

Nutzung großer Punktdatenmengen für die 3D-Geomodellierung

Sascha Görne, Ottomar Krentz

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Abteilung Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden, Email: Sascha.Goerne@smul.sachsen.de

Die Einbeziehung von Punktdaten bei der 3d-Geomodellierung kann wichtige Zusatzinformationen für strukturgeologisch-/tektonische Modelle liefern. Im Gegensatz zu Punkten, die Bestandteil einer Ebene sind, werden hier Punktdaten betrachtet die nicht ohne Weiteres einer Fläche zugeordnet werden können. Dabei handelt es sich sowohl um „orientierte“ Punkte (z.B. Schieferungsflächen, Herdflächenlösungen) als auch um Punkte ohne Orientierung (z.B. Erdbebenhypozentren). In der Regel liegen hierbei Datenmengen mit mehr als 1.000 Einzelementen vor, die nicht mehr individuell bearbeitet werden können. In der Arbeit wird der Versuch unternommen, unter der Modellierungssoftware Gocad semiautomatische 3d-Darstellungsmöglichkeiten der Punktdaten unter Einbeziehung von digitalen geologischen Karten und Geländemodellen zu finden und mit Ansätzen aus der Literatur zu vergleichen.

The Application of Large Amounts of Point Sets for 3d-Modelling

The use of point sets for 3d-modelling supply additional information for tectonic and structural models. In contrast to points which are part of a surface we discuss points which are not related directly to a plane. It refers as well to orientated point sets like foliation planes and fault plane solutions as no orientated point sets like hypocentres of earthquakes. Usually the data include more than several thousand point sets which can not be processed individually. The paper presents semiautomatic possibilities of 3d-modelling of point sets using digital geological maps and digital elevation models and the comparisons with published approaches.

1 Einleitung

Seit 2001 wird am Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) mit der 3d-Modellierungssoftware Gocad gearbeitet. Dabei soll der geologische Untergrund in seiner Gesamtheit bearbeitet werden, um die komplexen Zusammenhänge verständlicher darzustellen sowie eine umfassende und einheitliche Datengrundlage für unterschiedliche geowissenschaftliche Anwendungsbereiche zu schaffen.

Neben einer umfangreichen Datenbasis an Bohrungen, digitalen geologischen Karten, Rissen, Profilschnitten und Tiefenlinienkarten liegen am LfUG auch zahlreiche digitale Punktdaten vor. Das sind einerseits über 5.000 tektonische Messwerte, die als „orientierte“ Punkte im Rahmen der Erstellung der digitalen GK50 im Erzgebirge und Vogtland mit erfasst worden sind und in die strukturelle Modellierung einbezogen werden sollen. Andererseits liegen aus dem Schwarmbebengebiet im Vogtland ca. 10.000 „nicht orientierte“ Ortungen der Hypozentren von Erdbeben vor, die im Zeitraum 1991-2006 gemessen und im Rahmen des „Seismologie-Verbundes zur Erdbebenbeobachtung in Sachsen“ verfügbar gemacht worden sind. Die Einbeziehung dieser Daten in die Modellierung sowie die Auswertung entsprechender methodischer Ansätze aus der Literatur ist Anliegen des vorliegenden Beitrages.

2 „Nichtorientierte“ Punktdaten

Seit dem Erdbebenschwarm 1985/86 wurden im Vogtland und in Nordwestböhmen zahlreiche digitale seismische Stationen aufgebaut, um die Erdbebenherde dieser Region genauer zu lokalisieren. Mit wachsender Messgenauigkeit wurden auch Ereignisse lokalisiert, deren Magnitude kleiner Null war. Dadurch konnten fast 10.000 Ereignisse registriert und in die Untersuchung einbezogen werden. Die Messgenauigkeit lag in der horizontalen Ausdehnung bei 1-2 km und in der vertikalen Ausdehnung

bei 3-4 km. Die hohe Anzahl der Lokalisierungen erlaubte trotzdem eine Zuordnung der Beben zu einzelnen Clustern.

