area was chosen to transfer the structural geological data of the Tertiary and Quaternary aquifer units into a digital geological model. Using 125 selected drillholes as a base of 28 networked cross-sections, small-scale lithological and structural heterogeneities, in particular of the Quaternary layers, could be assigned to 31 litho-stratigraphic sedimentation units and depicted using a 10 x 10 m GIS grid. An assignment of hydraulic parameters to individual sedimentary bodies allows a combination with flow and transport models. The structural model was generated by combining gridding sections and additional point and lateral information of sediment distribution and allows -beyond visualisation purposes- volumetric calculations of distinct sedimentary units, which are relevant for an assessment of retardation processes in the remaining lignite seam. The present structural model is the base for a „Spatial Model Bitterfeld“ and enables further investigations on the environmental impact of different scenarios.

Prof. Dr. P. Wycisk, H. Fabritius,
Martin-Luther-Universität, FG: Umweltgeologie,
Institut f. Geologische Wissenschaften,
Domstr. 5, 06108 Halle/Saale,
Telefon: 0345-5526-134, Telefax: 0345-5527-177,
E-Mail: wycisk@geologie.uni-halle.de

Dr. R. Ruske,
GEO-M BGmbH,
Köthener Str. 34, 06118 Halle/Saale

Dr. H. Weiß,
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH,
Projektbereich Industrie- und Bergbaufolgelandschaften,
Permoserstr. 15, 04318 Leipzig,

Eingang des Beitrages: 12.04.2002

Eingang des überarbeiteten Beitrages: 25.06.2002

Einführung und Zielstellung

Die digitale 3-D-Bearbeitung von geologischen Strukturmodellen in heterogenen Aquiferen, die z. T. durch großflächige Braunkohletagebaue noch zusätzlich überprägt wurden, ist bis heute sowohl von der flächendeckenden Informationsverfügbarkeit, als auch von der modelltechnischen Handhabung nach wie vor schwierig und sehr aufwendig. Vor dem Hintergrund der regionalen Schadstoffbelastung von Grundwasserleitern und den komplexen hydraulischen Verhältnissen aufgrund des eingestellten Braunkohlebergbaus im Raum Bitterfeld, wachsen jedoch die Ansprüche sowohl an die Aussagegenauigkeit als auch an die flächendeckende Verfügbarkeit von digitalen geologischen Daten. Nicht zuletzt werden in einem solchen Zusammenhang an das räumliche Verständnis bezüglich der Heterogenität und Lagebeziehung hydraulisch relevanter Schichtkörper besondere Anforderungen gestellt, die Einfluss auf die Beurteilung des Strömungs- und Transportverhaltens der Kontaminanten haben.

Das hier beschriebene digitale geologische Strukturmodell ist ein Teilmodul innerhalb des „Raummodells Bitterfeld“, das im Rahmen des Teilprojekts E1.1 „Umwelt- und Raumverträglichkeit“ innerhalb des SAFIRA-Verbundvorhabens erarbeitet wird. Eine aktuelle Übersicht zu den Zielen des Verbundvorhabens und dem Modellstandort wurde in WEISS et al. (2001) zusammenfassend dargestellt. Bei dem Raummodell Bitterfeld handelt es sich um ein GIS-gestütztes, flächennutzungsbezogenes geologisch/hydrogeologisches Rauminformationssystem, das standort-abhängige Informationen zur Situationsbewertung und zur Planung und Implementierung von Sanierungstechniken enthält. Aufgrund der Komplexität der Problemstellung sowie der Großräumigkeit der Kontamination stellt dieser integrative Ansatz mit digital verfügbaren Informationen zum geologischen Untergrund, der hydrogeologischen Situation, den Kontaminanten und den Schutzgütern einschließlich der aktuellen Flächennutzung sowohl die notwendige Grundlage für zu entwickelnde weitergehende Bewertungsverfahren, als auch für lokale und regionale Aussagen der hydrostratigraphischen Situation und zur Regionalisierung von Kontaminationsdaten dar (WYCISK et al. 1997, WYCISK 1998).

Vor diesem Hintergrund gehen die Anforderungen an ein digitales 3-D-Geologie-Modell über konventionelle Strukturmodelle als Bestandteil von gängigen hydraulischen Modellen oder Visualisierungstools deutlich hinaus, da aufgrund der Heterogenität und z. T. irregulären Geometrien der einzelnen sedimentologischen Körper eine detaillierte und geometrisch korrekte Wiedergabe nur eingeschränkt möglich war.

Folgende Voraussetzungen und Auswertefunktionen sind für die Aufgabenstellung im Projekt zur Beurteilung der standort-abhängigen Situation notwendig:

- Optimale Erfassung und Abbildung der sedimentologischen Körper, auch bei sehr unterschiedlicher Bohraufschlussdichte,
- Optimale 3-D-Modellierung sowohl von natürlichen als auch anthropogenen lithostratigraphischen Körpern,
- Abbildung der Mächtigkeitsverteilung und Berechnung der Kubaturen, einschließlich ihrer Höhenlage NN,
- Positionierung beliebiger vertikaler und horizontaler Profilschnitte sowie deren Verknüpfung im Modell,
- Erstellung von virtuellen Bohrungen,
- Einbindung von hydrogeologischen Messwerten und Kontaminanten,
- Parametrisierung der Zellen einzelner Schichtkörper nach unterschiedlichen Anforderungen,
- Übernahme des digitalen Datensatzes über Schnittstellen in die Strömungs- und Transportmodellierung sowie
- Vollständige GIS-Fähigkeit mit konventionellen Systemen, wie z. B. ArcView.

