

Quelle: AG Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle. 2007

1.1. 3D-Raummodelle des geologischen Untergrundes

www.3d-geology.de

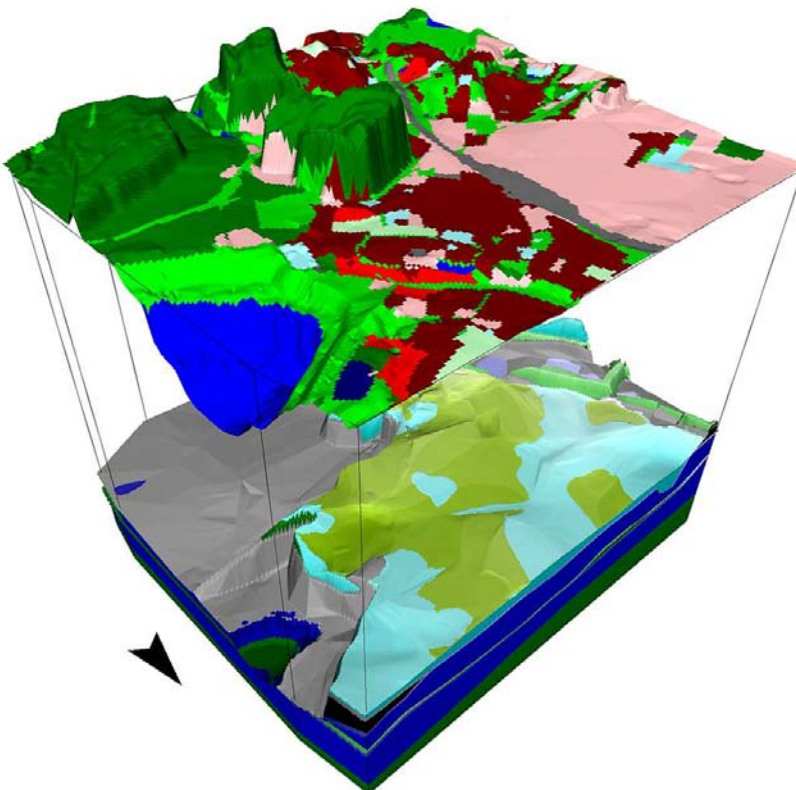
wurde von der Arbeitsgruppe Hydro- und Umweltgeologie als neue Informationsplattform zu Möglichkeiten und Anwendungen der 3D Geologie in unterschiedlichen Themenfeldern eingerichtet. Forschungsinstitutionen und interessierte Öffentlichkeit können die Plattform künftig als Austausch- und Präsentationsmedium nutzen. Aufgrund der mittlerweile sehr guten modellierbasierten interaktiven und animierten Visualisierung von geologischen Themen soll die Plattform eine Bündelungsfunktion speziell für die nationalen Forschungsaktivitäten erhalten. Die Internetseite soll thematisch und mit zunehmender Öffentlichkeitswirksamkeit im internationalen Jahr PLANET EARTH systematisch ausgebaut werden.

3D-Modelle und 3D-Visualisierungen sind seit einiger Zeit im Trend. Die Darstellung komplexer Sachverhalte, z.B. die Visualisierung geologischer Schichten in ihrer sowohl zeitlichen wie auch räumlichen Beziehung zueinander war in den Geowissenschaften schon immer ein wichtiges Thema, da das Abbild des geologischen Untergrundes in der Regel erst durch Bohrungen, Profile und konstruierte Bockbilder darstellbar wird. Nicht ohne Grund wächst jeder Geologe mit dem Spruch auf „Vor der Hacke ist es Dunkel“.

Wie bringt man nun „Licht“ in das Dunkel und welche Möglichkeiten bieten sich heute vor dem

Hintergrund neu entwickelnder Methoden und Techniken der modernen Datenverarbeitung mittels unterschiedlicher Visualisierungstechniken, Nutzung von Geoinformationssystemen und Werkzeugen zur „echten“ 3D-Modellierung.