In einer ersten dreidimensionalen Betrachtung wurde deutlich, dass einzelne Cluster auf Ebenen positioniert sind und damit Hinweise auf rezente Störungen geben, wie z.B. in der seit 1985 seismisch aktivsten Region bei Novy Kostel (CZ) (vergl. FISCHER 2003). SCHEIDEWEG u. STANEK (2007)¹ testeten manuell weitere Cluster innerhalb des Erdbebengebietes auf ihre mögliche Lage auf Ebenen. Durch diese Punktwolken wurden Regressionsflächen gelegt, die die Lage einer möglichen Tiefenstörung darstellen kann. Insgesamt wurden so 17 Cluster auf Ebenen ausgehalten. Die Regressionsflächen wurden mit ihrer Raumlage auf die Erdoberfläche extrapoliert, um das theoretische Ausstreichen der Störung anzudeuten (Abb. 1).

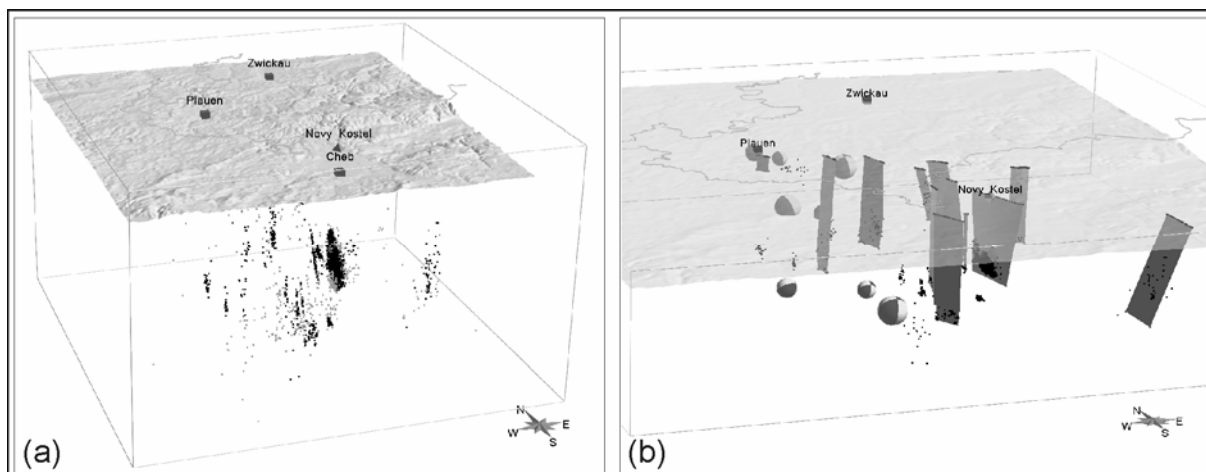


Abb. 1: (a) Darstellung aller registrierten seismischen Ereignisse in der Region Vogtland/NW-Böhmen im Zeitraum 1991-2006; (b) Ausgewählte Cluster von Erdbeben, die auf Flächen liegen und Vergleich mit Herdflächenlösungen („beachballs“).

Ergänzt wurden diese ermittelten Flächen mit den Ergebnissen aus Herdflächenlösungen von den Hypozentren einzelner Erdbeben. Eine Herdflächenlösung gibt prinzipiell zwei mögliche Ebenen an, auf der die ereignisinduzierende Bewegung stattgefunden hat sowie deren Bewegungsrichtung. Die Darstellung erfolgt als sogenannte „beachballs“ (Abb. 1b). Durch die Angabe von Streich- und Fallwerten für die ermittelten Flächen handelt es sich dabei um „orientierte“ Punkte.

Der Abgleich mit Felduntersuchungen und mit Fernerkundungsdaten erfolgt in weiterführenden Arbeiten.

