

GEO FOKUS



Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordseesektor als geologisches 3D-Modell

Henning Bombien¹, Bernhard Hoffers¹, Silke Breuckmann², Marcus Helms¹, Katrin Lademann¹, Marc Lange², Asdis Oelrich¹, Rüdiger Reimann¹, Julia Rienäcker¹, Carolin Schmidt¹, Mark-Fabian Slaby¹, Jennifer Ziesch³

Einleitung

Im Jahr 2007 wurde beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Hannover das Projekt „Geotektonischer Atlas 3D“ (GTA3D) gestartet, um die Informationen des Geotektonischen Atlas von NW-Deutschland und dem deutschen Nordseesektor (GTA) (Baldschuhn et al. 1996, Baldschuhn et al. 2001) für die Landesfläche Niedersachsens in ein geologisches 3D-Modell umzusetzen. Dieses Modell entspricht dem Kenntnisstand des Atlas von 1996, neuere Daten (Bohrungen, Seismik) wurden nicht integriert.

Für den Bereich der Deutschen Nordsee wird der Geotektonische Atlas durch das LBEG im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes „Geopotenzial Deutsche Nordsee“ (GPDN), an dem die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), das LBEG sowie das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) federführend beteiligt sind, seit Mai 2009 dreidimensional modelliert (vgl. Geofokus in GMT Nr. 41). Der Bereich des sogenannten Entenschnabels, für den keine Informationen im GTA vorliegen, wird auf Basis neuerer Daten in enger Zusammenarbeit mit der BGR im Projekt GPDN neu erstellt.

Insgesamt wird in diesen Projekten eine Fläche von ca. 85.000 qkm bearbeitet. In Niedersachsen reicht das Modell bis ca. 5.000 m u. NN, in der deutschen Nordsee bis ca. 9.000 m u. NN, was jeweils die Zechstein-Basis darstellt.

Als Modellierwerkzeug wird die Software GOCAD (Fa. PARADIGM) verwendet, deren Stärke die Abbildung komplexer Geometrien ist, wie sie z.B. für die Modellierung von Salzstrukturen erforderlich sind.

Datengrundlage

Der Geotektonische Atlas von Nordwestdeutschland wurde von der BGR unter Leitung von F. Kockel in den Jahren 1978 bis 1996 erarbeitet. Auf der Grundlage von geophysikalischen Untersuchungen, Bohrungen, Explorationskampagnen auf Lagerstätten hauptsächlich von Kohlenwasserstoffen und der Oberflächengeologie wurden die Tiefenlagen von insgesamt 14 geologischen Einheiten samt ihrer Verbreitung im Maßstab 1:100.000 kartographisch dargestellt. Schnitte, Mächtigkeitskarten und paläotektonische Karten ergänzen die Tiefenlinienpläne (Abb. 1). Im Jahr 1996 erschien der Geotektonische Atlas im Maßstab 1:300.000 im Druck, 2001 folgte eine elektronische Version. In beiden Fällen fand eine Überarbeitung des ursprünglichen Datenbestands statt. Zusätzlich ist der Datenbestand im Auftrage der BGR digitalisiert worden und stand somit vor Beginn der eigenen Arbeiten zur Verfügung. Der GTA ist das grundlegende Werk zur präquartären Geologie von Nordwestdeutschland und wird, auch seiner einheitlichen Darstellung und umfassenden Berücksichtigung aller Datenquellen wegen, rege für eine Vielzahl unterschiedlicher Zwecke genutzt.

Bisherige Arbeiten

Die kartographische Darstellung geologischer Sachverhalte erlaubt nicht, die Beziehungen benachbarter geologischer Einheiten und Strukturen in geometrischer Hinsicht anschaulich zu machen und stellt ein Hindernis bei der Nutzung der im Geotektonischen Atlas vorhandenen, mit immensem Aufwand gewonnenen und vereinheitlichten Informationen dar. Der GTA enthält,

