

Aktueller Stand zur Einführung der 3D-Modellierungssoftware Gocad im LfUG am Beispiel von Zwickau-Schedewitz

Henry Steinborn, Ottmar Krentz, Manfred Felix

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Abteilung 5 – Referate 52, 55, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden, Email: Henry.Steinborn@lfug.smul.sachsen.de

Der seit über 600 Jahren betriebene Steinkohlenbergbau im Steinkohlenrevier Zwickau hatte massive Bergbauschäden zur Folge. Diese waren und sind vor allem mit den Senkungen der Tagesoberfläche verbunden. So treten in der Stadt Zwickau gegenwärtig Absenkungstrichter des Grundwasserspiegels im flurnächsten Grundwasserleiter auf.

Auf der Basis einer intensiven Datenrecherche und -aufarbeitung bot sich im Steinkohlenrevier die Möglichkeit, ein 3D-Modell zur besseren räumlichen Erfassung und Analyse der geologisch-hydrogeologisch-tektonischen Situation zu erstellen und die 3D-Technologie des LfUG an Praxisdaten zu testen.

In Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg, die umfangreiche Erfahrungen bei der 3D-Modellierung geologischer Situationen mit der 3D-Programm Gocad besitzt, läuft dazu im Zeitraum 2002 – 2005 ein gemeinsames Forschungsprojekt mit dem Titel „Angewandte Modellierung im Schwerpunktgebiet Steinkohlenbergbaureviere Zwickau und Lugau/Oelsnitz mittels Gocad“

Der Aufbau der 3D-Technologie am Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) erfolgt in Abstimmung mit den Geologischen Diensten anderer Bundesländer und wird im Vortrag vorgestellt.

1 Einleitung

Von 1348 bis 1978 wurde im Gebiet der Stadt Zwickau Steinkohlenbergbau betrieben. Insgesamt standen in Zwickau bis zu 11 Flöze, aus denen ca. 220 Mio. t Steinkohle gewonnen wurden, im Abbau. Vor allem ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde der Abbau bedingt durch den technischen Fortschritt deutlich intensiviert, wodurch in Zwickau massive Bergbaufolgen, vor allen in Form von Senkungen der Tagesoberfläche, auftraten.

Im Zuge des Bergbaus und den damit verbunden intensiven Erkundungsmaßnahmen wurde festgestellt, dass Zwickau regionalgeologisch im Kreuzungsbereich der Gera-Jachymov-Störungszone mit mehreren erzgebirgisch streichenden Störungselementen liegt.

Heute hat die Stadt Zwickau in den Senkungsgebieten mit Grundwasserproblemen zu kämpfen, so dass im Senkungsgebiet Zwickau-Bockwa ein dauerhaftes Pumpen zur Verhinderung der Überflutung der Tagesoberfläche notwendig ist. Außerdem existieren Absenkungstrichter des Grundwasserspiegels im flurnächsten Grundwasserleiter im Raum Zwickau-Schedewitz und Zwickau-Innenstadt. Die Ursachen, welche die Wirkmechanismen und das Langzeitverhalten

der Trichter bestimmen, waren strittig. Als einen möglichen Wirkmechanismus für die Trichter wurde der Einfluss der Oberhohndorfer Hauptverwerfung als Teil der Gera-Jachymov-Störungszone diskutiert. Eine weitere Ursache wurde in den Folgen des Bergbaus, und speziell in den mit abgesenkten Abwassersystemen gesehen. Zur Klärung des Sachverhaltes wurde Zwickau zum geologisch-hydrogeologischen Schwerpunktgebiet im LfUG erklärt.

Infolge dessen erfolgte eine intensive Recherche, Aufarbeitung und Neuerfassung aller Daten im Bergbaurevier. Diese Daten bildeten die Basis für ein geologisch-hydrogeologisch-tektonisches 3D-Modell.