Das Modellgebiet Bitterfeld-Süd

Im Rahmen des Verbundvorhabens wurde daher in einem ersten Schritt ein digitales geologisches 3-D-Modell für den Südraum Bitterfeld mit ca 4 x 4 km Kantenlänge aufgebaut. Der nördliche Modellbereich Wolfen – Jeßnitz wird aktuell bearbeitet. Das Modell umfasst eine Schichtenfolge bestehend aus 31 lithostratigraphischen Körpern und reicht von der Geländeoberkante bis zur Oberkante des Rupeltons. Die Flächenverteilung in der Region mit den Industrie- und Siedlungsflächen sowie dem gravierenden Einfluss des Bergbaus zeigt Abbildung 1 im Überblick.

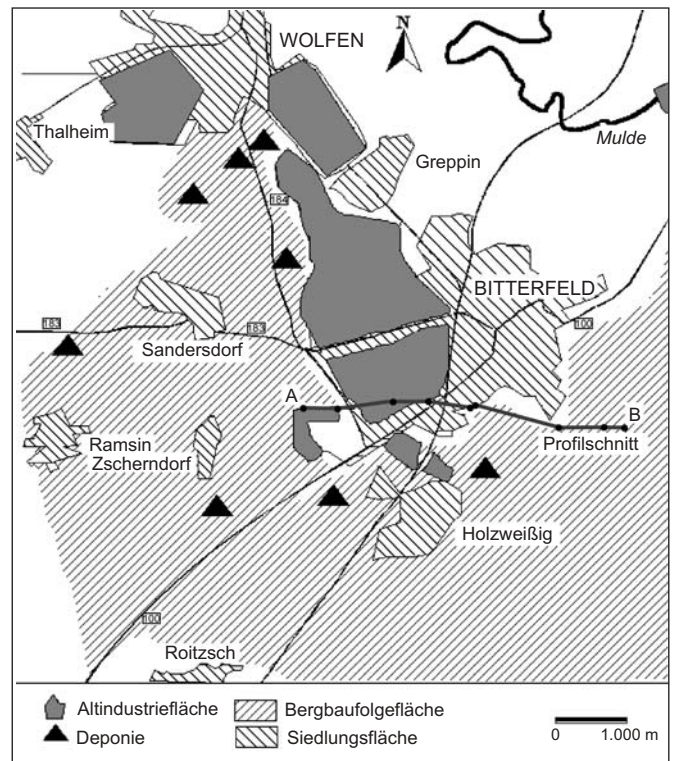


Abb. 1: Wesentliche Flächenkategorien im Gebiet Bitterfeld – Wolfen und Lage des Profilschnitts Abb. 2.

Die Datengrundlage des geologischen Modells besteht auf der Basis von 125 Bohrungen, die in 28 Profilschnitten auf der Fläche von ca. 16 km² vernetzt wurden. Die Auswahlkriterien für die Bohrdaten waren regionale Verteilung, maximale Teufe, Qualität und Interpretierbarkeit der Bohrverzeichnisse. Die Bohrdaten entstammen dem Datenbestand der GFE Halle, dem UFZ Leipzig-Halle, dem ÖGP Bitterfeld-Wolfen und dem GLA Halle. Im Gegensatz zu reinen bohrpunktgestützten Auswerteprogrammen, ist hier die profilschnittgestützte Vorgehensweise grundlegend für die nachfolgenden Modellierarbeiten. Aufgrund der stratigraphischen Untergliederung und starken Heterogenität der quartären Einheiten wurden 31 lithostratigraphische Horizonte (Körper) auf der Basis von 37 modellierten Höhenrasterflächen bearbeitet. Die im Modell verwendete Rasterzellengröße von 10 x 10 m orientierte sich an der Auflösung des zur Verfügung stehenden amtlichen Höhenmodells (DGM). Da für die Modellierung ein geschlossenes Höhenmodell zwingend ist, mussten aufgrund der weitläufigen Bergbauflächen im Gebiet Bitterfeld die bestehenden Löcher im Modell nachdigitalisiert werden. Für den westlichen Randbereich der Goitsche wurde ein der Auflösung angepasster Datensatz freundlicherweise durch Frau Prof. Dr. C. Gläßer, Institut f. Geographie, Martin-Luther-Universität Halle, zur Verfügung gestellt.

Hydrostratigraphische Gliederung

Das hydrogeologische Strukturmodell des Raumes Bitterfeld wird geprägt von zahlreichen Grundwasserleitern, grundwasserhemmenden Einlagerungen und einem mehr als zehn Meter mächtigen Grundwassergeringleiter, dem Rupelton des Oligozän. Unter ihm treten noch geringmächtig vorwiegend eozäne