3 „Orientierte“ Punktdaten

3.1 Nicht-automatisierte Verarbeitung

Für den Freistaat Sachsen liegt eine große Anzahl tektonischer Messwerte vor, die für die 3d-Strukturmodellierung eine wertvolle Datengrundlage sein können (Abb. 2). Gemessen wurden die Einfallrichtung einer Schicht-/Schieferungsfläche als Winkel gegen die Nordrichtung in Grad (*azimuth* oder *dip direction*) und deren Einfallswinkel (*dip*) [DE KEMP 1998]. Die Messwerte liegen \pm zufällig über alle Gesteinsgruppen verteilt vor und sind i.d.R. an geologische Aufschlüsse gebunden.

¹ Mitarbeit in der Arbeitsgruppe Seismotektonik im Rahmen des „Seismologie-Verbundes zur Erdbebenbeobachtung in Sachsen“

Dennoch enthalten sie wertvolle Informationen über die Raumlage einer geologischen Grenzschicht oder tektonischer Elemente. Die Symbol-Darstellung dieser Messwerte auf geologischen Karten (Abb. 3a) ist immer an die Angabe des Einfallswinkels gebunden. So ist zwar die Streichrichtung einer Schichtgrenze oder Schieferung auf den ersten Blick erfassbar, nicht jedoch der Einfallswinkel und dessen Relation zu benachbarten Messwerten. In einer 3-dimensionalen Darstellungsweise sind azimuth *und* dip symbolhaft darstellbar und, v.a. in Kombination mit Reliefkarten und geologischen Karten, verständlich [DE KEMP et al. 2006].

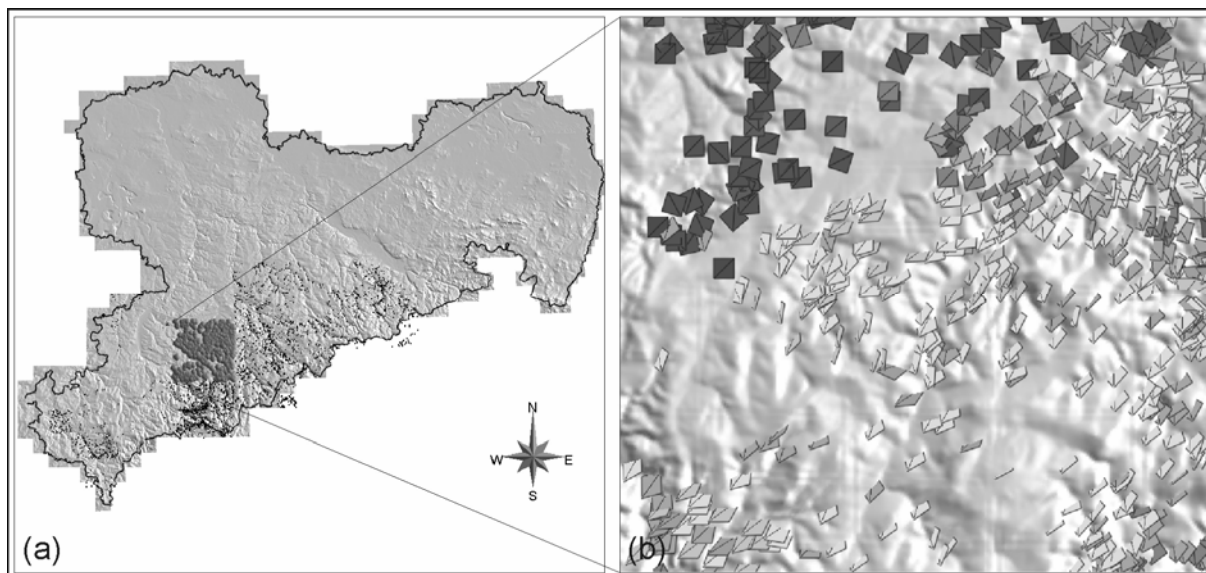


Abb. 2: (a) Lage aller verwendeten Messwerte in Sachsen (dunkelgrau: Blatt L5342, Stollberg); (b) „Orientierte“ Punktdaten auf dem Blatt Stollberg in Gefüge-Marker Darstellung