2 Konzeption zur Einführung von Gocad

Da das LfUG bisher noch keine Erfahrungen mit 3D-Gocad-Modellierungen besaß, wurde für den Zeitraum 2002 bis 2005 ein Forschungsprojekt mit dem Thema „Angewandte Modellierung im Schwerpunktgebiet Steinkohlenbergbaureviere Zwickau und Lugau/Oelsnitz mittels Gocad“ zwischen der TU Bergakademie Freiberg und dem LfUG initiiert. Die TUBAF arbeitet seit mehreren Jahren erfolgreich mit der Software Gocad und besitzt darüber hinaus die notwendige

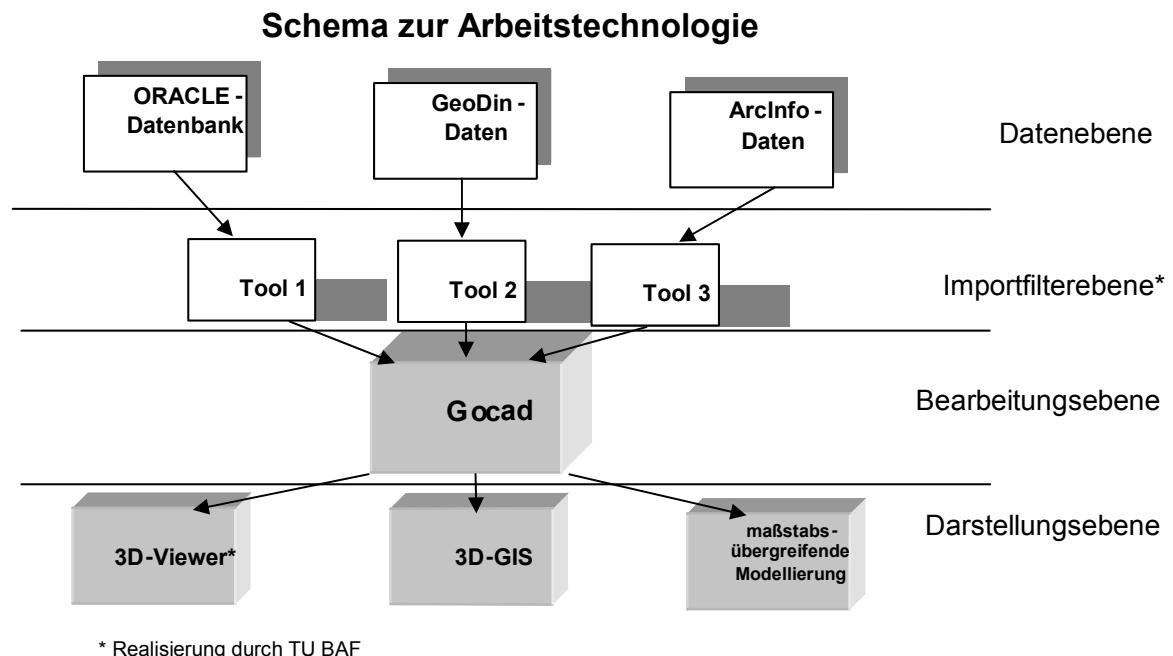


Abb. 1: Geplant Arbeitstechnologie zur Einführung von Gocad im LfUG.

gen Fachkenntnisse zur Geologie, Hydrogeologie und Tektonik im Raum Zwickau.

Das Forschungsvorhaben untergliedert sich in insgesamt 3 Teilprojekte.

Der Teil 1 des Projektes mit dem Thema „Wissenschaftliche Konzipierung der angewandten Softwareerweiterung/-anpassung von Gocad für das LfUG“ konzentrierte sich auf die Entwicklung und Anpassung verschiedener Filter und bestehender Programme zur Nutzung der Datenbestände des LfUG.

Die Abbildung 1 zeigt das Schema zur geplanten Arbeitstechnologie vor Beginn des Forschungsprojektes. Dabei beinhaltet die Datenebene alle im LfUG verfügbaren Datenbestände in Form von Bohrdaten (ORACLE 9), 2-dimensionale Profilschnitte (GeoDin 3.x) sowie Karten und Rasterdaten (ArcInfo 8). Die Importfilterebene wurde im Rahmen des Teilprojektes 1 neu entwickelt. Die Bearbeitungsebene bildet die 3D-Software Gocad. Den Abschluss des Schemas bildet die Darstellungsebene. In ihr sind die Möglichkeiten zur unabhängigen Visualisierung (3D-Viewer) sowie die Entwicklung zum 3D-GIS enthalten.