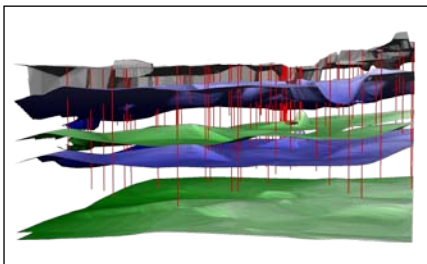
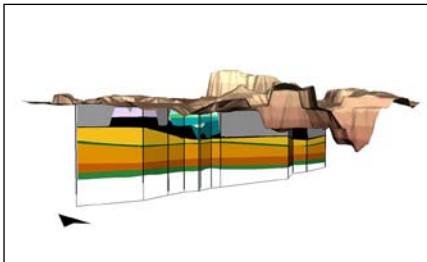
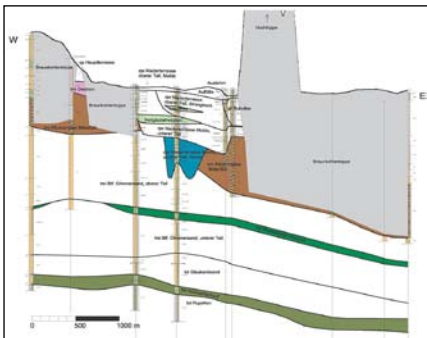
Diese Aufzählung macht schon deutlich, dass es hier offensichtlich wesentliche Unterschiede gibt, die sich allein an dem Endprodukt „Bild“ nicht ohne weiteres und offensichtlich nachvollziehen lassen. Da sich noch keine einheitliche Terminologie etabliert hat begegnet man zunehmend häufiger auf Tagungen oder in Publikationen sogenannten „3D-Modellen“, die angefangen von bildhaften 3D-Darstellungen über 2,5D-GIS-basierten Abbildungen zu echten 3D-Volumen-Modellen reichen. Nachfolgend wird versucht, die Unterschiede der jeweiligen Darstellungstechniken, den sich daraus ableitenden Produkten und die dahinter stehende Qualität der Informationen deutlich zu machen.



1.1a. 3D-Raummodelle erlauben die integrierte Darstellung der Erdoberfläche mit dem geologischen Untergrund.

Dabei lässt die thematische Bearbeitung der Landnutzung wie auch der geologischen Schichten unterschiedliche Kombinationen von Informationen zu. Das Beispiel zeigt einen Ausschnitt der Region Bitterfeld mit Landnutzung und hydraulischen Fenstern im oberen Grundwasserleiter auf 4 x 4 km.

1.2. Von der Bohrung zum 3D-Modell



1.2a-c. Bohrinformationen des geologischen Untergrundes dienen in der Regel als Ausgangsinformation der Untergrundstrukturen. Diese werden in 2D, 2,5D und 3D Modelle umgesetzt.

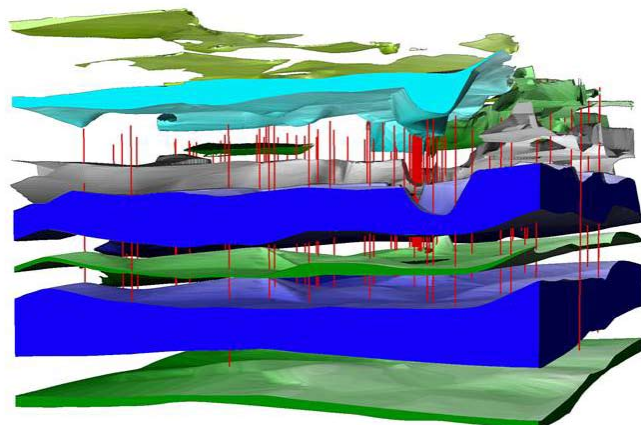
1.2d. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt des Raummodells Bitterfeld als 3D Strukturmodell (Volumenmodell), bei der zur besseren Sichtbarkeit die Einzelschichten mit einem „Luftpolster“ getrennt wurden.