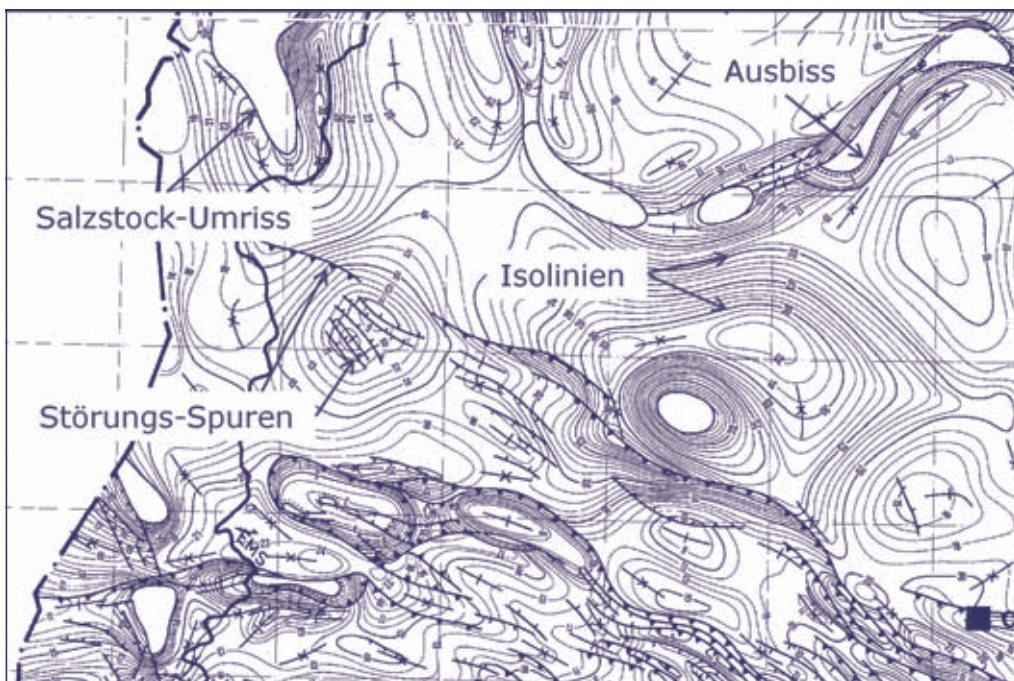


Abb. 1: Beispiel für den Inhalt des GTA mit den wesentlichen Strukturelementen (verändert nach Baldschuhn et al. 2001)

bedingt durch die damals bestehenden technischen Möglichkeiten, Fehler wie Flächendurchdringungen und geologisch nicht plausible Lagerungsbeziehungen. Diese Unstimmigkeiten sind zunächst unverändert in das 3D-Modell übernommen worden, da eine Korrektur allein aus personellen und zeitlichen Beschränkungen im Rahmen der laufenden Projekte nicht möglich ist. Die wichtigsten Eingangsdaten für die 3D-Modellierung sind die vektorisierten Strukturkarten des GTA. Ergänzend wurden die in Grids umgesetzten Tiefenlinienpläne der Strukturkarten sowie die analog vorliegenden Karten genutzt. Die BGR genehmigte freundlicherweise die Verwendung der Daten für diese Zwecke. In einem ersten Schritt wurden die digitalisierten Originaldaten des GTA umformatiert und zusammengefasst, um sie direkt für die Erstellung von triangulierten (dreiecksvermaschten) Raum-

flächen (TINs) der Basis der 14 Horizonte des GTA nutzen zu können (Abb. 2). Dies ist bis auf wenige noch fehlende Restflächen erledigt.

Die ursprünglich vorhandene Einteilung des Geotektonischen Atlas in Kacheln der Topographischen Karte 1:100.000 (TK100) als Ordnungsprinzip blieb erhalten. Bei der Modellierung einzelner Kacheln wurde jeweils ein Saum von 10 km Breite zu den Nachbarkacheln mit modelliert, um einen korrekten Anschluss der Raumflächen an den Kachelgrenzen zu gewährleisten. Die einzelnen Basisflächen des GTA3D enthalten im Wesentlichen die Informationen der gedruckten Karten. Störungen werden aus einer Vielzahl von Gründen als Unstetigkeiten in z-Richtung abgebildet, also als senkrechter Sprung. Die geologische Bedeutung (Ausbiss, Störung, Salzstock) der Umrandung des Verbreitungsgebietes wird durch Erzeugen entsprechend benann-