Teil 2 des Projektes läuft seit 04/03 bis Ende 2005 als Eigenforschungsstelle am LfUG zum

Thema „Tektonik und Strukturbau des Permokarbons Zwickau/Oelsnitz“. Ziel dieses Teilprojektes ist es, die entwickelten Filter und Programme an konkreten Beispielen zu testen und im Ergebnis ein bzw. mehrere unterschiedlich detaillierte geologisch-tektonische Modelle des Schwerpunktgebietes zu entwickeln. Im Ergebnis sollen aus diesen Modellen aktuelle Aussagen zur Tektonik und zum Strukturbau in der Region Zwickau und Lugau/Oelsnitz als Basis für die sachgerechte Bewertung der Bergbaufolgen getroffen werden.

Parallel zum Teilprojekt 2 läuft an der TUBAF der Teil 3 zum Thema „Hydrogeologische Aussagemöglichkeiten aus dem Strukturmodell“. Bei diesem Thema soll vor allem die Anwendung von 3D-Modellen im Vordergrund stehen. Hier ist das Ziel möglichst belastbare Aussagen zur Hydrogeologie treffen zu können.

3 Stand zur Einführung von Gocad

Anfang 2004 standen dem LfUG alle im Teilprojekt 1 neu entwickelten Funktionalitäten und Konzeptionen zur Verfügung. Da das LfUG Anfang 2004 eine eigene Gocad Lizenz erworben hat, finden z. Z. intensive Tests der entwickelten Technologie statt.