Sande, Schluffe und Braunkohlen auf, die von Festgesteinen der Trias und des Permokarbons (vorwiegend Prophyre) unterlagert werden. Da in diesen tieferliegenden Sedimenten größere Anreicherungen organischer Schadstoffe nicht beobachtet wurden, endet das im Folgenden zu betrachtende Strukturmodell mit dem Rupelton, in dem k_f -Werte von $< 1 \cdot 10^{-12}$ m/s bestimmt wurden. Er ist großflächig im gesamten Raum Bitterfeld – Wolfen verbreitet. Der W-E verlaufende Profilschnitt (Abb. 2) zeigt die typische Schichtfolge einschließlich der Kippenverbreitung. Der Rupelton wird von einem zwei bis fünf Meter mächtigem sandig-tonigen Schluff überlagert, dessen glaukonitführende feinsandige Einlagerungen ihm den Namen Glaukonitschluff gegeben haben. Auch er ist ein Grundwassergeringleiter ($k_f = 10^{-9}$ – 10^{-11} m/s). Die Oberfläche des Rupeltons ist strukturiert durch eine im Bereich der Stadt Bitterfeld rinnenartige Eintiefung nach Osten, die von 30 mNN auf 0 mNN im Raum des ehemaligen Braunkohlentagebaus Goitsche abfällt. Eine weitere talartige Vertiefung verläuft im Raum Wolfen nach N-NE. Über Rupelton und Glaukonitschluff liegt eine 20 bis 30 m mächtige Serie von miozänen feinkörnigen Sanden, die von unten nach oben in Glaukonitsand, Unterer und Oberer Glimmersand (Cottbuser Schichten) geteilt wird. Er ist der unterste bedeutende und durchgängige Grundwasserleiter der Region. Unterer und Oberer Glimmersand werden stellenweise durch den „Breitenfelder Horizont“ geteilt, eine Folge geringmächtiger kohligler Schluffe und Tone wechsellagernd mit Mittel- bis Grobsanden. Der basale Glaukonitsand geht kontinuierlich in den Unteren Glimmersand über. Hinsichtlich ihrer hydraulischen Eigenschaften bilden beide eine Einheit. Lithologisch ist es ein mittelsandiger bis schwach mittelsandiger und schwach schluffiger Feinsand, in dem oft die feinkörnigen Sedimente in dünnen Lagen angereichert sind. Bestimmungen von k_f -Werten ergaben 10^{-6} bis 10^{-5} m/s, vertikale Durchlässigkeiten zeigen $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Die k_f -Wertbestimmungen beruhen auf Slug- und

Bailtests, Pumpversuchsauswertungen und Korngrößenbasier-ten k_f -Wertbestimmungen nach BEYER. Die vertikalen Durchlässigkeiten wurden in Säulenversuchen bestimmt. Zum Hangenden folgt der „Breitenfelder Horizont“, der vorwiegend in der Umgebung von Bitterfeld vorkommt. Es ist ein grundwasserhemmender Horizont mit Durchlässigkeiten von bis 10^{-8} m/s. Der Obere Glimmersand ist ein ungeschichteter feinsandiger Mittelsand, der scharf begrenzt über dem Breitenfelder Horizont oder Unterem Glimmersand lagert. Teilweise ist er schwach grobsandig. Sein k_f -Wert reicht von 10^{-4} bis 10^{-5} m/s. Die vertikale Durchlässigkeit beträgt $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Der Glimmersand wird im Raum Bitterfeld – Wolfen von den Braunkohlen des miozänen Flözhorizontes überlagert. Es sind mehrere Flöze mit 8 bis 10 m Mächtigkeit, die in Senken mehr als 15 m erreichen. Diese Kohlen, hydraulisch als grundwasserhemmend bis geringleitend eingestuft, waren Gegenstand eines mehr als 150 Jahre dauernden Bergbaus. Über den Kohlen folgt westlich und südlich Bitterfeld der sogenannte Decktonkomplex, eine Serie von Tonen und kohliglen Schluffen, die zum Teil mehr als 10 m mächtig und in die dünne Sandschichten eingelagert sind. Es ist ein grundwasserstauer Horizont. Über diesen Sedimenten des Tertiärs lagert eine vorwiegend sandig-kiesige Schichtenfolge des Pleistozäns und Holozäns. Sie wird dominiert von fluviatilen Ablagerungen der Mulde, die während der Saale- und Weichselzeit sowie im Holozän entstanden sind. Es sind Wechsellagerungen von Kiesen mit grob- und feinkörnigen Sanden. Die saalezeitlichen Kiessande der Mulde sind nur westlich von Bitterfeld verbreitet. Ihre Basis liegt bei 75 bis 82 mNN. Die weichselzeitliche Niederterrasse der Mulde ist im Raum Bitterfeld – Wolfen weit verbreitet. Ihre Basis liegt zwischen 63 und 65 mNN. Es sind bis 14 m mächtige zum Teil gut grundwasserleitende Sande und Kiese, in die schluffig-tonige Hori-

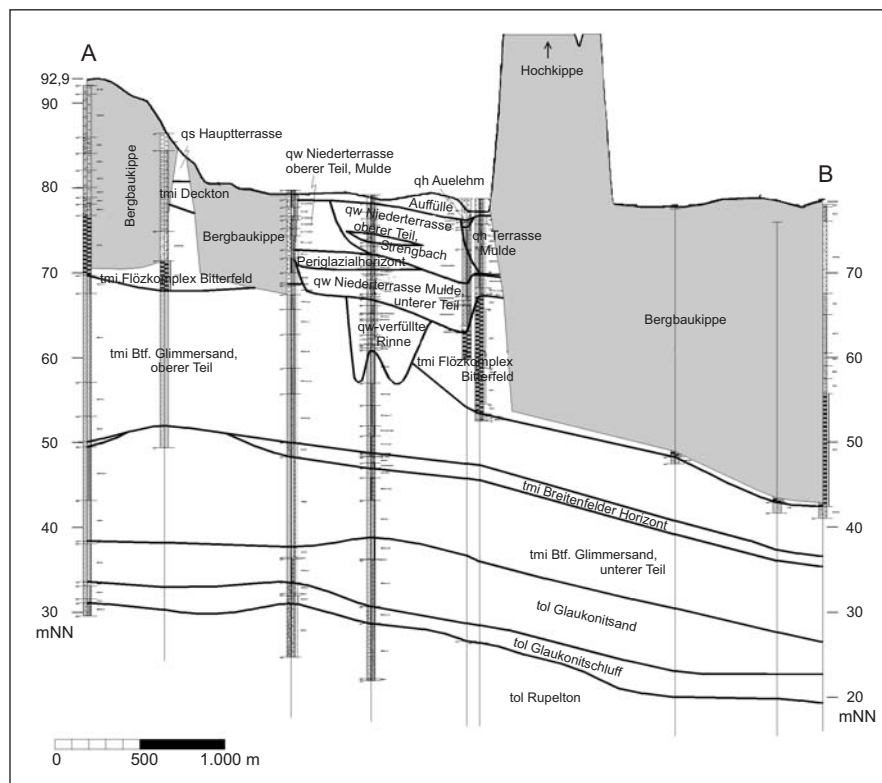


Abb. 2: Profilschnitt A–B mit gebietstypischem Schichtenaufbau im Tertiär und ausgeprägten Heterogenitäten in den verbliebenen quartären Sedimenten.