Geht man davon aus, dass *ein* Messwert die Lage *einer* Fläche im Raum repräsentiert, kann dieser Wert unterstützend für die Modellierung einer (regional stark begrenzten) Fläche herangezogen werden. Als zusätzliche Information für die Konkretisierung eines z.B. aus Bohrungsdaten generierten Modells sind einzelne, von Hand selektierte Werte sehr nützlich. Ist eine repräsentative Bohrung z.B. weit von einer bekannten Ausbisslinie an der Oberfläche entfernt, gibt solch ein Messwert Aufschluss über den Verlauf der Schichtgrenze im „informationsleeren“ Raum dazwischen. In jedem Fall ist eine Bewertung vorzunehmen, wie relevant ein Messwert für die betrachtete Fläche ist. Diese manuelle Selektion und Bewertung ist sehr zeitaufwändig und daher nur für lokale Modelle geeignet.

3.2 Automatisierte Verarbeitung

Um ein prinzipielles, überregionales Modell des geologischen Untergrundes zu erstellen, eignet sich die manuelle Bearbeitung und Bewertung der Fall- und Streichwerte aufgrund der enormen Datenfülle nur bedingt. Das Ziel ist es deshalb, eine Methode zu entwickeln, in Gocad große Datenmengen (semi)automatisch zu verarbeiten, wenn z.B. zu einer geologischen Schicht nur die Grenze an der Oberfläche und einige Strukturdaten an dieser Grenze bekannt sind [SPRAGUE u. DE KEMP 2005]. Dies beinhaltet in einem ersten Schritt die Konvertierung der digital vorliegenden Gefügedaten in eine geeignete Darstellungsform für Gocad. Von mehreren Autoren existieren verschiedene Ansätze, Gefügedaten dreidimensional darzustellen. DE KEMP et al. entwickelten *Structural Graphics* (Abb. 3b) zur Visualisierung und Modellierung, die in dem kommerziellen Produkt *Sparse* von MIRA GEOSCIENCES als Gocad-Plugin Eingang fanden. HÖSER et al. (2006) kreierten die *Bonner Geokachel* (Abb. 3c) zur Modellierung in SketchUp. Die vorliegende Arbeit hat jedoch zum Ziel, die Modellierung ohne zusätzliche bzw. andere Software zu verwirklichen. Da sich auch die in Gocad verfügbare Form der dipstrikte-Darstellung (Abb. 3d) für die Zielstellung als unzureichend erwiesen hat, wurde die Darstellung über Flächenobjekte (TSurfs), die sog. Gefüge-Marker realisiert (Abb. 3e).