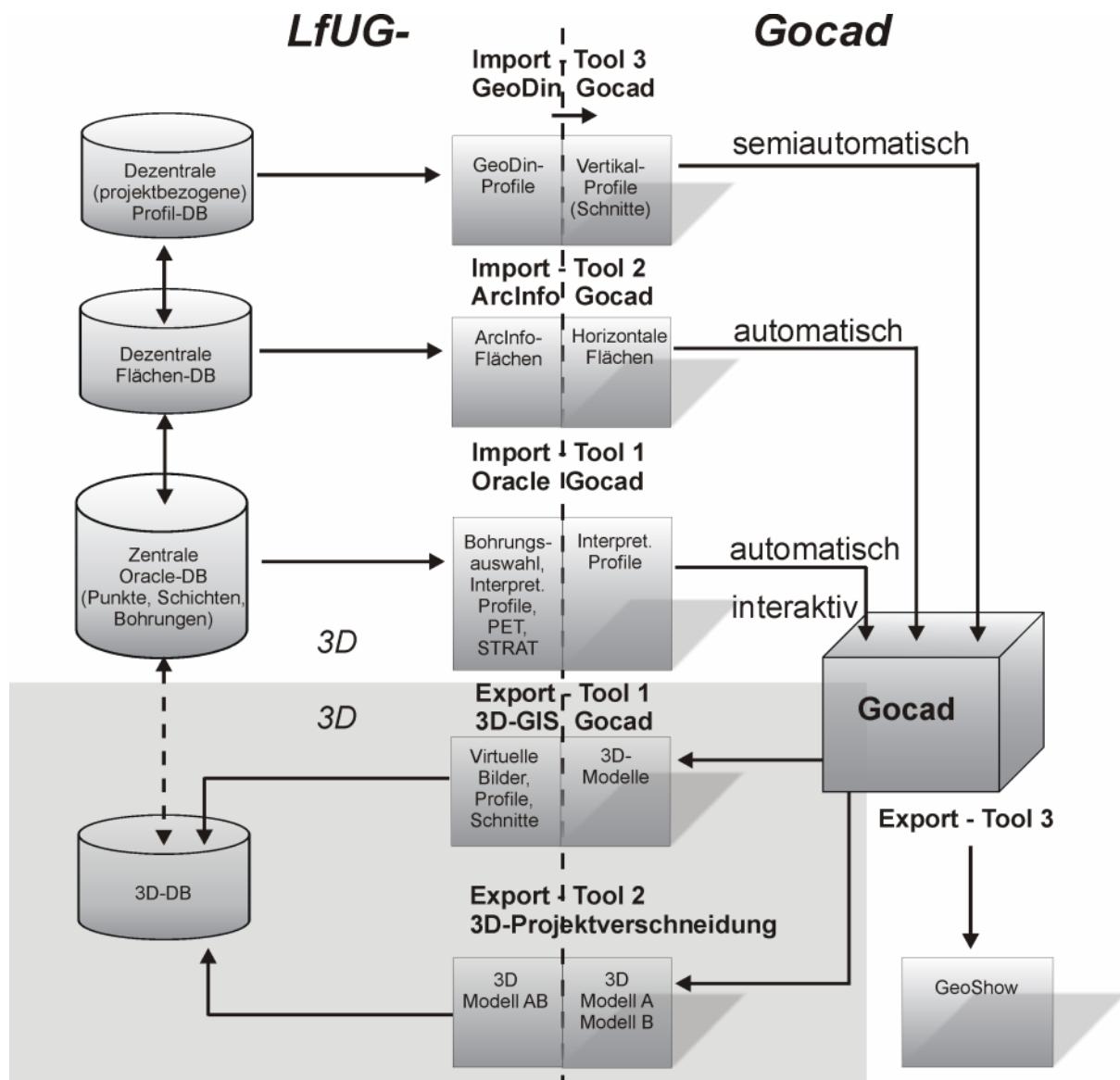


Abb. 2: Aktueller Arbeitsstand bei der Einführung von Gocad im LfUG.

Im Folgenden sollen die im Teilprojekt 1 entwickelten Funktionalitäten und Konzeptionen anhand von Auszügen aus dem Abschlussbericht "Wissenschaftliche Konzipierung der angewandten Softwareerweiterung/-anpassung von Gocad für das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie" vom 15.12.2003 (M. APEL; I. RUPF; H. STEINBORN) in einem kurzen Überblick dargestellt werden. Dabei gibt die Abbildung 2 den bisher erreichten Arbeitsstand wieder. Der dunkel hinterlegte Bereich ist noch nicht realisiert.

3.1 Schnittstelle ORACLE – Gocad

Aufschlussdaten werden am LfUG gegenwärtig in einer von der RDS GmbH Dresden entwickelten Oracle-Datenbank gespeichert. Am Anfang

des Projektes wurde der Wunsch klar, Interpretationen/Ableitungen von den primären Schichtenverzeichnissen für 3D-Modellierungen zu nutzen. Daher entwickelt die RDS GmbH z. Z. ein Konzept zur Speicherung von Interpretationsprofilen in einer Oracle Datenbank.

Der Prototyp der Schnittstelle ermöglicht den Import von Bohrungsdaten aus einer Oracle-Beispieldatenbank direkt aus Gocad via Oracle Call Interface (OCI) über eine TCP/IP Verbindung. Die Schnittstelle wurde betriebssystemunabhängig in C++ programmiert. Die gegenwärtige Schnittstelle ermöglicht es, sowohl mit einem nutzerfreundlichen Menü als auch per SQL Bohrungen mit bestimmten Eigenschaften auszuwählen und in Gocad die entsprechenden Bohrungen mit Markern und numerischen Eigenschaften zu erzeugen. Das Auswahlmenü erlaubt die Aufschlussauswahl nach den Kriterien: "Pro-

jekt", "Datum", "Lage" (GK-Koordinaten und minimale Teufe) sowie als variable SQL-Abfrage, wobei diese auf jede der zu einem Interpretationsprofil gehörenden Tabellen angewendet werden kann und das Programm zugehörige Daten anderer Tabellen ermittelt. Die erstellten Gocad-Well-Objekte können wahlweise direkt eingelesen oder in einer Datei gespeichert werden.

Bei der Konversion wird der oberste Punkt (im Allgemeinen die Hangend-Schichtgrenze) einer geologischen Einheit einem Well-Marker zugeordnet. Zwischen zwei Markern wird eine Zone deklariert, die der Schnittlinie der Bohrung mit der geologischen Einheit entspricht. Dieser Zone wird als Name das Datenbankfeld "STRAT" zugewiesen. Die Felder "GENESE", und "GEF" werden numerisch kodiert und ebenso wie die Felder "PET" und "PROFIL_PARAM[1...5]" den Stützpunkten des Bohrpfades in den jeweiligen Teufen zugewiesen.

Die Kodierung wird in einer erweiterbaren Tabelle in einer ASCII-Datei "konv.dat" im Programmverzeichnis gespeichert und zur Laufzeit vom Programm eingelesen. Mit Hilfe der Tabelle kann die Kodierung vom Nutzer leicht überprüft und geändert werden. Ein Ergänzen der Tabelle um weitere zu konvertierende Zeichenketteneigenschaften ist möglich.