Im Bereich Geologie und Hydrogeologie werden Aussagen zum tieferen Gesteinsuntergrund durch Aufschlussbohrungen ermöglicht. Diese 1D-Informationen ergeben ortsconkrete Aussagen, die wichtige Primärinformationen enthalten und in Verbindung mit weiteren Bohrinformationen flächenhafte bzw. räumlich interpretierbare Auswertungen ermöglichen.

In Regionen mit Festgesteinsverbreitung kann direkt aus der geologischen Karte durch Profilkonstruktionen der Gesteinsabfolge aufgrund der erkennbaren Schichtlagerung deren räumliche Lage konstruiert werden. Aufgrund der flächenhaften Darstellung in der Karte werden 2D-Profilschnitte konstruiert, die eine weitgehend plausible räumliche Beziehung der Gesteinsserien zueinander ermöglichen. Diese Konstruktion setzt jedoch einschlägiges Fachwissen bei der Karteninterpretation voraus und ist für regionale Darstellungen recht aufwendig.

Da in quartären Lockersedimenten (Ton, Sand, Kies) die einzelnen Schichten weitgehend horizontal, d.h. parallel zur Topographie verlaufen, können die kleinräumigen und z.T. unregelmäßig verbreiteten Sedimentkörper in derartigen 2D-Profilschnitten nur anhand von Aufschlussbohrungen konstruiert werden. Im Gegensatz zum Festgestein werden hier überwiegend bohrungsgestützte Profilschnitte eingesetzt, die über vernetzte Profildarstellungen die räumliche Lagebeziehung wiedergeben.

Damit wird deutlich, dass ein zentrales Problem in der Darstellung geologischer Sachverhalte in der Korrelation und Interpolation von Punktdaten liegt, die entweder zu vertikalen 2D-Profilschnitten oder zu horizontalen 2D-Verbreitungskarten als Flächenmodelle verarbeitet werden. Die Aussagegenauigkeit der Darstellung ist somit abhängig von der Datenverfügbarkeit, den eingesetzten Interpolationsverfahren und den modellbildenden Verfahren und Darstellungen.



1.3. Visualisierung versus Modellierung

Früher wurden die räumlichen Beziehungen von Gesteinsschichten durch Bohr- und Schichtlagerungsdaten rein geometrisch konstruiert und in Form von graphischen Blockbildern und Profilschnitten visualisierend dargestellt. Die moderne Form derartiger Visualisierungen können heute durch den Einsatz z.B. von StudioMax 3D in Verbindung mit digitalen Geländemodellen erzeugt werden. Grundlegend ist hier jedoch die Verarbeitung graphischer Vorprodukte, die zu einem räumlichen Bild zusammengestellt werden und gegebenenfalls in ihrer Anschaulichkeit durch Animation unterstützt werden können.

Dies ist und bleibt jedoch eine rein graphische Lösung.

Bei ausreichender Verfügbarkeit von Punktinformationen zur Interpolation einzelner Schichtflächen werden zunehmend allgemein verfügbare Geoinformationssysteme eingesetzt. Die so erzeugten Flächen stellen ein 2,5D-Modell dar. Dabei werden die Lagegeometrie (x , y) und die Höhe (z) als Attribut jedes Punktes dargestellt, wobei die Beschreibungsdichte abhängig von der Dichte der Lagegeometrie ist. Derartige Bearbeitungen werden häufig als „3D-Modell“ bezeichnet, was jedoch nicht korrekt ist, da die vollständige Beschreibung durch x -, y -, z -Koordinaten nicht erfolgt. 2,5D-Modelle sind Flächenmodelle, die nur in ihrem räumlichen Bezug zueinander dargestellt sind. Die GIS-basierte Vorgehensweise kann in der Regel keine Volumina von umschlossenen Körpern berechnen, weshalb aus sprachlicher Klarheit der Begriff des 3D-Modells im Sinne eines Volumenmodells vermieden werden sollte.