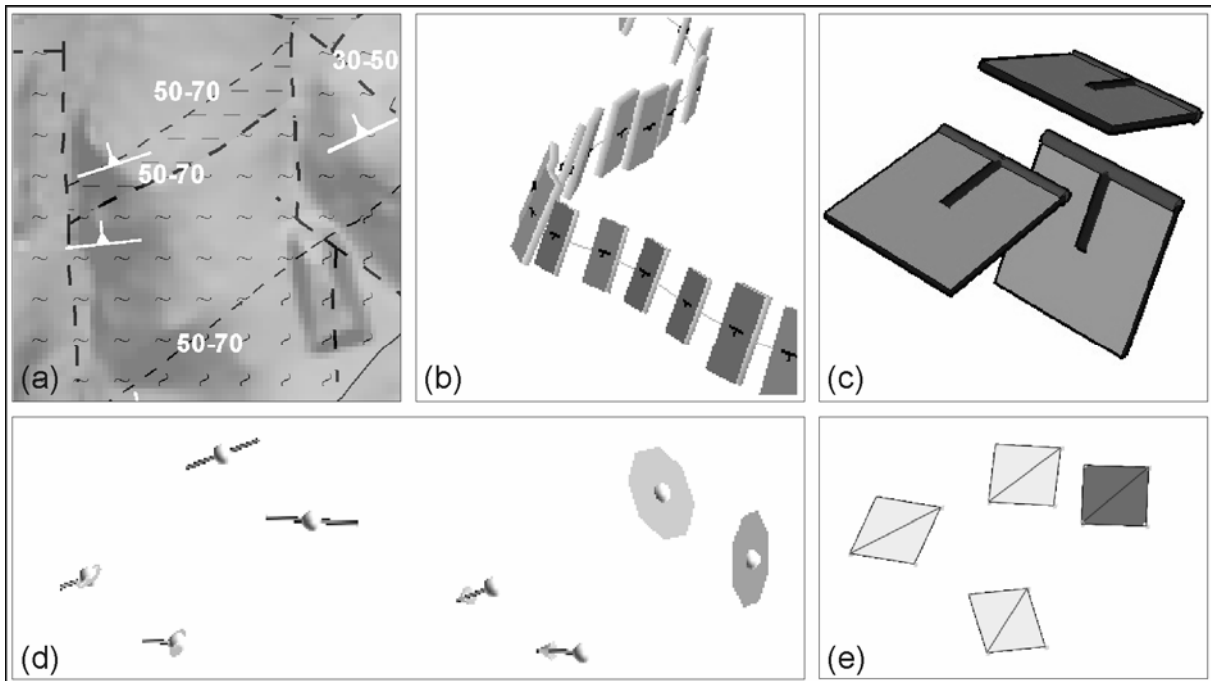


Abb. 3: Verschiedene Darstellungsweisen von Gefügedaten; (a) 2d-Karten-Darstellung; (b) *Structural Graphics* [MIRA GEOSCIENSE]; (c) Bonner Geokachel [Höser et al.]; (d) Gocad-implementiert; (e) Gefüge-Marker

Dazu wurde in der Programmiersprache Python ein Script zur Umwandlung beliebig vieler Messwerte in Tabellenform zu Gocad-Surfaces programmiert. Die Eingangsdaten müssen in der Form *ID X Y Z DIP AZIMUTH* vorliegen, Ergebnis ist eine ASCII-Datei (*.ts) für den direkten Import in Gocad. Über Benutzereingaben kann die Kantenlänge der als Gefüge-Marker genutzten Quadrate (c) festgelegt werden. Der so entstandene Gefüge-Marker repräsentiert durch seine Lage im Raum eindeutig den jeweils hinterlegten Messwert. Durch die unterschiedliche Kolorierung der Ober- und Unterseite des Markers sind auch überkippte Lagerungen sofort erkennbar. Zudem ist jedem Symbol über die *normal*-Eigenschaft ein Neigungswert zugeordnet, der sich zum einen durch abgestufte Farbgebung visualisieren lässt und zum anderen als Datenserver für die Messwertprojektion dient. Mithilfe dieser Methode lassen sich alle hier betrachteten 5.000 Messwerte in einem Schritt konvertieren und 3-dimensional darstellen. Aus dem Streichwinkel (θ), dem Fallwinkel (ϕ) [PRICE u. COSGROVE 1994] und den Koordinaten des Messpunktes wird die Raumlage des Gefüge-Markers wie in Abb. 4 beschrieben berechnet.

$$X_{1-4} = \left[X + \cos(45 - \theta) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 2c^2 \right] \pm \left(c - \cos\phi \cdot \frac{\pi}{180} \cdot c \right)$$

$$Y_{1-4} = Y \pm \sin(45 - \theta) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 2c^2$$

$$Z_{1-4} = Z \pm \sin(\phi) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot c$$

(a)

(b)

Abb. 4: Berechnungsvorschriften für die Script-basierte Erstellung der Gefüge-Marker; (a) Formeln für die Koordinaten; (b) Gefüge-Marker mit Eckkoordinaten

Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wird GK50-Blatt-bezogen gearbeitet. Die prinzipielle Vorgehensweise wird im Folgenden am Beispiel des Blattes L5342, Stollberg erläutert. Die geologischen Grenzflächen werden als Curves aus der GK50dig importiert und generalisiert. Die Stützpunkte der Linienobjekte werden mit der Eigenschaft *normvec* (3-teiliger Vektor) versehen und erhalten mangels vorhandener Werte vorerst *no data values* (NDV). Anschließend werden durch vertikale Projektion die Normalenvektoren der dip-strike-Symbole auf die *normvec*-Eigenschaft der Linie übertragen. Der Toleranz-Abstand der für eine Grenzlinie relevanten Messwerte wird bei der Datenkonvertierung über die Kantenlänge der Quadrate (Benutzereingabe) gesteuert. Sind nicht alle Stützpunkte der Grenzlinie mit Daten belegt, müssen die übrigen Werte durch Interpolation geschätzt werden. Da eine Interpolation mit den vordefinierten NDV nicht möglich ist, werden diese über ein *property script* mit Zufalls-werten gefüllt. Nach abgeschlossener Interpolation ist jeder Stützpunkt mit einem für das Einfallen repräsentativen Normalenvektor versehen. Anschließend wird aus der Grenzlinie durch negative Extrusion um 5.000m eine senkrechte Fläche generiert, die als Interpolationsbedingung die Raumorientierung der Grenzlinie erhält. Nach Interpolation und Diskretisierung der Fläche steht diese als Grenzfläche für die weitere Modellierung zur Verfügung (Abb. 5).