zonte eingelagert sind, die örtlich auch Torfe enthalten. Sehr wichtig ist hierbei eine ca. 1 bis 2,5 m mächtige interstadiale Schluff-Sand-Ton-Torffolge, die periglazial überprägt als lokaler Grundwasserhemmer bei etwa 70 mNN auftritt (k_f -Wert von 10^{-7} bis 10^{-9} m/s) und den Grundwasserleiter in eine untere und obere Folge trennt. In den Sanden und Kiesen überwiegen k_f -Werte von 10^{-3} bis 10^{-4} m/s (RUSKE et al. 1997).

Westlich und nordwestlich Bitterfeld ist unter der Basis der Niederterrasse eine z. T. 15 m mächtige sandig-kiesige Rinne vorhanden, deren Geröllführung der Niederterrasse der Mulde gleicht. Diese fluviatile Rinne ist zumeist 200 m breit und wurde vom Südrand von Bitterfeld bis nach Greppin beobachtet. Ihr Verlauf folgt in seinen Konturen dem alten Uferrand der eem-interglazialen Mulde. Die kiesigen und z. T. kohligen Sande der fluviatilen Rinne sind gut wasserdurchlässig mit k_f -Werten von 10^{-3} m/s. Eingetieft ist die Rinne entweder in Glimmersande oder in Braunkohle. Ihre gegenüber den umgebenden Sedimenten höhere Wasserwegsamkeit charakterisiert sie als lokales Drainageelement, das sich in nordwestliche Richtung erstreckt. Zu Beginn des Holozäns wurde der Ostteil der Niederterrasse der Mulde im Raum Bitterfeld – Wolfen wieder abgetragen und darin die jüngste Terrasse der Mulde, die von Auenlehm bedeckt wird, sedimentiert. Die Terrassensedimente sind relativ homogen ausgebildet und es herrschen Durchlässigkeiten von 10^{-3} bis 10^{-4} m/s vor.

Diese Abfolge von hydrologisch relevanten natürlich geologischen Einheiten wurde gestört durch den umfangreichen Braunkohlenbergbau. Ausgekohlte Flächen westlich von Bitterfeld wurden durch Abraum der Kohle wieder aufgefüllt. Östlich Bitterfeld entstand ein großes Restloch. Hydrogeologisch bedeutend ist der Hinweis, dass die Kippen westlich Bitterfeld vorwiegend aus Schichten des Decktons aufgebaut werden und damit schlecht wasserdurchlässig sind (k_f -Wert von 10^{-7} bis 10^{-8} m/s). Östlich und südöstlich Bitterfeld dominieren in den Kippen sandige Ablagerungen mit besseren Durchlässigkeiten.

Modellbildung

Basis einer digitalen geologischen Raummodellierung mit GeoObject 2 (SOBISCH 1998) ist die Profilschnittvernetzung, der ein konventionelles Schichtenmodell des Modellgebietes zugrunde liegt. Die in Abbildung 2 wiedergegebene Schnittkorrelation der stratigraphischen Einheiten wird in einer GeoDin 3.0-Datenbank dokumentiert (FUGRO Consult). Die stratigraphische und lithofazies-orientierte Bearbeitung der Schnitte ermöglicht, trotz des relativ großen Arbeitsaufwandes, eine vollständige Plausibilitätskontrolle bei der Schnittvernetzung und eine möglichst differenzierte Parametrisierung im Modell. Das Zusammenfassen von lithologisch bzw. sich hydraulisch ähnlich verhaltenden Schichtcharakteristika ist bei einer nachfolgenden Strömungs- oder Transportmodellierung problemlos möglich. Die erstellten Profilschnitte werden geo- und höhenreferenziert (mNN) und gezielt auf Datenpunkte abgetastet, sodass für jede Schichtuntergrenze des Modells Punktdatensätze diskreter Punkte mit X-, Y- und Z-Koordinaten als Datenbasis entsteht. Zusätzlich müssen, je nach Verbreitung einer Schicht, Ausbisslinien und laterale Schichtgrenzen als diskrete Datenpunkte der Datenbasis hinzugefügt werden. Dabei ist die Möglichkeit, Informationen zur lateralen Verbreitung aus Karten einzubinden, wie z. B. die Kippenverbreitung oder paläogeographische Infor-

mationen von Rinnenstrukturen, für eine Reihe von geologischen Körpern aufgrund der nicht ausreichenden Bohraufschlüsse grundlegend und auch notwendig.