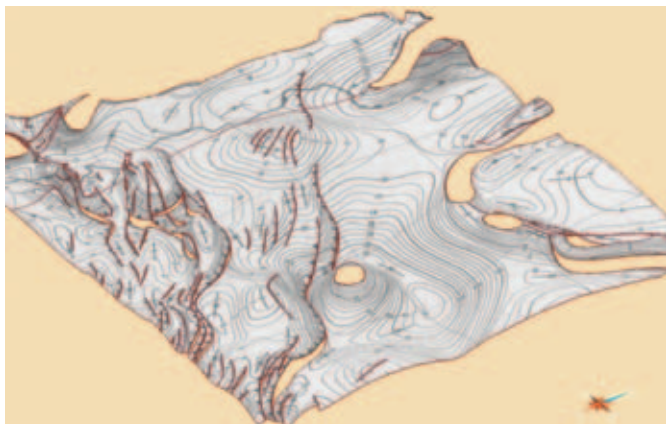
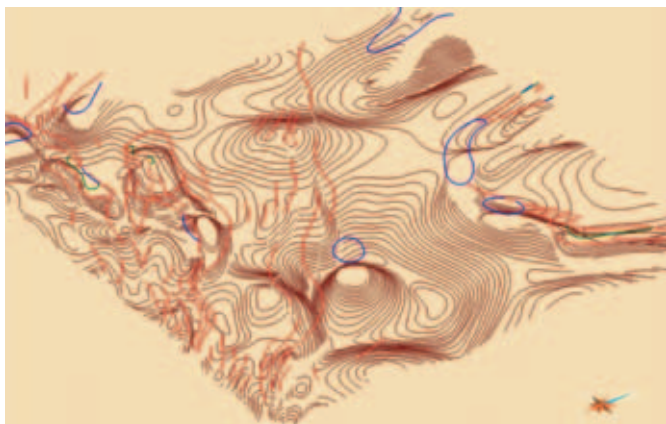


Abb. 2: Umsetzung der Strukturpläne in 3D-Basisflächen am Beispiel der Unterkreide im Raum Papenburg.
oben: digitale Daten des Strukturplanes in der räumlichen Ansicht
unten: modellierte Basisfläche der Unterkreide als originalgetreue räumliche Umsetzung des Strukturplanes aus dem GTA

ter Kurven aus den Flächen in das Modell eingebracht. Basisflächen vermitteln nur in sehr eingeschränktem Maße einen räumlichen Eindruck; deshalb können entsprechende Topflächen und seitliche Begrenzungsflächen diese ergänzen, um so zu einer Grenzflächendarstellung (Umhüllenden) der geologischen Körper zu gelangen (Abb. 3).

Trotz der oben angeführten Unstimmigkeiten und Fehler im GTA ist die Erstellung von Einhüllenden in vielen Gebieten gut möglich. Die Umsetzung erfolgt über einen definierten Konstruktionsprozess, in dem davon ausgegangen wird, dass die Topfläche einer Einheit sich durch Verschneidung der Basisflächen der Ein-

heiten im Hangenden ergeben muss und dass sich die Flanken der Salzstöcke durch Verbinden der Salzstockumrisse konstruieren lassen (Abb. 3). Dieses Vorgehen bringt sehr gute Ergebnisse in strukturell einfacheren Gebieten z.B. in Nordwestniedersachsen und weiten Teilen des deutschen Nordseesektors. Aufgrund des Konstruktionsprozesses, der die einhüllenden Randflächen der einzelnen geologischen Körper schrittweise erzeugt, sprechen wir hier vom „Einhüllendenmodell“ (Abb. 4).

In geologisch komplexer gegliederten Bereichen ist die räumliche Darstellung häufig stark von geometrischen Inkonsistenzen geprägt. Die Konstruktion von Körpern führt in solchen Fällen