3.2 Schnittstelle GeoDin – Gocad

Die Firma Fugro GmbH wurde beauftragt, die Software GeoDin um folgende Funktionalitäten zu erweitern:

- Implementation der Attributierung von Linien und Flächen als Pilotlösung für die Software GeoDin. Dabei werden für Flächenobjekte 4 Felder vorgesehen:
 - PET (Typ char[36]),
 - STRAT (Typ char[16]),
 - GENESE (Typ char[3]),
 - VAR(Typ char[16]).
- Für Linienattribute sind folgende Felder erforderlich:
 - LART (Typ num[4]),
 - LORIENT (Typ char[1]),
 - LGENAU (Typ char[2]).
- Konzept für die Validierung der Attribute mit Prüftabellen

- Export der Attribute in ASCII-Datei, von der Ungenerate-Datei mit ID referenziert.

Das **Austauschformat** ist wie folgt definiert: zu jedem Objekttyp (Linie, Polygon) werden je eine Geometrie- und eine Attributdatei erzeugt. Begonnen wird ein Objekt jeweils mit der ID. Jede ID wird unabhängig vom Objekttyp nur einmal vergeben. "END" schließt jeweils einen Geometrieobjekt oder Attributobjekt ab. Zusätzlich existiert eine Datei, welche die Schnittlinie des Profils mit der Geländeoberfläche enthält. Es ist beabsichtigt, in einer zukünftigen Version noch die Attribut-Datentypdefinition zu exportieren.

Der als Gocad-Plugin in C++ entwickelte **Import-Filter** ermöglicht die Kreation von Linien (Polylinien und Polygone) in Gocad. Dabei wird pro GeoDin-Linie ein PLine-Objekt in Gocad erstellt, das beliebige numerische Attribute enthalten kann. Gegenwärtig ist es in Gocad nicht möglich, Zeichenketten als Attribute für Objekte zu verwenden. Ausnahmen bilden hier die "Features" = PET / LART, "Age"=STRAT sowie der Objektname.

Als Problem stellte sich heraus, dass das Datenmodell von GeoDin keine **Topologie** beinhaltet. Damit sind in GeoDin keine Beziehungen zwischen den geologischen Objekten definiert. Dies ist jedoch erforderlich, um die GeoDin-Schnitte für die Erstellung sinnvoller 3D-Modelle zu nutzen (beispielsweise kann es passieren, dass ein GeoDin-Schnitt einer Störungsfläche mit mehrfachen geometrisch identischen Linien abgebildet wird, was unzulässig ist).

Es wurde erwogen, das Problem in Arc/Info zu lösen, indem dort eine Topologie generiert wird. Das stieß jedoch auf erhebliche Probleme, da keine geeignete Möglichkeit zum Datenimport nach Arc/Info besteht, die mehrfache Z-Werte pro XY-Koordinate erlaubt. Das Erstellen topologischer Beziehungen zwischen den Objekten muss folglich in Gocad geschehen. Dazu wurde eine Gocad-Funktion entwickelt, die das Filtern von Liniensegmenten verschiedener Kurven mit geometrisch gleicher Lage erlaubt. Dazu werden die Polygone in einzelne Linien zerlegt, die jeweils bis an das nächste Objekt grenzen.

In Gocad werden einzelne Schichtgrenzen modelliert, wobei eine Grenzfläche gleichzeitig die Hangendgrenze der liegenden Schicht und Liegengrenze der hangenden Schicht bildet. Dieses Konzept ist grundlegend anders als bei GeoDin, wo mit Polygone die Schnittlinie der Schichtgrenze mit der Profilfläche abgebildet wird. Per

Standardeinstellung werden die GeoDin-Attribute des Hangendpolygons der erhaltenen bleibenden Grenzlinie zugewiesen, die restlichen Linien werden gelöscht. Wenn Polygonlinien von Störungslinien überlagert werden, werden die Polygonlinien gelöscht. Damit bleiben Attributinformationen erhalten und das Erstellen topologischer Objektbeziehungen wird möglich.

Dieser Filter wurde als Konsolenanwendung in C++ programmiert, die direkt von Gocad aufgerufen werden kann (Menü "File - Import Objects - GeoDin"). Damit ist der GeoDin-Import technisch möglich, jedoch ist der Nachbearbeitungsaufwand aufgrund des unterschiedlichen Datenmodells sehr hoch. Daher ist eine Arbeitstechnologie, die routinemäßigen und umfangreichen Datenaustausch zwischen GeoDin und Gocad beinhaltet, nicht zu empfehlen.