Geologische 3D-Untergrundmodelle gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie sowohl im Zusammenhang mit dem Einsatz von Geo- und Rauminformationssystemen als auch in Verbindung mit hydrogeologischen numerischen Modellanwendungen genutzt werden, die z.B. im Bereich der Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodellierung von Bedeutung sind. Der Einsatz dieser digitalen 3D-Untergrundmodelle ist jedoch in Deutschland noch nicht weit verbreitet, da sowohl der Arbeitsaufwand zur Modellerstellung als auch

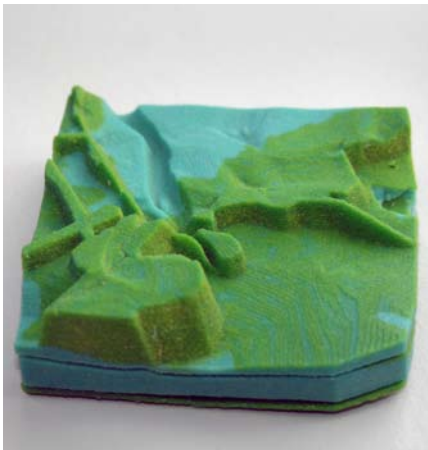


1.3a. Die 3D Modellierung am PC setzt sehr gute Kenntnisse sowohl der Geologie, wie auch der Software-Werkzeuge voraus.

der Datenbedarf sehr hoch sind. Die recht spezialisierten Programme wie z.B. GeoObjekt 2, GIS-3D, OpenGeo, GoCad, EVS/MVS, Earth Vision, Vulkan u.a. ermöglichen mit unterschiedlichen thematischen Einsatzfeldern eine echte 3D-Modellierung

von Gesteinskörpern und gehen in ihrer Anwendung damit deutlich über den Einsatz und die Möglichkeiten von konventionellen GIS-Programmen hinaus.

1.4. „Echte“ 3D-Untergrund-Modelle



1.4a. Gedrucktes 3D Festkörper-Modell, Ausschnitt Bitterfeld, basiert auf den digitalen Daten der 3D-Modellierung und stellt die Oberfläche des ehemaligen Bergbauabbaus dar. (Farbiges Gipspulver 3D Modell, In Kooperation mit dem Institut für Mathematik, TU Berlin).

Der Aufbau von 3D-Modellen (Volumenmodelle) des geologischen Untergrundes umfasst somit eine Reihe von aufeinander folgenden Arbeitsschritten, die von der digitalen Erfassung der Bohrdaten, einer nachfolgenden Profilschnitt-Korrelation der Primärprofile und der Weiterverarbeitung im zum Beispiel hier genutzten Programm Geo-Object 2/GSI-3D erfolgt, in dem der eigentliche Modellierungsprozess der Einzelschichten durchgeführt wird. Die Schichtgrenzen werden für jede stratigraphische Einheit in Raumkoordinaten überführt und im Rohmodell mit unterschiedlichen Interpolationsmöglichkeiten weiterverarbeitet. Die zu modellierende Fläche wird vollständig durch eine Dreiecksvermaschung abgedeckt, so dass ein trianguliertes irreguläres Netz entsteht, das ein Grenzflächenmodell beschreibt. Die einzelnen Schichten werden dabei aufgrund ihrer jeweiligen geologischen und faziesabhängigen Geometrien der Schichten anschließend auf Plausibilität überprüft und korrigiert. Profiliteration oder Korrelationsänderungen der Triangulation können zur Optimierung der Ergebnisse eingesetzt werden.

Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die z.T. sehr stark wechselnden Lagebeziehungen der einzelnen Schichten optimal zu interpolieren. Die auf Fazieskonzepten basierte Modellbildung ist in Bereichen sehr unterschiedlicher Gesteinsmächtigkeiten oder Linsen-Bildung der automatischen Korrelation vieler Softwareprogramme deutlich überlegen. So stellt sich z.B. die Modellierung von Bergbau-Kippenkörpern oder Restkohlebeständen in den Bergbaufolgebereichen Mitteldeutschlands aufgrund ihrer steilen Flankenwinkel bei der 3D-Modellierung als spezielles Problem dar. Dieser Umstand stellt an die räumliche Interpolation der Schichtflächen besondere Anforderungen.