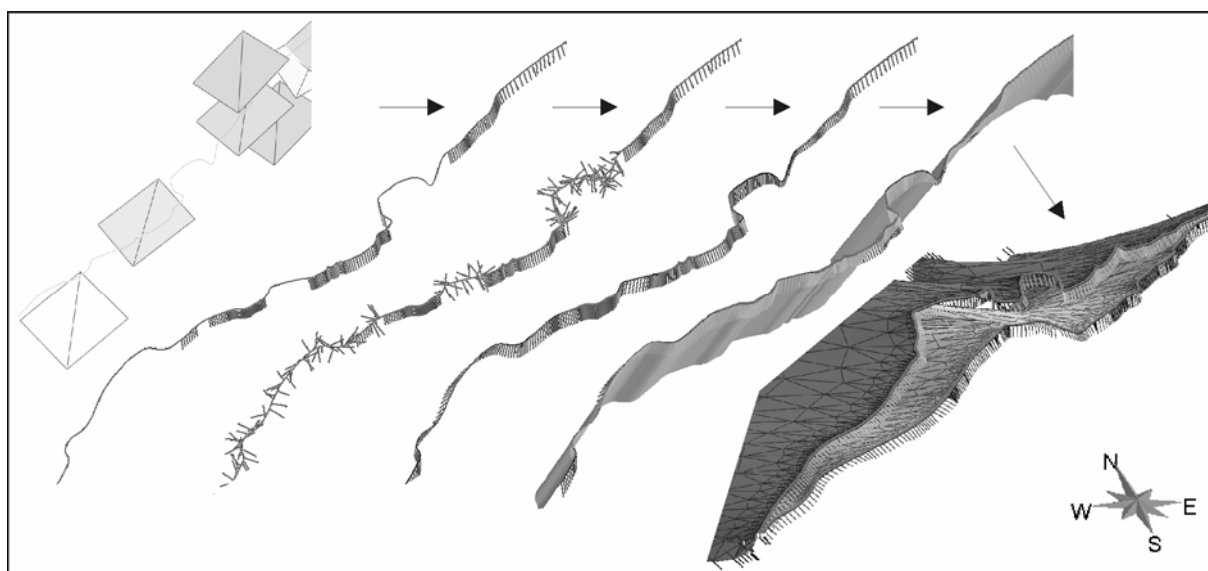


Abb. 5: Ablauf der Modellierung mithilfe von Gefüge-Daten

Die weiteren Modellierungsschritte sind in Abb. 6 verdeutlicht. Durch Verschneidung von Liegend- und Hangendfläche einer geologischen Einheit (Abb. 6a) kann, z.B. als Model3d-Objekt in Gocad, ein Modellkörper entstehen (Abb. 6b). Wird für die übrigen geologischen Einheiten ebenso verfahren, ergibt sich ein grundsätzliches strukturgeologisches Modell eines Gebietes (z.B. auf Basis der GK50, 22x22 km). Abb. 6c zeigt das prinzipielle Modell des Blattes L5342, Stollberg, wobei bedingt durch die weite vertikale Erstreckung der Schichtgrenzen zur besseren Visualisierung der Eindruck einer Tiefenlage entsteht, wie sie so in der Realität nicht existiert.

3.3 Ausblick

Die Modellierung mit großen Mengen „orientierter“ Punktdaten in Zusammenhang mit digitalen geologischen Karten kann einen groben Überblick über den räumlichen Bau großer Gebiete liefern, ersetzt aber keinesfalls detaillierte Untersuchungen und die 3d-Modellierung mithilfe von Bohrungsdaten, Schnitten, Isolinkarten, etc.. Ein wichtiger Punkt zur Beurteilung von 3d-Modellen die mit der gezeigten Methode entstehen, ist die Unterscheidung von (harten) Daten und Interpretation. Durch die Interpolation oder Weiterverarbeitung von Sekundärdaten gehen die Originaldaten oft verloren (SPRAGUE u. DE KEMP 2005), weshalb eine lückenlose Dokumentation der Modellierungsarbeiten notwendig ist. Zukünftige Arbeiten zu diesem Thema haben eine weitere Verbesserung der Messwert-

darstellung, die Zusammenfassung der Arbeitsschritte in einem Gocad-Wizard und die Implementierung des beschriebenen Python-Scripts in die Gocad-Oberfläche zum Ziel.