Der Filter konnte im LfUG erfolgreich getestet werden. Dabei stellte sich heraus, dass es beim Export von GeoDin zu Problemen mit dem Projektionsystem kommen kann. Weiterhin zeigte sich, dass die entstehenden Gocad Objekte zwar alle Objektlinien beinhalten, diese aber nochmals miteinander verbunden sind. Dadurch ist eine Zuordnung, welche Linie eine Profillinie ist, deutlich erschwert. Diese Probleme werden z. Zt. gemeinsam mit der TU BAF beseitigt.

3.3 Schnittstelle ArcInfo – Gocad

Für den Export von ArcInfo zu Gocad wurde von I. Rupf das Programm E002Gocad entwickelt. Das Programm konvertiert geometrische Objekte und dazugehörige numerische Attribute unkomprimierter ArcInfo-E00-Dateien (Version 8.0) in das Gocad-Ascii-Format.

3.3.1 Geometrie-Import

Jede E00-Datei beinhaltet Daten eines bestimmten Geometrietyps (= ArcInfo-Coverage-Typ). Das Programm verarbeitet ArcInfo-Punkt-, Polylinien- und Polygoncoverages. Da die Art des Coverages im Normalfall nicht beim Import bekannt ist, wird der Geometrietyp im Laufe des Konvertierungsprozesses bestimmt. Handelt es sich dagegen um eine Datei des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie des digitalen geologischen Kartenwerkes 1:25 000 bzw. 1:50 000, ist der Coverage-Typ bereits an der Benennung erkennbar:

- *_p.e00 (ArcInfo-Punktcoverage)
- *_l.e00, *_ll.e00, *_lin.e00 (ArcInfo-Polyliniencoverage)

- *_fl.e00 (ArcInfo-Polygoncoverage).

Sind derartige Bezeichnungen vorhanden, können die entsprechenden Daten gezielt konvertiert werden. Ansonsten müssen zunächst alle verfügbaren Informationen importiert werden. Letztere Variante ist weitaus zeitintensiver.

Das Programm E002Gocad ermöglicht die Konvertierung einfacher und zusammengesetzter Objektgeometrien. Zu den einfachen Objektgeometrien gehören Punkte, Polylinien und Polygone. Aus ihnen setzen sich die komplizierteren Gruppengeometrien, Polyliniengruppe und Polygongruppe bzw. Polygonsubgruppe zusammen.

Da in einem E00 – File nur Hoch- und Rechtswerte die Lage der Objekte beschreiben, werden beim Import in Gocad auch nur die Hoch- und Rechtswertkoordinaten übertragen. Die Höhenkomponente, welche im 3-dimensionalen Raum notwendig ist wird automatisch auf 0 m ü NN gesetzt. Koordinaten in E00-Files sind entweder mit einfacher oder mit doppelter Genauigkeit (8 bzw. 15 stellige Zahlen) abgelegt. Weil Gocad jedoch ausschließlich einfach genaue Koordinaten unterstützt, müssen entsprechende Angaben mit doppelter Genauigkeit umgewandelt werden. Dabei werden die letzten Ziffern abgeschnitten. Entsprechende Detailinformationen können bei diesem Vorgang verloren gehen. Deshalb ist vor der Konvertierung zu prüfen, ob eventuell die ArcInfo-Koordinaten einer Transformation bedürfen (beispielsweise durch Abschneiden der ersten Ziffern der Koordinaten). Dies ist dann vor der E002Gocad-Konvertierung durchzuführen.

Folgende Geometrie-Abschnitte des E00-Files enthalten keine relevanten Informationen und werden nicht in den Konvertierungsprozess mit einbezogen:

- SIN (funktionsloser Abschnitt)
- LNK (Abschnitt mit unklarer Bedeutung)
- LOG (Angaben über die Bearbeitungshistorie)
- PAR (Abschnitt mit unklarer Bedeutung)
- PRJ bzw. MTD (Abschnitt mit Metainformationen, wie Koordinatensystem, Bearbeiter etc.)
- TXT, TX6, TX7,... (Annotation - Text an Geometrieobjekten)
- TOL (Angaben zu Toleranzen bei der Erstellung des Coverages)

3.3.2 Attribut-Import

Der Attributimport ist derzeit nur bei den ArcInfo-Grundgeometrien möglich. Da Gocad ausschließlich numerische Angaben verarbeitet, ist der Import von Zeichenkettenattributen in das Konvertierungstool nicht sinnvoll (Ausnahme: numerische Kodierung LfUG-spezifischer Zeichenkettenattribute). Folgende numerische Datentypen können dagegen problemlos importiert werden:

- I (integer), B (binary integer), N (number)
- F (binary floating point).