Auf dieser Datenbasis wird während der Modellierung ein erstes Roh-Raster erzeugt. Dabei wird aus den Datenpunkten durch Vermaschung (Delauney-Triangulation) ein trianguliertes irreguläres Netz (TIN) erstellt. Das so entstandene Triangulationsnetz wird im Triangeleditor von GeoObject 2 in den Randbereichen bereinigt und überarbeitet. Dabei ist es möglich, einzelne Dreiecksvermaschungen im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten umzulegen und somit den Verlauf der Isolinien und die Oberfläche der Schichtunterseiten zu optimieren. Das fertige TIN (Abb. 3) kann über vier verschiedene Algorithmen (Triangulationsverfahren C0 und C1, Kriging, 2-D-Inverse-Distance-Weighting) in ein Höhenraster konvertiert werden. Während das lineare C0-Verfahren ein einfaches Verbinden der Dreiecksebenen zu einer Schichtfläche darstellt, berücksichtigt das auf finiten Elementen basierende C1-Verfahren die Steigungsgradienten der Nachbartriangeln und erzeugt eingebogene, einander angegliche Dreiecksebenen zur Glättung der entstehenden Oberfläche. Damit ist das C0-Verfahren besonders für die kantigen Geometrien der anthropogenen Schichtkörper geeignet, während dessen das C1-Verfahren für die anstehenden originären Schichten genutzt wurde.

Unplausible Bereiche und unerwünschte Schichtdurchdringungen können durch Profiliteration überarbeitet und korrigiert werden. Dazu werden eine Reihe von Profilen auf der Basis des Rohrasters generiert, die manuell korrigiert als diskrete Datenpunktketten mit der Datenbasis verkettet werden. Mit der neuen, erweiterten Datenbasis wird dann auf dem gleichen Wege ein neues Raster erstellt. Diese Korrekturmaßnahme lässt sich beliebig oft wiederholen. Speziell die Modellierung von anthropogen geformten Sedimentkörpern, wie Kippenkörpern oder Rest-Kohlebeständen in den Bergbaufolgebereichen weichen hier aufgrund ihrer Flankenwinkel bei der 3-D-Modellierung

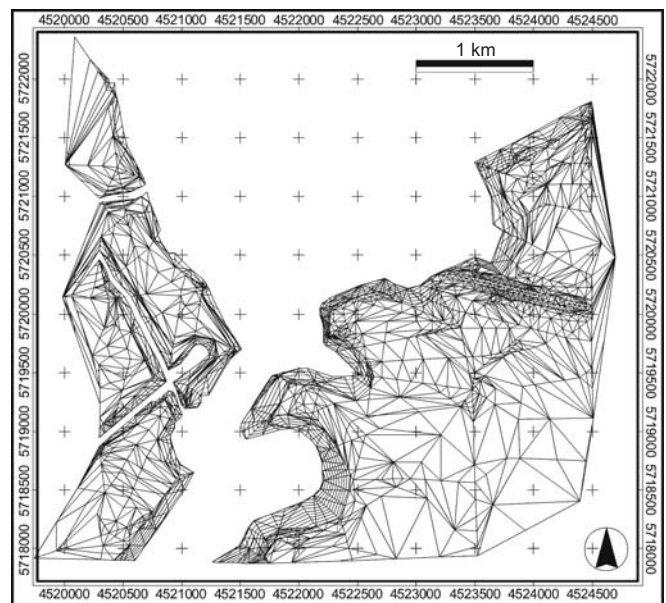


Abb. 3: Das Triangulationsnetz der Kippenunterseite im Raum Bitterfeld-Süd beruht auf ca. 1.200 Datenpunkten. Komplizierte Geometrien der Böschungen, Straßenpfeiler und Restkohlebestände erfordern eine hohe Dichte von Datenpunkten.

deutlich von natürlich gebildeten Sedimentstrukturen ab und bedürfen einer Ergänzung der Punktdatensätze durch Erstellung und Abtastung iterativer Profilschnitte.

Die fertigen Höhenraster müssen zueinander in Relation gebracht werden. Dies geschieht anhand einer Tabelle (Sfb-Modell) in der die einzelnen Raster ihre Identifikation erhalten. Über die Tabelle wird gleichzeitig die Schichtenabfolge beschrieben. Das digitale Höhenmodell (DGM) bildet im Raummodell immer die erste Schicht. Über die Zuordnung verschiedener Parameter für eine Schicht können thematische, parameterbezogene Modelle erstellt werden.

Beispiele und Anwendungsmöglichkeiten

Die Erstellung des Triangulationsnetzes der komplexen Kippenkörper wird in Abbildung 3 gezeigt. Die Abbildung zeigt das Triangulations-Netz der Schichtunterseite der Kippenkörper, die aufgrund ihrer steilen Flankenwinkel und der irregulären Umgrenzung sehr aufwendig zu modellieren sind. Der Triangulation liegen ca. 1.200 Einzelpunkte zugrunde, die sich aus Primärpunkten der Bohrungen und aus den abgetasteten Sekundärdatensätzen der Schichtkorrelationen (Profilschnitten) zusammensetzen. Dieser Datenbestand wird, im vorliegenden Fall besonders wichtig, durch die Kippenverbreitungsgrenzen und durch Iterationsprofile ergänzt.

Die Iterationsprofile dienen der Plausibilitätsprüfung der Schichtunterkanten und der Verdichtung des Punktdatensatzes der Triangulation. Die unregelmäßig aufgebauten Kippenkörper und die verbleibende Restbraunkohle sind aus hydrogeologischer Sicht von großer Bedeutung für künftige Strömungs- und Transportmodelle. Diese beiden Beispiele machen deutlich, dass eine ausschließlich auf Bohrpunktkorrelationen gestützte Interpolation derartige irreguläre Strukturen nicht hinreichend geometrisch korrekt abbilden könnte.