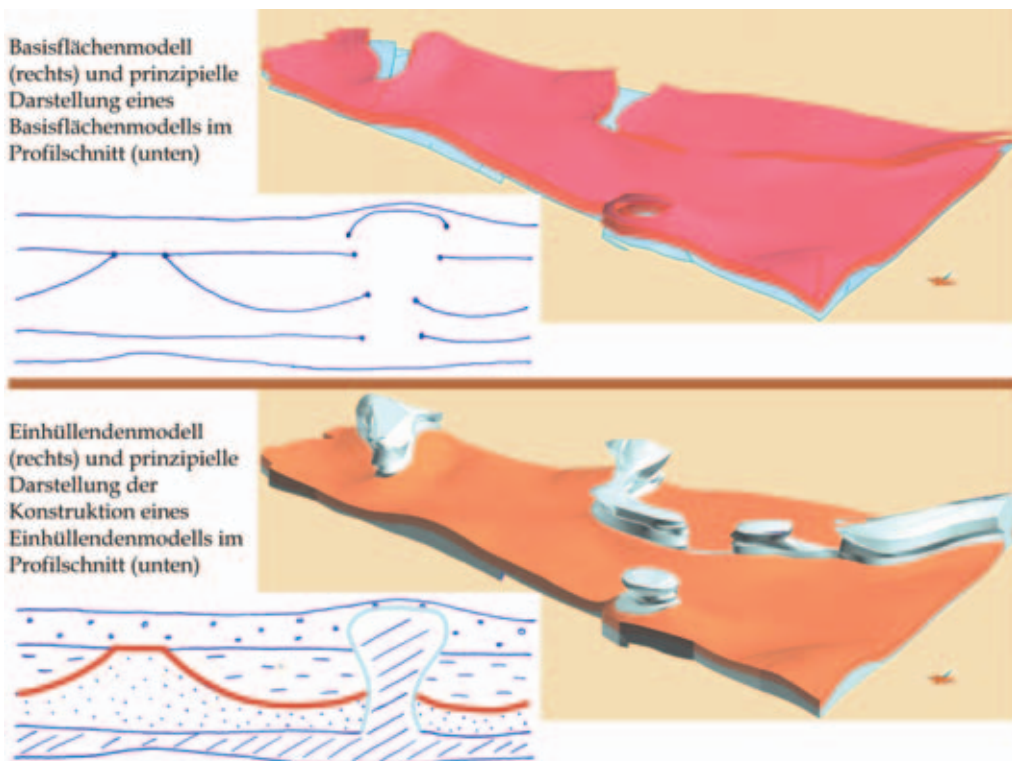


Abb. 3: Prinzip der Konstruktion von einhüllenden Flächen: die Oberfläche einer Einheit ergibt sich durch Verschneidung der Basisflächen der hangenden Einheiten (rote Linie im unteren Profilschnitt); ein Salzstock ergibt sich aus der Verbindung der Salzstockumrisse der modellierten Basisflächen (blaue Linie im unteren Profilschnitt).

zu geologisch unsinnigen und nicht mehr interpretierbaren Darstellungen und wird deshalb nicht vorgenommen. Insgesamt entsteht ein heterogenes Modell mit Bereichen, in denen der GTA in eine reine Basisflächendarstellung überführt wurde, und Bereichen, in denen Einhüllende für die geologischen Körper konstruiert werden konnten. Vereinzelt werden Bereiche auch als „Datenlücke“ ausgewiesen. Hierbei handelt es sich um Areale, die im GTA zwar als Verbreitungsgebiete dargestellt sind, bei denen jedoch die Information z.B. aufgrund fehlender Tiefenlinien auf den Strukturplänen für eine räumlich-geometrische Umsetzung nicht ausreicht.

Unter dem GTA3D ist die Gesamtheit der geometrischen Objekte (zurzeit Flächen und Linien) zu verstehen, die auf Grundlage des Geotektonischen Atlas erstellt wurden. Der GTA3D kann durch Einbeziehung neuerer Untersuchungen oder Aufschlüsse (Geophysik, Bohrungen) oder durch Reinterpretation vorhandener Daten mit Hilfe neuer Vorstellungen über die geologische oder tektonische Entwicklungsgeschichte des Gebietes abgeändert oder erweitert werden. Ein derartig modifiziertes Modell müsste allerdings anders benannt werden.