Die Konvertierung von Standardattributen (Attribute, die routinemäßig von ArcInfo automatisch angelegt werden) ist in der Regel wenig sinnvoll. Attribute dieser Art tragen entweder nichtrelevante ArcInfo-spezifische Eigenschaften (z.B.: System-ID's) oder sie werden in Gocad neu berechnet (z. B.: Fläche, Durchmesser etc.). Eine Ausnahme bilden die ArcInfo-Nutzer-ID's.

Des Weiteren werden die landesamtsspezifischen Zeichenkettenattribute LGENAU und LORIENT numerisch kodiert und können somit in Gocad eingelesen werden.

Treten entsprechende Attribute auf, wird in der Logdatei der Kodierungsschlüssel abgelegt.

Derzeit können keine weiteren Attribute bzw. neue Attributuntereinträge während der Laufzeit eingelesen werden

Folgende Geometrie-Abschnitte des E00-Files enthalten keine relevanten Informationen und werden nicht in den Konvertierungsprozess mit einbezogen:

- .ACODE, .PCODE (Arc Lookup Table, Polygon Lookup Table)
- .BND (Angaben zur Grenzbox der Objekte des E00-Files)
- .TIC (Informationen zur Lage der TIC-Koordinaten des Coverages)

Eine ausführliche Beschreibung des Programms E002Gocad ist im Abschlussbericht enthalten.

3.4 3D-Visualisierungsprogramm

Die Entwicklung eines Gocad-unabhängigen Visualisierungsprogramms "GeoShow" erfolgte

auf der Grundlage des standardisierten internetfähigen 3D-Formats VRML. Das Visualisierungsprogramm ermöglicht das Betrachten von georeferenzierten Gocad-3D-Modellen im VRML-Format.

3.5 Vorliegende Konzeptionen

Im Ergebnis der bisherigen Arbeiten liegen dem LfUG zwei Konzeptionen vor. Die eine Konzeption „Verknüpfung von 3D Modellen mit verschiedener räumlicher Auflösung“ zeigt Möglichkeiten auf zwei 3D-Modelle mit unterschiedlicher räumlichen Auflösung miteinander zu verbinden. Die Grundlage dafür sind zwei Gocad-Flächenmodelle, die eine Bounding Box - Fläche besitzen. Das detaillierte Modell ("Detailmodell") muss im größeren Modell ("Regionalmodell") mindestens teilweise räumlich enthalten sein. Es ist auch möglich, anstatt des Regionalmodells zwei sich wenigstens teilweise räumlich überlappende Detailmodelle zu verwenden. Diese Bedingungen sind erforderlich, um eine konsistente ("wasserdichte") Topologie zu gewährleisten. Es ist auch möglich, die Grenzfläche (d. h. geschlossene Schnittfläche im Sinne einer Bounding Box) zwischen beiden Modellen als unregelmäßige Fläche zu definieren. Das ist jedoch mit höherem Arbeitsaufwand verbunden und daher nicht sinnvoll. Die nacheinander auszuführenden Arbeitsschritte, welche zur Verknüpfung notwendig sind, wurden in einem Gocad – Wizard zusammengefasst.

Die zweite Konzeption zeigt Wege zur „Speicherung von Gocad 3D-Modellen“ auf. Dabei wird vorgesehen die Datenspeicherung für Gocad-Modelle in der Oracle-Datenbank des SLfUG in relationalen Tabellen zu konzipieren.

3.6 Das Strukturmodell Zwickau-Schedewitz

Die Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem geologisch-tektonischen Modell von Zwickau-Schedewitz. Die Datengrundlage für diese Model bildeten mehrere Grubenrisse des Zwickauer Steinkohlenbergbaus sowie sämtliche relevanten Bohr- und Schachtdaten aus den Archiven des LfUG.