Für einen weitergehenden Einsatz im Bereich der angewandten Geowissenschaften sowie der Raumplanung ist die Einbindung in das Geoinformationssystem ArcView und die Möglichkeiten, das digitale Raummodell anschließend mit hydro-geologischen Strömungs- und Transportmodellen zu koppeln, wichtig. Die Beurteilung der Heterogenität von Grundwasserleitern und die Wirksamkeit einzelner Sedi-

mentkörper einschließlich horizontaler Variabilitäten z.B. bezüglich ihrer Durchlässigkeit oder geochemischen Parametrisierung sind

speziell im Quartär für umweltrelevante Fragestellungen von besonderer Bedeutung.

1.5. Die Visualisierung von 3D-Untergrundmodellen

Die Möglichkeiten zur geologischen 3D-Untergrund-Modellierung hat aufgrund der zunehmend verfügbaren Software in den letzten Jahren verstärkt Verbreitung gefunden. Die Rekonstruktion der Lagerungsverhältnisse, Mächtigkeit (Dicke) und Verbreitung von Gesteinsschichten einschließlich der vorhandenen tektonischen Strukturen war immer schon das zentrale Aufgabenfeld von Geologen.

Die fehlende Möglichkeit einer realitätsnahen 3D-Darstellung wurde durch 2D-Isolinien-Pläne oder perspektivische 3D-Zeichnungen (Blockbilder, Geologische Schnitte) kompensiert.

Die mittlerweile neuen Möglichkeiten zur Erstellung von geologischen Volumenmodellen mit Hilfe digitaler Werkzeuge z.B. GoCAD, Vulcan, Earth Vision, GSI3D, GMS, RockWorks, EVS/MVS ermöglichen durch die automatisierte Interpolation von geologischen Bohrinformationen und/oder die Vernetzung von Profilschnitten sowie eine Integration von Zusatzinformationen aus thematischen Karten die „echte“ 3D-Volumen-Modellierung von Modellräumen im lokalen oder regionalen Maßstab.

Die digital erzeugten 3D-Modelle können bisher auf unterschiedliche Weise dargestellt werden:

- Betrachtung am Bildschirm oder Projektionsflächen (animierte und interaktive Präsentationen, 3D rot/grün, oder spezielle 3D-Bildschirme, die noch nicht sehr verbreitet sind.)
- konventionelle Ausdrücke der 3D-Körper auf Papier (statisch, analog 2D)
- über 3D-Drucker als Farb-Gipspulver-Modelle (Blockmodell oder in Einzelschichten, statisch, 3D, nicht transparent, damit sind immer nur die jeweiligen Außenflächen sichtbar).

1.5a. Räumliche Erfahrung als Erlebnis: 3D Untergrundmodelle in der CAVE des 3D-Labors des Institutes für Mathematik, TU Berlin.



Die aufgeführten Darstellungsformen sind an das jeweilige Medium gebunden und haben damit spezifische Nutzungskontexte.

Die direkte 3D-Wahrnehmung ist nur in Abhängigkeit von Rechner/Bildschirm-Einheiten und als nicht-transparentes Feststoffmodell gegeben. Entsprechende Papierausdrucke können nur statische Bildfolgen zeigen und erlauben ebenfalls nur einen Teileinblick in das Gesamtmodell. Damit besteht bis zum heutigen Zeitpunkt keine Möglichkeit, die Gesteinskörper in ihrer realitätsnahen Lagerungs- und Verbreitungsform von allen Seiten (eines gegebenen Ausschnitts) innerhalb eines transparenten Feststoffmodells betrachten zu können.