Das 3D-Modell des Geotektonischen Atlas

Der GTA3D erlaubt die Visualisierung der in den

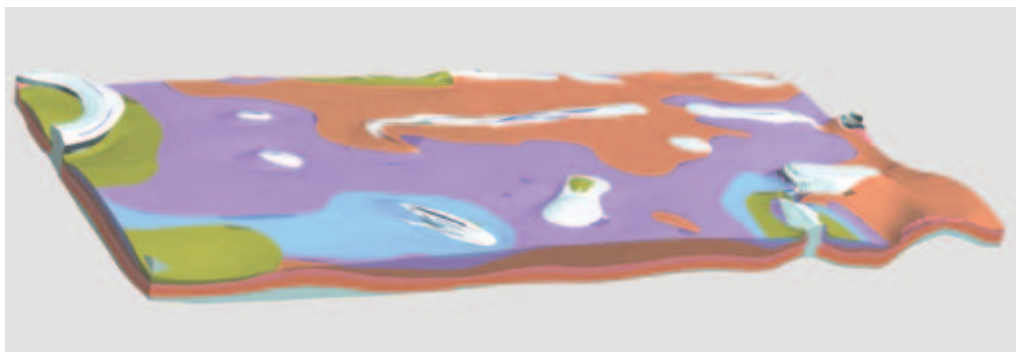


Abb. 4: Beispiel für ein „Einhüllendenmodell“ in NW-Niedersachsen aus dem GTA3D

einzelnen Karten (Tiefenlinienplänen) enthalten geologischen Information im wechselseitigen Kontext, was bei kartographischen Darstellungen nicht möglich ist. Die Lagebeziehungen der einzelnen Basisflächen zueinander werden in der Darstellung als Raumflächen sichtbar: beispielsweise, ob sie sich durchkreuzen, ob Ausbisse geologisch sinnvoll modellierbar sind oder ob Salzstrukturen in sich und zu anderen geologischen Angaben widerspruchsfrei konstruiert werden können. Dadurch wird eine Kontrolle der Plausibilität des Kartenbildes ermöglicht, die auf andere Weise nicht erreicht werden kann. Erwähnenswert ist auch, dass die bei gängigen kartographischen Darstellungen übliche Ausweisung von Information geringeren Gewissheitsgrades durch Fragezeichen, gestrichelte Linien und dergleichen bei digitalen Raumflächen nicht möglich ist. Andererseits wird veranschaulicht, durch welche anderen Flächen, wenn genaue Daten fehlen, die Raumlage der Fläche eingegrenzt wird. Diese Möglichkeiten erlauben eine Qualitätskontrolle des geologischen Modells.

Die Qualitätskontrolle kann stringenter erfolgen, wenn nicht nur Tiefenlinienpläne erzeugt werden, sondern aus diesen geologische Körper modelliert werden. Hierzu müssen nicht nur die Topflächen der geologischen Einheiten durch Verschneiden von Basisflächen erzeugt werden, sondern auch die lateralen Begrenzungen durch

tektonische Elemente (Verwerfungen) oder Salzstrukturen (z.B. Diapire). Versucht man dies, muss des Öfteren festgestellt werden, dass eine mangelhafte Datengrundlage dieses Vorhaben erschwert oder gar unmöglich macht – die Daten stehen in Widerspruch zueinander. Gelingt die Konstruktion geologischer Körper, ermöglicht sie eine Fülle von Auswertungen: von der Volumenbestimmung über geostatistische Berechnungen (Faziesmodellierung) bis hin zur Generierung realistischer Eingabedaten für numerische Simulationen (Ausbreitungsvorgänge, Seismik, geophysikalische Potenzialverfahren), anders ausgedrückt: eine geologisch sinnvolle räumliche Verteilung von Materialeigenschaften.

Durch die Visualisierung der geologischen Flächen und ihrer Beziehungen zueinander wird eine Veränderung oder Aktualisierung überhaupt erst ermöglicht, da die Auswirkungen des veränderten Datenbestandes auf die Umgebung der geänderten Daten und weitere Bereiche des Modells leicht veranschaulicht und die notwendigen Änderungen im Datenbestand relativ leicht realisiert werden können, wenn die zugrunde liegenden geologischen Vorstellungen stimmig sind. De facto wird das geologische Modell erst in digitaler Form aktualisierbar, da eine Abänderung kartographischer Darstellungen äußerst aufwändig ist und sich eine Nachführung des aktualisierten Datenbestandes

wegen des Aktualisierungsaufwands mehrerer Karten und der kaum mehr bestimmbareren Auswirkungen geänderter Daten auf deren Gesamtheit von selbst verbietet. Sicherlich ist die Aktualisierung eines digitalen 3D Modells aufwändig, jedoch grundsätzlich machbar.