Die Mächtigkeitsdarstellung der Kippenkörper (Abb. 4) ist hier in 5 m-Schritten wiedergegeben, umfasst auch die Bereiche der Hochkippen. Diese Darstellung lässt sich z. B. mit der Höhenlage der Kippenbasis kombinieren und damit auch zur Plausibilitätsprüfung der Positionierung von Grundwassermessstellen im Modellgebiet einsetzen. Als besonders hydrogeologisch relevant sind die Sicherheitspfeiler im Straßenverlauf im Westen des Modellgebietes einzuschätzen, da hier die unverritzte quartäre Schichtenfolge ansteht. Die gut durchlässigen quartären Sedimente der Straßenpfeiler sind dabei von geringdurchlässigeren Kippensedimenten umgeben. Mögliche Auswirkungen auf die Ausbreitung der Kontaminanten ist im Einzelnen noch unklar. Die 3-D-Visualisierung von Schichtkörpern hat nicht nur einen didaktisch-informativen Charakter, sondern dient sowohl dem Verständnis komplexer räumlicher Zusammenhänge als auch deren Konsistenz in Bereichen geringer Informationsdichte. Die Informationsverschneidung des geologischen Strukturmodells mit weiteren Sachthemen erweitert die verfügbare (abrufbare) Information in einer beliebigen räumlichen Auflösung grundlegend. Ein wesentlicher Aspekt in der Nutzung von digitalen Raummodellen ist die Zusammenführung von georeferenzierten Raum- und Flächeninformationen, die durch Informationsüberlagerung und Verschneidungsoperationen nicht nur eine effizientere, sondern auch eine grundlegende Qualitätssteigerung in der Informationsnutzung ermöglichen. Dieses

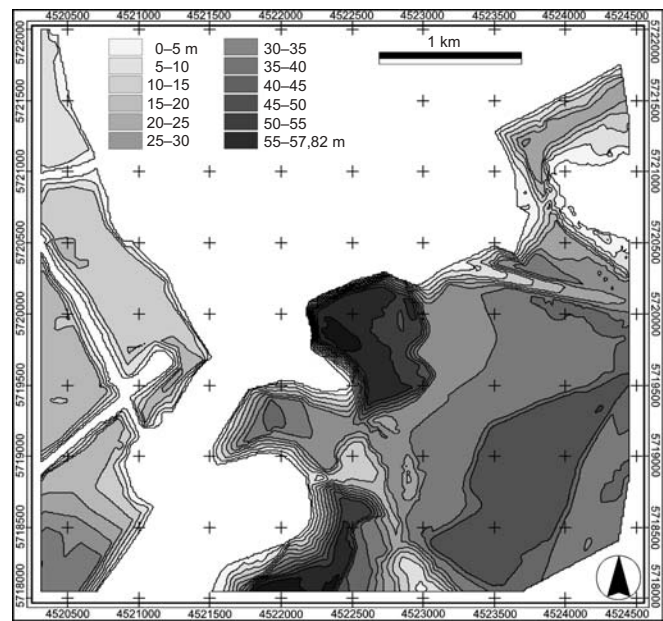


Abb. 4: Die Mächtigkeitsverteilung der Bergbaukippen mit Isolinienabständen von 5 m stellen ein Beispiel für die Auswertung des Raummodells dar.

Vorgehen wird auch seitens der Geologischen Dienste in den einzelnen Bundesländern durch den Aufbau von hydrogeologischen Fachinformations-Systemen zunehmend aktiv vorangetrieben (u. a. RICHTER et al. 2001).

So kann in diesem Projekt erstmals die 3-D-Modellierung der Rest-Braunkohle für den Bereich Bitterfeld-Süd erfolgen (Abb. 5). Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten wird für den SE-Bereich des Gebietes Rest-Kohlenmächtigkeit von < 2 m als ungleichmäßiger Abbaurest auf der ehemaligen Tagebausohle angenommen. Die unverritzten Bereiche weisen scheinbare Mächtigkeiten von bis zu 20 m auf. Die Abbaugrenzen wurden aus Karteninformationen plausibilitätsgeprüft umgesetzt.

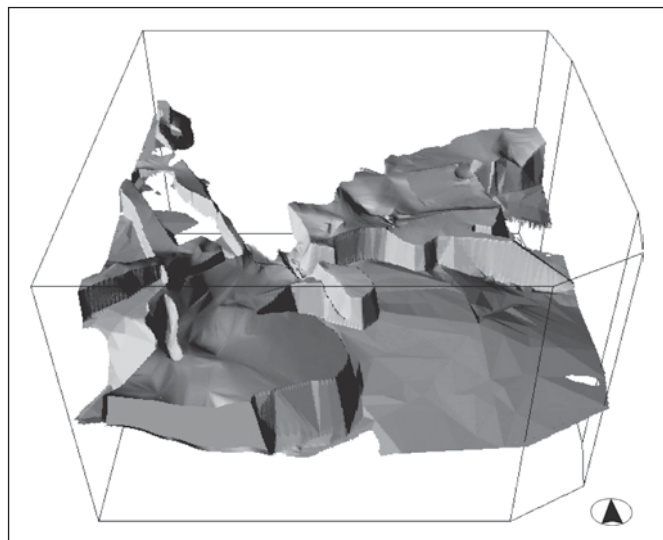


Abb. 5: 3-D-Modell der Braunkohle im Bereich Bitterfeld-Süd. Die Restbraunkohle in den ehemaligen Abbaubereichen weist eine Mächtigkeit von < 2 m auf (Überhöhung 25fach, Kantenlänge: ca. 4 km)