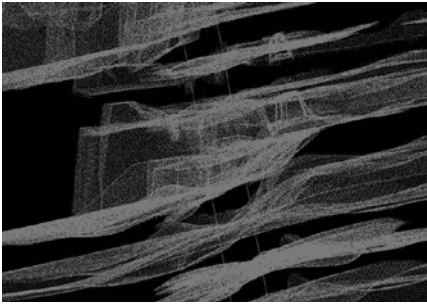
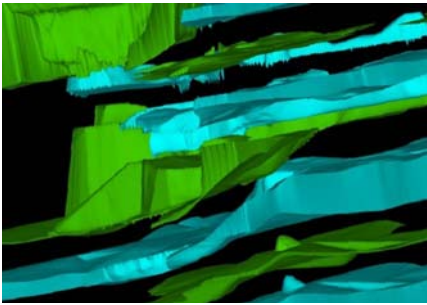
Die Erstellung von realitätsnahen hoch auflösenden Untergrundmodellen erfolgt mit bereits am Markt existierenden Software-Tools, welche

jedoch aufgrund ihrer spezifischen fachlichen Anwendung und Philosophie unterschiedliche Leistungsmerkmale besitzen. Ziel bei der Anwendung dieser Werkzeuge sollte eine möglichst realitätsnahe 3D-Modellierung von regionalen oder lokalen geologischen Formationen unter Berücksichtigung ihrer ortsspezifischen Gegebenheiten sein. Dabei ist die Auswahl der Software-Tools auf Basis der spezifischen Eignung (automatisierte Flächeninterpolation versus konstruktiv gestützte Interpolation mittels Profilschnittvernetzung und Einbindung von 2D-Karteninformation) sowie eine Experten-gesteuerte Modellanpassung auf Grundlage des regionalgeologischen Fachwissens Bedingung für eine hoch auflösende und realitätsnahe Modellierung zu beachten.

1.6. Laser-Gravur-Modelle – wenn das Unsichtbare sichtbar wird

Die Laser-Gravur kann mittels Rot- bzw. Grün-Laser durchgeführt werden. Dieses Verfahren wird bereits in der Foto- und Geschenkindustrie sowie bei Image-Präsentation genutzt. Dabei werden aufgrund der Verfügbarkeit und Verbreitung von Laser-Gravur-Anlagen und der entstehenden Kosten Laser-Gravuren überwiegend mit Rot-Lasern durchgeführt. Grün-Laser erlauben eine höhere Auflösung von Einzelpunkten und könnten auch für das hier beschriebene Verfahren eingesetzt werden. Bei der Umsetzung erfordern sie jedoch eine sehr viel höhere Laser-Zeit.

Die Umsetzung eines digitalen 3D-Modells wurde als Prototyp in einem Glaskristallwürfel mit 10 cm Kantenlänge umgesetzt. Es wurden dabei 9 individuelle Gesteinsschichten mit 1,7 Mio. Einzelpunkten gelasert. Das abgebildete realitätsnahe und ortsgenaue Modell entspricht einer Fläche von 4 x 4 km bei einer 20fachen vertikalen Überhöhung. Die ursprüngliche horizontale Auflösung des Modells liegt bei 10 x 10 m, die jedoch durch die Vereinfachung der Punktwolken gewandelt wurde. Die vertikale Auflösung liegt in Abhängigkeit der Ausgangsdaten im cm-Bereich.



1.6a-b. Digitale 3D Volumenmodelle werden als Punktwolken gewandelt und stellen die Grundlage für die Laser-Gravur dar. Komplexe Strukturen müssen aufgrund der sich ergebenden großen Datenmengen durch spezielle Programme datentechnisch optimiert werden.

1.6c. Die Laser-Gravur erlaubt erstmals ein die Abbildung von geologischen Schichten in einem transparenten Festkörper. Die Abbildungsqualität von Kristallglas hat dabei eine optimale Brillanz und Faszination.