Ein weiterer Vorteil der 3D-Modelle liegt in ihrer Kombinierbarkeit mit Datensätzen anderer Herkunft. In Frage kommen hier z.B. Daten aus Bergbau (Feldesgrenzen, Aufsuchungsbewilligungen, Risswerke, Altbergbau), Geophysik (Seismik, Geomagnetik, etc.) oder tiefer Geothermie, die bei Problemen mit konkurrierenden Nutzungen (z.B. Geothermie – CCS) wichtig sind. Die zunehmende Bedeutung der unterirdischen Raumplanung lässt geologische 3D-Modelle als das Werkzeug schlechthin für diese Zwecke erscheinen.

Nicht zuletzt ist die digital vorliegende Information für Nutzer leicht abrufbar. Die öffentliche und kostenlose Verfügbarkeit der 3D-Modelle erlaubt es, sich einen Überblick über den Kenntnisstand zu verschaffen und, auf dieser Grundlage aufbauend, eigene Modelle zu konstruieren. Damit werden der Öffentlichkeit grundlegende Daten schnell und unkompliziert zugänglich gemacht.

Bedeutung der Geoinformatik

Häufig wird die 3D-Modellierung noch als rein geologisches bzw. rein softwaretechnisches Problem betrachtet. Dies mag bei überschaubaren, kleineren Modellen, die von Einzelpersonen erstellt werden, akzeptabel sein. Sobald aber große Modellgebiete mit mehreren Modellierern zu erstellen sind, ist die Mitwirkung von Geoinformatikern erforderlich, da ansonsten Themenbereiche wie z.B. Datenaufbereitung, Datenhaltung, Auswertung und Bereitstellung von 3D-Modellen nicht adäquat bearbeitet werden können.

Datenaufbereitung: Für die Modellierung des GTA mussten die benötigten Daten von 14 stratigraphischen Horizonten (Isolinien, Störungen, Ausbisslinien, Salzstockumgrenzungen) für insgesamt ca. 80.000 qkm aufbereitet und für die Modellierung mit GOCAD bereitgestellt werden.

Dabei wurden die Daten entsprechend der TK100-Kachelung (mit überlappenden Säumen) zerschnitten. Dies war in vertretbaren Zeiträumen nur mit entsprechender Anwendungsprogrammierung und weitgehend automatisierten Prozessabläufen möglich.

Auch für weiterführende Arbeiten, z.B. die Integration aktueller Informationen in das 3D-Modell, werden unterschiedlichste Daten aus heterogenen Quellen benötigt, sei es aus Bohrdatenbanken oder geophysikalischen Untersuchungen. Zu diesem Zweck sind entsprechende Schnittstellen und Routinen zu entwickeln, um eine effiziente Nutzung der Daten durch die 3D-Modellierer zu ermöglichen.

Datenhaltung: GOCAD-Modelle werden in der Regel als systeminterne Projekte gespeichert. Alternativ können die einzelnen Objekte exportiert und in Dateien abgelegt werden. Kleinere, überschaubare Modelle können als GOCAD-Projekte gespeichert werden, entziehen sich damit aber einer direkten externen Nutzung. Der „Geotektonische Atlas 3D“ kann aufgrund seines Datenvolumens zurzeit nicht in einem GOCAD-Projekt gespeichert werden, da weder die Software noch die verfügbare Hardware ein derart großes Projekt verarbeiten können. Auch ist die Speicherung in vielen kleinen GOCAD-Projekten (z.B. jeweils eine TK100-Kachel) nicht sinnvoll, da die weitere Nutzung bzw. Bearbeitung dadurch stark erschwert wird. Aus diesem Grund werden die 3D-Modelle als einzelne Objekte, z.B. Basis- und Topflächen als dreiecksvermaschte Flächen, exportiert und im Dateisystem nach Blattschnitt der TK100 geordnet abgelegt und verwaltet. Der Zugriff auf diese Daten erfolgt durch eine eigens entwickelte Anwendung, die es ermöglicht, beliebige GOCAD-Projekte aus den Daten zusammenzustellen.

Es bleibt zu hoffen, dass in naher Zukunft professionelle 3D-Datenbankanwendungen verfügbar sein werden, die es erlauben, auch 3D-Modelle mit vergleichbaren Möglichkeiten wie im 2D-Bereich zu speichern, zu verwalten und auszuwerten.