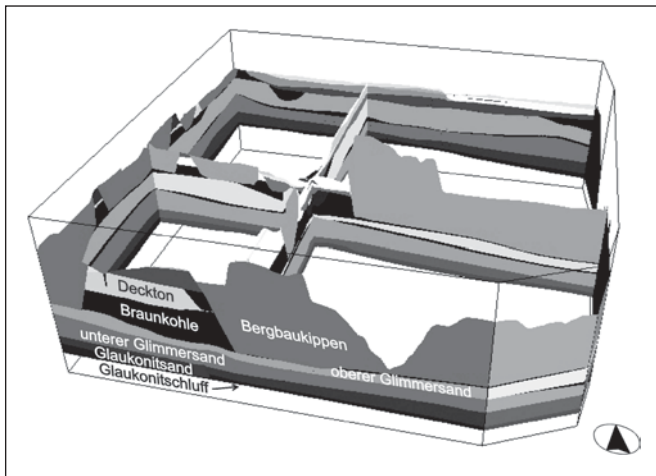


Abb. 6: Virtuelle Profilschnitte des 3-D-Modells in lithostratigraphischer Gliederung. Der SAFIRA-Modellstandort befindet sich im Kreuzungspunkt der Profilschnitte. (Überhöhung 15fach, Kantenlänge: ca. 4 km)

Auf diesem Wege gelingt es erstmals annäherungsweise das Volumen der verbliebenen Restkohle mit $71 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ auf einer Gesamtfläche von $12,35 \text{ km}^2$ im Modellgebiet anzugeben. Ausgehend von diesen ersten konkreten Abschätzungen lassen sich weitergehende Fragestellungen bezüglich der Sorptions- und Desorptionspotenziale der Kohle im Hinblick auf das Schadstoffverhalten der organischen Kontaminanten im Raum konkretisieren.

Die Profilschnitte des Raummodells in Abbildung 6 geben einen Überblick über die stratigraphische Abfolge im Modellgebiet. Der Kreuzungspunkt der vertikalen Profilschnitte entspricht hier dem Modellstandort SAFIRA. Die Profilschnitte können innerhalb des Modellgebietes beliebig angeordnet und so als Referenz- oder Prognoseschnitte genutzt werden. Dies schließt die Abfrage nach unterschiedlichen Schichtparametern mit ein.

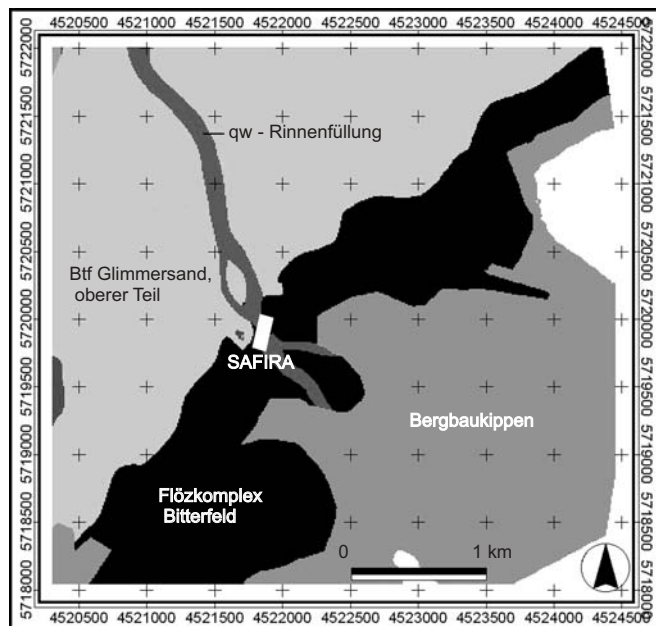


Abb. 7: Virtueller Horizontalschnitt des Strukturmodells bei 58 mNN, dem Niveau der Filterpositionen der SAFIRA-Brunnenschächte.

Beispiel eines horizontalen Profilschnitts durch das Modellgebiet zeigt Abbildung 7. Der Horizontalschnitt liegt bei 58 mNN, d. h. er bildet das geologische Strukturmodell im Niveau der Horizontalfilterposition der Brunnenschächte am SAFIRA-Modellstandort ab. Im Niveau 58 mNN ist im NW des Modellgebietes der Bitterfelder Glimmersand (Oberer Teil) vertreten, in den eine NW-SE verlaufende quartäre Rinnenfüllung als potenzielles Drainageelement eingeschnitten ist. Im Bereich des Modellstandortes sitzt die Rinnenfüllung dem Flözkomplex Bitterfeld auf und erodiert ihn zum Teil. Im SE des Gebietes schließen sich im Profilniveau die Kippensedimente des Tagebaukomplexes Goitsche an, dessen Restloch sich im NE andeutet. Grenzen des Modells ergeben sich durch die Zellgröße ($10 \times 10 \text{ m}$) und durch die maximale Schichtanzahl. Daher ist bei der Modellerstellung ein höchstmöglicher Detaillierungsgrad anzustreben. Dadurch ist die digitale Umsetzung von Schichten mit einer lateralen Ausdehnung geringer als 10 m , z. B. Bachbetten nicht realitätsnah möglich. Ebenfalls von Bedeutung für nachfolgende Auswertungen ist die horizontale und vertikale Auflösung und Untergliederung der Schichten nach stratigraphischen, lithologischen und hydrogeologischen Aspekten. Grenzen der Auflösung und der Aussagegenauigkeit ergeben sich sowohl aus der Qualität der zur Verfügung stehenden digitalen Höhenmodelle, als auch dem Abdeckungsgrad und der Qualität (Alter) der Bohraufschlüsse in Relation zur Heterogenität der Sedimentkörper (SBRESNY 1997, NACHTNEBEL et al. 1993, SCHWEITZER 1996). Die kontinuierliche Fortschreibung des Modells durch neue Bohraufschlüsse und daraus ggf. resultierende Korrekturen können jederzeit durchgeführt werden. Nicht zuletzt ist die Umsetzung unscharfer oder vermuteter Schichtgrenzen im klassischen Sinne sowie graduelle Übergänge (z. B. Glaukonitsand/Unterer Glimmersand) nicht möglich. Für solche Bereiche müssen definierte Grenzen gesetzt werden.