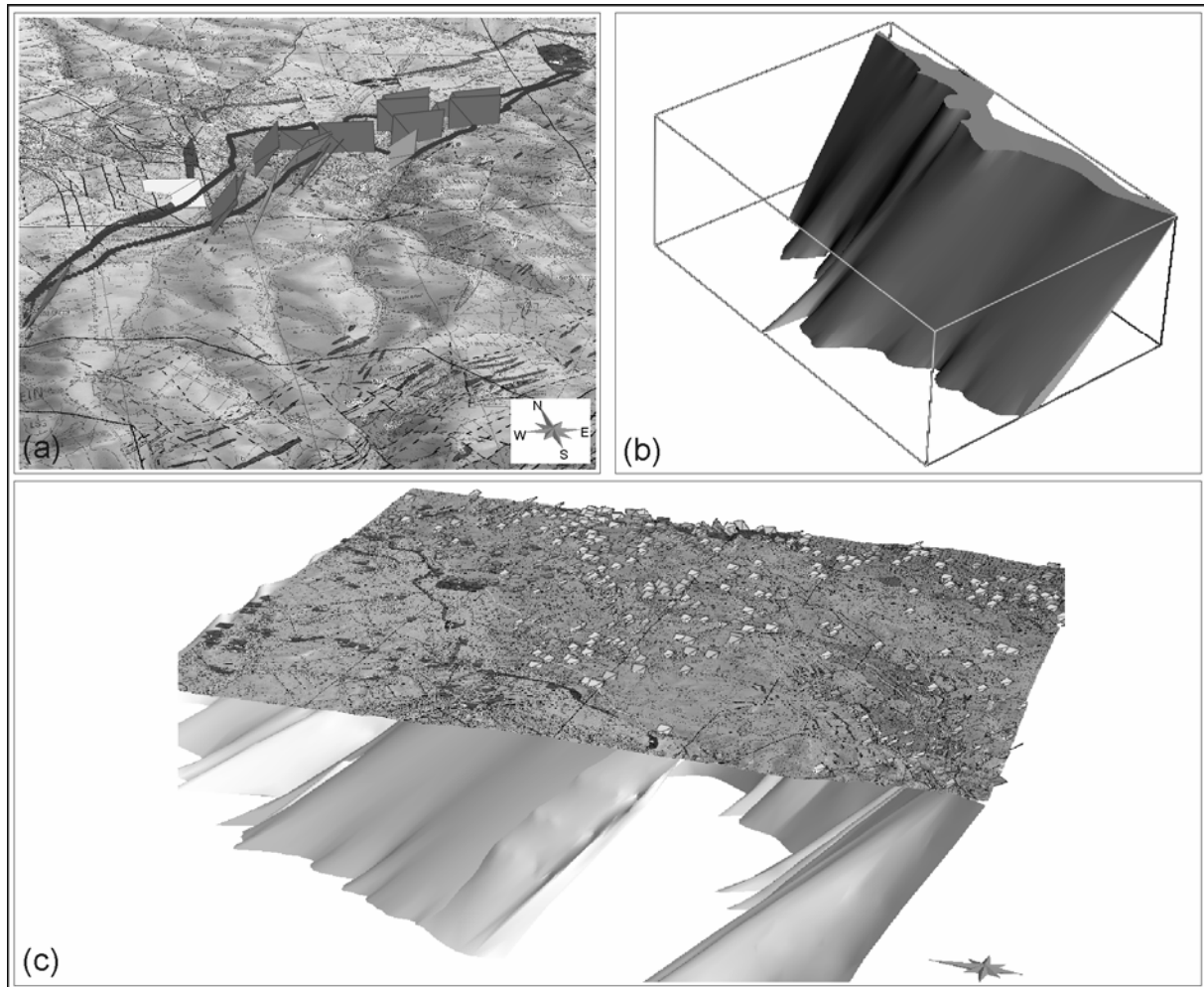


Abb. 6: (a) Begrenzung der betrachteten geologischen Einheit und Orientierungsdaten auf der GK50; (b) durch Verschneidung entstandener Modellkörper; (c) Prinzipielles 3d-Modell GK50 L5342

4 Literaturverzeichnis

- DE KEMP, E. (1998): "Three-Dimensional Projection of Curvilinear Geological Features through Direction Cosine Interpolation of Structural Field Observations", *Computers & Geosciences* Vol. 24(3):269-284, 1998.
- DE KEMP, E., SCHETSELAAR, E., SPRAGUE, K. (2006): "3-D symbolization of L-S fabrics as an aid to the analysis of geological structures", *Computers & Geosciences* Vol. 32:52-63, 2006.
- FISCHER, T. (2003): The August-December 2000 earthquake swarm in NW Bohemia: the first results based on automatic processing of seismograms.- *Journal of Geodynamics*, 35, 59-81.
- HÖSER, CH., JAKOB, A. (2006): SketchUp für Geologen, www.geokachel.de.
- MIRA GEOSCIENCE (2007): Advanced structural modelling using Sparse - Sparse Training Document – unveröff..
- PRICE, N.J., COSGROVE, J.W. (1994): Analysis of geological structures - Reprint der 1. Aufl. - Cambridge : Cambridge University Press, 1994. - 502 S. - ISBN 0-521-31958-7.
- SCHEIDEWEG, E.; STANEK, K. (2007): Interpretation seismischer Daten aus dem Gebiet Vogtland-NW Böhmen (Zeitraum 1991-2006).-unveröff. Bericht, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Freiberg.
- SPRAGUE, K., DE KEMP, E. (2005): "Interpretive Tools for 3-D Structural Geological Modelling Part II: Surface Design from Sparse Spatial Data", *GeoInformatica*, Vol. 9(1):5-31, 2005.