Auswertung von 3D-Modellen: Zur Auswertung von 3D-Modellen wird zumeist die Funktionalität

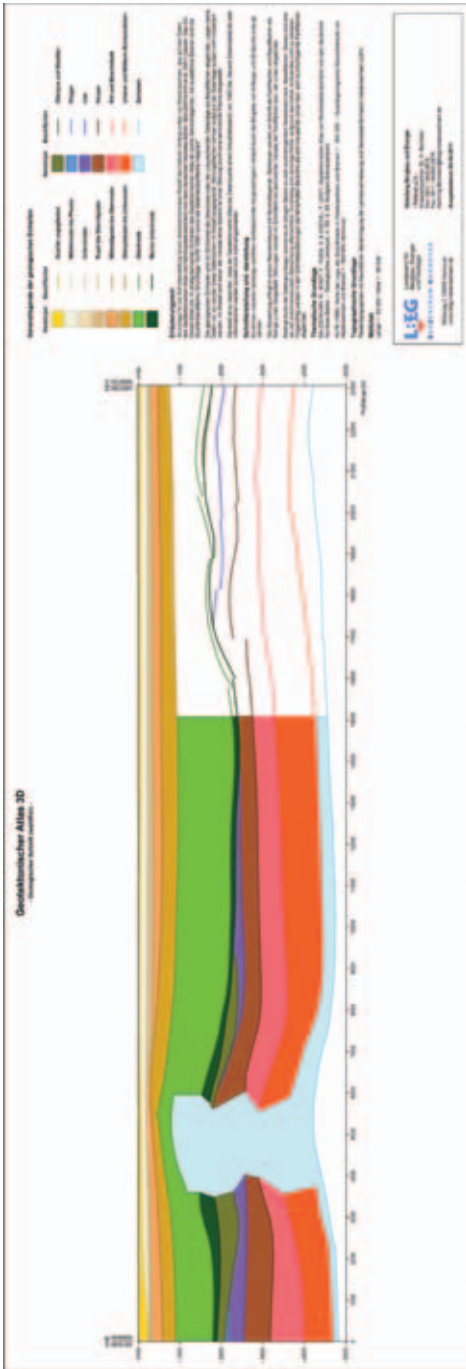


Abb. 5: Ein mittels der Internet-Anwendung erstellter Profilschnitt im Raum Papenburg; im Profilschnitt sind Modellbereiche mit Einhüllenden (links) und Modellbereiche nur mit Basisflächen (rechts) erkennbar.

der eingesetzten Modelliersoftware benutzt. Damit bleibt der Nutzerkreis naturgemäß auf die Anwender dieser speziellen Software beschränkt. Ein Ziel unserer Arbeit ist es, einem möglichst breiten Interessentenkreis Ergebnisse bzw. Auswertungen der 3D-Modellierung verfügbar zu machen. Das am besten geeignete Medium dafür ist heutzutage das Internet. Für diese Anwendungen bzw. Anforderungen sind derzeit noch keine kommerziellen Lösungen erhältlich, so dass entsprechende Eigenentwicklungen notwendig sind.

Ein erster Schritt ist die Anwendung „Auswertung 3D-Modell“ im Kartenserver des LBG (s.u.). Diese Anwendung erlaubt jedem Nutzer völlig frei wählbare Schnitte bzw. hypothetische Bohrungen an beliebiger Stelle in Niedersachsen auf Grundlage des GTA3D zu erzeugen. Um dieses zu realisieren, wurden zunächst alle Dreiecke der vorhandenen Raumflächen als einzelne Geometrie-Objekte mit den notwendigen Sachinformationen in einer Datenbank abgelegt (zurzeit ca. 17.000.000 Dreiecke). Durch eine aufwändige Anwendungsprogrammierung (ca. 2 Entwicklerjahre) werden auf Grundlage der im Kartenserver vom Nutzer eingegebenen Profillinie bzw. des eingegebenen Bohrpunktes aus der Datenbank die benötigten geologischen Informationen ermittelt und ein kartographisch aufbereiteter Profilschnitt bzw. ein Bohrprofil als digitales Bild zur Verfügung gestellt (Abb. 5). Neben den oben beschriebenen Möglichkeiten erlaubt die Speicherung der Dreiecke in einer Datenbank auch bestimmte Kontroll- und Korrekturmöglichkeiten der 3D-Modelldaten. So sind auf diesem Weg degenerierte oder multiple Dreiecke in den triangulierten Flächen, wie sie bei der Modellierung mit GOCAD vorkommen können, leicht zu identifizieren und zu korrigieren.

ren, was innerhalb von GOCAD, wenn überhaupt, nur mit erheblichem Zeitaufwand möglich ist. Dieses Verfahren bietet einige Vorteile gegenüber den in GOCAD vorhandenen Möglichkeiten.