4 Weitere Arbeitsschritte/Ausblicke

Die vorliegenden 3D - Technologie soll praxisnah getestet werden. Testobjekte sind die sächsischen Steinkohlenreviere von Zwickau und Lügau/Oelnitz. Anhand dieser Modelle sollen die

entwickelten Konzeptionen zur Praxisreife geführt werden. Langfristiges Ziel ist es, den geologischen Untergrund Sachsens 3-dimensional zu erfassen und in einer 3D-Datenbank speichern. Eine interaktive Anwendbarkeit der 3-dimensionalen Daten durch alle, insbesondere angewandten Fachbereiche, wird angestrebt.

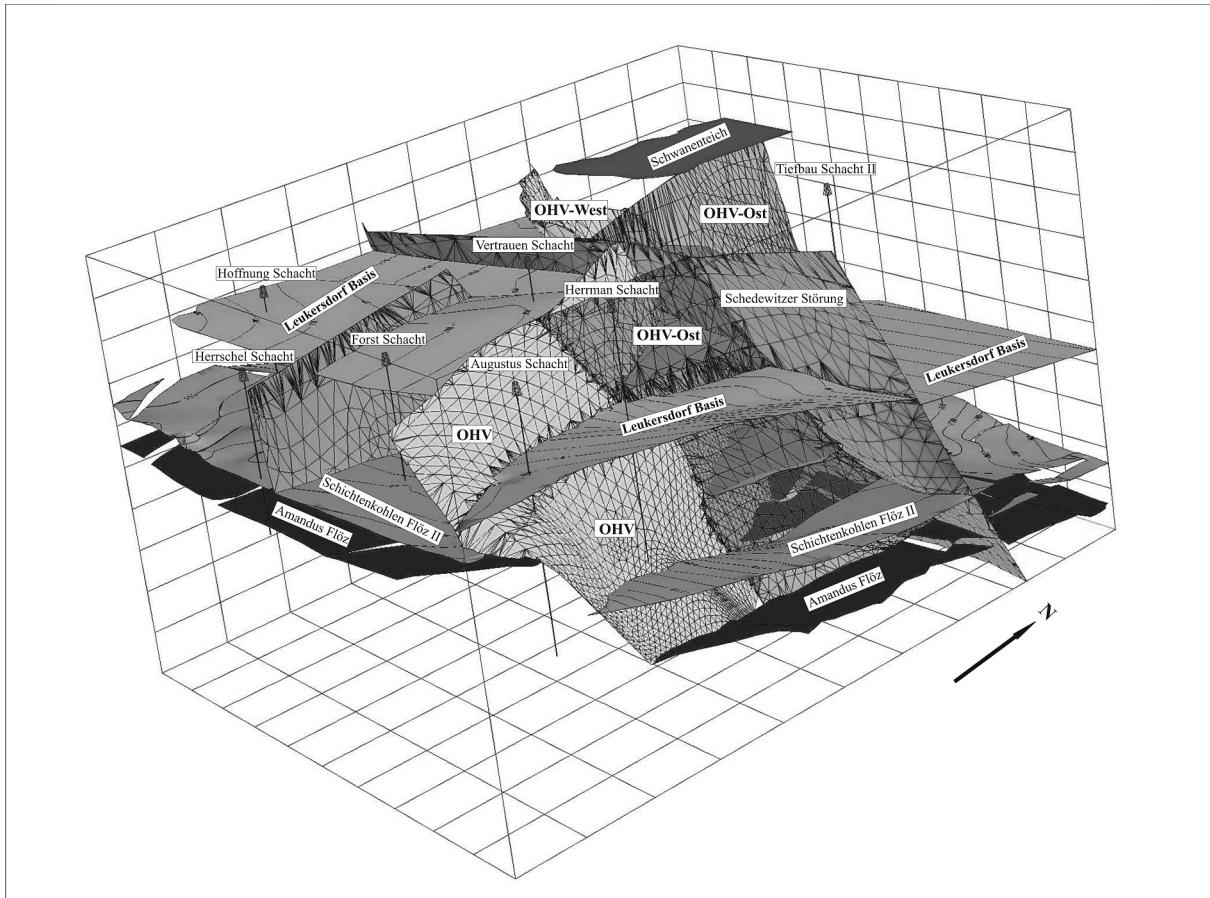


Abb. 3: Ausschnitt aus dem geologisch-tektonischen Modell Zwickau-Schedewitz.