Zusammenfassung

Die vergangene, aktuelle und künftige Charakterisierung der Verbreitung schadstoffhaltiger Grundwässer im Grundwasserschadensgebiet der chemischen Industrie des Raumes Bitterfeld – Wolfen ist ohne eine detaillierte Kenntnis der geologischen Strukturen einschließlich der anthropogenen Eingriffe durch den Braunkohlenbergbau, verbunden mit umfangreichen zeitweiligen Grundwasserabsenkungen und der Ablagerung von Abraummassen in Form von Kippen nicht möglich. Gleichzeitig kann das geologische Modell bei künftigen Sanierungsentscheidungen Prognosen für ortskonkrete Aussagen (virtuelle Profile und Bohrungen) zur Implementierung von technischen Maßnahmen liefern.

Die Modellierung des geologischen Untergrundes umfasst eine Reihe von aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten, die von der digitalen Erfassung der Bohrdaten in GeoDin, einer nachfolgenden Profilschnitt-Korrelation und der Weiterverarbeitung in GeoObject 2 als eigentlichem Modellierungsprozess mit nachgeschalteten Auswertemodulen und 3-D-Visualisierungstools.

Die Modellbildung auf der Basis einer Profilschnitt-Korrelation ist in diesem sehr heterogenen quartären Grundwasserleiter mit seinen Bergbaukippen eine effektive und vom Ergebnis her vorteilhafte Methode, die im Gegensatz zu rein bohrpunktgestützten Programmen, die der Modellbildung interpretierte

geologische Schichtkörper zugrunde legt. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine stärker auf Fazieskonzepten basierende Modellbildung, die einer unregelmäßigen Bohrdichte und schnellen Fazieswechseln in den quartären Grundwasserleitern gerecht wird. Die Einbindung in das GIS ArcView und die Möglichkeiten, das digitale Raummodell anschließend für die Erstellung hydrogeologischer Strömungsmodelle direkt zu verwenden, eröffnet neue Möglichkeiten in der weiterführenden Modellnutzung. Unterschiedliche Auswertefunktionen in den Zusatzmodulen des GeoObjekt 2 und ArcView ermöglichen eine detaillierte und ortskonkrete Analyse und Prognose geologischer und hydrogeologischer Aussagen im Sinne eines GIS-gestützten geologischen Rauminformationssystems.

Danksagung

Das BMBF förderte Teile dieses Vorhabens dankenswert im Rahmen des SAFIRA-Verbundvorhabens E1.1 unter der Fördernummer FKZ: 02WT0023. Darüber hinaus gilt unser Dank dem ÖGP Bitterfeld-Wolfen für seine kooperative Zusammenarbeit. Herr Dr. Sobisch unterstützte das Vorhaben durch seine Beratung zur Optimierung spezieller Lösungen im Umgang mit GeoObject 2.

Literatur

NACHTNEBEL, H.-P., FURST, J., HOLZMANN, H. (1993): Application of geographical information systems to support groundwater modeling.- In KOVAR, K., NACHTNEBEL, H.-P. (Hrsg.): HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, IAHS Publ. 211: 653–664.

- RICHTER, J., DUTELOFF, T., FELIX, M. (2001): Das Fachinformationssystem Hydrogeologie im Umweltinformationssystem Sachsen – Stand und praktische Anwendung.- Grundwasser 6 (3): 123–131.
- RUSKE, R., HÜBNER, J., BÖHME, O., FALKE, P. (1997): Ergebnisse der geologisch-hydrogeologisch-geotechnischen Standorterkundung.- In: WEISS, H., TEUTSCH, G., DAUS, B. (Hrsg.): Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA), Bericht zur Machbarkeitsstudie für den Modellstandort Bitterfeld, UFZ Bericht 27/97: 14–17.
- SBRESNY, J. (1997): Fehlerquellen in Raumbezogenen Informationssystemen.- Geol. Jb. F33: 3–132.
- SOBISCH, H.-G. (1998): Ein digitales räumliches Modell des Quartärs der GK 25 Blatt 3508 Nordhorn auf der Basis vernetzter Profilschnitte.- Diss. Universität Köln.- 109 S.
- SCHWEITZER, R. (1996): Räumliche Modellierung beim Aufbau des Bodeninformationssystems.- Arb. H. Geol. 1: 11–17.
- WEISS, H., TEUTSCH, G., FRITZ, P., DAUS, B., DAHMKE, A., GRATHWOHL, P., TRABITZSCH, R., FEIST, B., RUSKE, R., BÖHME, O., SCHIRMER, M. (2001): Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA) – 1. Information zum Forschungsschwerpunkt am Standort Bitterfeld.- Grundwasser 6 (3): 113–122.
- WYCISK, P. (1998): Methodische Ansätze zur Prüfung der Umwelt- und Raumverträglichkeit von Reinigungswänden.- In: Sanierung von Altlasten mittels durchströmter Reinigungswände – UBA-Fachgespräch 1997, Dokumentation 1998: 52–69; Berlin.
- WYCISK, P., THIEKEN, A., DÖRING, U., NIESSEN, R., LACHMANN, S. (1997): Umwelt- und Raumverträglichkeit der Sanierungsvorhaben von regionalen Grundwasserkontaminationen.- In: WEISS, H., TEUTSCH, G., DAUS, B. (Hrsg.): Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA), Bericht zur Machbarkeitsstudie für den Modellstandort Bitterfeld, UFZ Bericht 27/97: 161–171.