Bereitstellung und Nutzung der Modelle

Die vorhandenen 3D-Modelle von Niedersachsen werden vom LBEG als GOCAD-Objekte unentgeltlich bereitgestellt. Einen fortlaufend aktualisierten Überblick über die verfügbaren Modellbereiche bietet der NIBIS-Kartenserver des LBEG: <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?L-CUST-Schnitte=DOCKED>.

Für Interessenten, die nicht über entsprechende 3D-Modelliersoftware verfügen, bietet das LBEG eine Nutzungsmöglichkeit der 3D-Modelle im Internet an. Über eine Anwendung im Kartenserver des LBEG (URL siehe oben) können frei wählbare Profilschnitte bzw. hypothetische Bohrungen erzeugt werden. Diese Anwendung ist ohne spezielle Software und ohne besondere Kenntnisse nutzbar (ein detaillierter Erläuterungstext ist als pdf-Datei verfügbar). Die Auswertungsergebnisse können als Bilder abgespeichert und bei entsprechendem Quellenhinweis frei genutzt werden.

Die mit Skalierung, Beschriftung, Generallegende und Erläuterungstext versehenen geologischen Profilschnitte bzw. hypothetischen Bohrungen sind eine direkte Auswertung des 3D-Modells, aufbauend auf den Daten des Geotektonischen Atlas. Ein geologischer Profilschnitt kann über das 3D-Modell nun via Internet innerhalb von Sekunden erzeugt werden – eine entsprechende Konstruktion per Hand auf Grundlage des 2D-Kartenwerkes würde Tage, wenn nicht Wochen, beanspruchen.

Fazit und Ausblick

Der Geotektonische Atlas als 3D-Modell ist nun in einfach nutzbarer Form, sei es direkt als 3D-Modell oder über die Auswertungsmöglichkeiten im Kartenserver des LBEG, für alle interessierten Nutzer zugänglich. Zudem ist jetzt die Möglichkeit zur Einarbeitung aktueller Informa-

tionen (Bohrungen, 3D-Seismik, etc.) gegeben. Damit kann dieses wesentliche Werk zur Strukturgeologie NW-Deutschlands auch in Zukunft die Grundlage für die geologische Bearbeitung und Betrachtung des Untergrundes in diesem Gebiet sein. Dies ist vor dem Hintergrund der stetig steigenden Nutzungsanforderungen und der daraus auch entstehenden Nutzungskonflikte (z.B. Kohlenwasserstoffexploration, Tiefe Geothermie, Speicherung im Untergrund) von besonderer Bedeutung.

Daher wird eine wesentliche Zukunftsaufgabe die Erweiterung der Auswertungsmöglichkeiten über die Kartenserver-Anwendung sein. Dabei ist z.B. an Volumenberechnung, Erstellen von Mächtigkeits- und Verbreitungskarten zu denken. Aber auch an der Bereitstellung des 3D-Modells im Internetbrowser wird gearbeitet.

Die fachlich-inhaltliche Aktualisierung und die Korrektur von Unstimmigkeiten wird sich zunächst auf räumlich enger begrenzte Projektgebiete beschränken, da eine vollständige Überarbeitung des Gesamtmodells aus Ressourcen Gründen nicht möglich ist.

Referenzen

Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S. & Kockel, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor: Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. - Geol. Jb., A153: 88 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

Baldschuhn, R., Frisch, U. & Kockel, F. (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland 1:300.000. – 17 Teile, Kt., Taf.; Hannover (BGR).

¹ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Tel. 0511-6433575, henning.bombien@lbeg.niedersachsen.de

² ehemals Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover

³ jetzt Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Tel. 0511-6433609,

jennifer.ziesch@liag-hannover.de