Die Umsetzung des Prototyps erfolgte durch die Fa. Starglas Lasertechnik GmbH, Rödinghausen.

Die Umsetzung von 3D-Untergrundmodellen in 3D-Laser-Gravur-Modelle ist zzt. durch eine Reihe von technischen Bedingungen limitiert, die sich jedoch künftig sowohl im Hinblick auf die Lasertechnologie als auch auf die Materialeigenschaften von transparenten Feststoff-Medien optimieren lassen. Derzeit werden die bestmöglichen Laser-Gravuren in Kristallglas erzeugt, welches sehr scharfe und auch kleinteilige Punktwolken mit möglichst exakten Einzelpunkten ermöglicht. Die bisherigen Nachteile liegen in der begrenzten Eindringtiefe der Laser, die mit ansteigender Materialstärke keinen Punkt, sondern eine zunehmend tropfenför-

mige „Spur“ hinterlassen. Dies ist eine Einschränkung, die in Abhängigkeit von künftigen technologischen Entwicklungen zunehmend optimiert werden wird. Eine zweite Limitierung besteht zzt. in der Material-Qualität der transparenten Festkörpermatrix. Die besten Ergebnisse werden derzeit in Kristallglas erzielt, in welchem mittels Laser ungefärbte, weiß - reflektierende Punktwolken erzeugt werden. Farbige 3D-Modelle sind in Glas technisch möglich, bedürfen jedoch eines speziellen Glases mit oxydischen Zusätzen, welches nach der Laser-Gravur die entsprechenden Farben sichtbar macht. Eine Bereitstellung dieses Glases ist jedoch derzeit noch sehr kostenintensiv. Aktuell stellen die begrenzte Eindringtiefe der Laser sowie das relativ hohe Gewicht der Glaskristall-



objekte eine gewisse Einschränkung bezüglich einer großflächigen bzw. großvolumigen Darstellung von geologischen 3D-Untergrundmodellen dar.

Die Laser-Gravur in Plexiglas oder vergleichbaren Produkten erlaubt aufgrund der eingeschränkten Brillanz, Transparenz und der weniger präzisen Laser-Punkt-Ausführung zzt. noch kein zufriedenstellendes Ergebnis. Hier ist im Rahmen künftiger Materialentwicklungen noch ein großes Optimierungspotenzial gegeben.

Das hier beschriebene Verfahren ermöglicht erstmals die vollständige Betrachtung von geologischen 3D-Untergrundstrukturen als Volumenmodell in einer transparenten Fest-

stoff-Matrix. Durch die hohe Auflösung und den realen Ortsbezug von Einzelinformationen in X-, Y- und Z-Richtung werden die Struktur, der Verlauf und die Verbreitung geologischer Einheiten sowie ihre räumliche Beziehung zur Erdoberfläche hergestellt. Derartige Modelle lassen sich sowohl unter fachtechnischen und planungsrelevanten (Städte, Bergbauggebiete, Wassereinzugsgebiete usw.) als auch unter didaktischen Gesichtspunkten in der Ausbildung und Schulung einsetzen. Besonders im Hinblick auf Präsentationen in Ausstellungen und Museen dürften derartige Objekte, welche ein visuelles Erfassen von räumlichen Strukturen ermöglichen, von zunehmendem Interesse sein.

1.7. Publikationen zum Thema

WYCISK, P. & FABRITIUS, H. (2003): Mehr als nur ein Bild – Digitale 3-D-Raummodelle des geologischen Untergrundes.- *GeoBIT* 11/2003, 8-10.

WYCISK, P. (2002B): Digitale geologische Raummodelle in der Umweltgeologie – Grundlagen für eine nachhaltige Ressourcennutzung. - *scientia halensis*, 1/2002, S.9-10.

WYCISK, P. FABRITIUS, H., RUSKE, R. & WEISS, H. (2002A): Das digitale geologische Strukturmodell Bitterfeld als neuer Baustein in der Sanierungsforschung.- *Grundwasser*, Bd.7(3): 165-171.