

Geologische 3-D-Modellierung des Untergrundes – Ergebnisse aus dem INTERREG IIIB-Projekt BurVal

➤ **Wolfgang Scheer, Jens Kröger und Reinhard Kirsch**

Als Mitinitiator und Partner wirkte das Landesamt für Natur und Umwelt (LANU) Schleswig-Holstein von 2004 bis 2006 in dem von der EU geförderten, dänisch-niederländisch-deutschen INTERREG IIIB Projekt BurVal mit. Ziel des Projektes war die Erkundung der geologischen Zusammenhänge in tiefen eiszeitlichen Rinnensystemen, die international als **buried valleys** bezeichnet werden. In sechs Pilotgebieten waren innovative hydrogeologische und geophysikalische Methoden im Hinblick auf präzise Arbeitsergebnisse sowie Kosteneffizienz einzusetzen und ihre Nutzbarkeit für Fragen der Grundwassergewinnung und des Grundwasserschutzes zu optimieren. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe 3-dimensionaler geologischer Modelle ausgewertet und visualisiert. Das hier beschriebene Modell der Ellerbeker Rinne wurde von den geologischen Landesdiensten der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) Hamburg (vormals BUG) und dem LANU gemeinsam entwickelt. Nähere Informationen zum Projekt können auf der Homepage <http://www.burval.org> eingesehen werden.



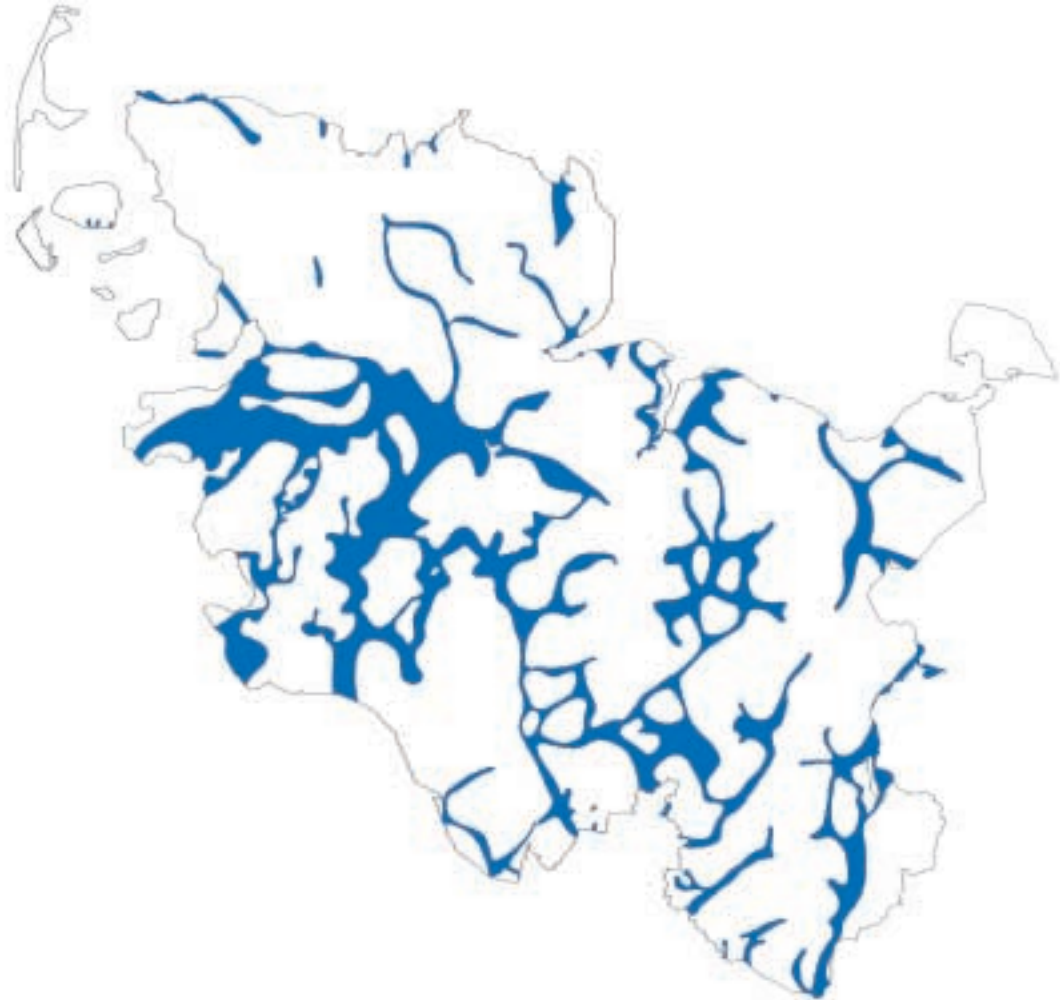
Abbildung 1: Übersicht der sechs Projektgebiete und der neun Projektpartner

Eiszeitliche Rinnen (Buried Valleys)

Die in den sechs Pilotgebieten untersuchten eiszeitlichen Rinnen wurden im Verlauf der Kaltzeiten des Quartärs von Gletschereis und Schmelzwässern canyonartig bis mehrere hundert Meter tief in den Untergrund eingeschnitten. Den Erosionsphasen folgten im kurzen zeitlichen Abstand Sedimentationsphasen,

in denen die großräumigen Hohlformen vom Schutt der Gletscher wieder „begraben“ wurden, so dass sie heute an der Geländeoberfläche nicht mehr erkennbar sind. Im Hinblick auf die Grundwasserbewegung und als Grundwasserspeicher haben die eiszeitlichen Rinnen eine herausragende Bedeutung. Abbildung 2 gibt einen Überblick der Verbreitung solcher Strukturen in Schleswig-Holstein.

Abbildung 2.:
Verbreitung eiszeitlicher Rinnen in
Schleswig-Holstein



Das Projektgebiet Ellerbeker Rinne

Das Projektgebiet der Ellerbeker Rinne liegt an der westlichen Landesgrenze zwischen Hamburg und Schleswig-Holstein. Durch vorangegangene Untersuchungen waren hier bereits zahlreiche hydrogeologische Informationen vorhanden, die zur Eichung und Bewertung

der eingesetzten geophysikalischen Verfahren herangezogen werden konnten. Auf Grund ihrer Dimension, ihres internen Aufbaus sowie ihrer hydraulischen Anbindung an die umgebenden jungtertiären Grundwasserleiter ist die Ellerbeker Rinne aus hydrogeologischer Sicht zudem wasserwirtschaftlich und wissenschaftlich interessant.



Abbildung 3:
Lage des Untersuchungsgebietes
Ellerbeker Rinne

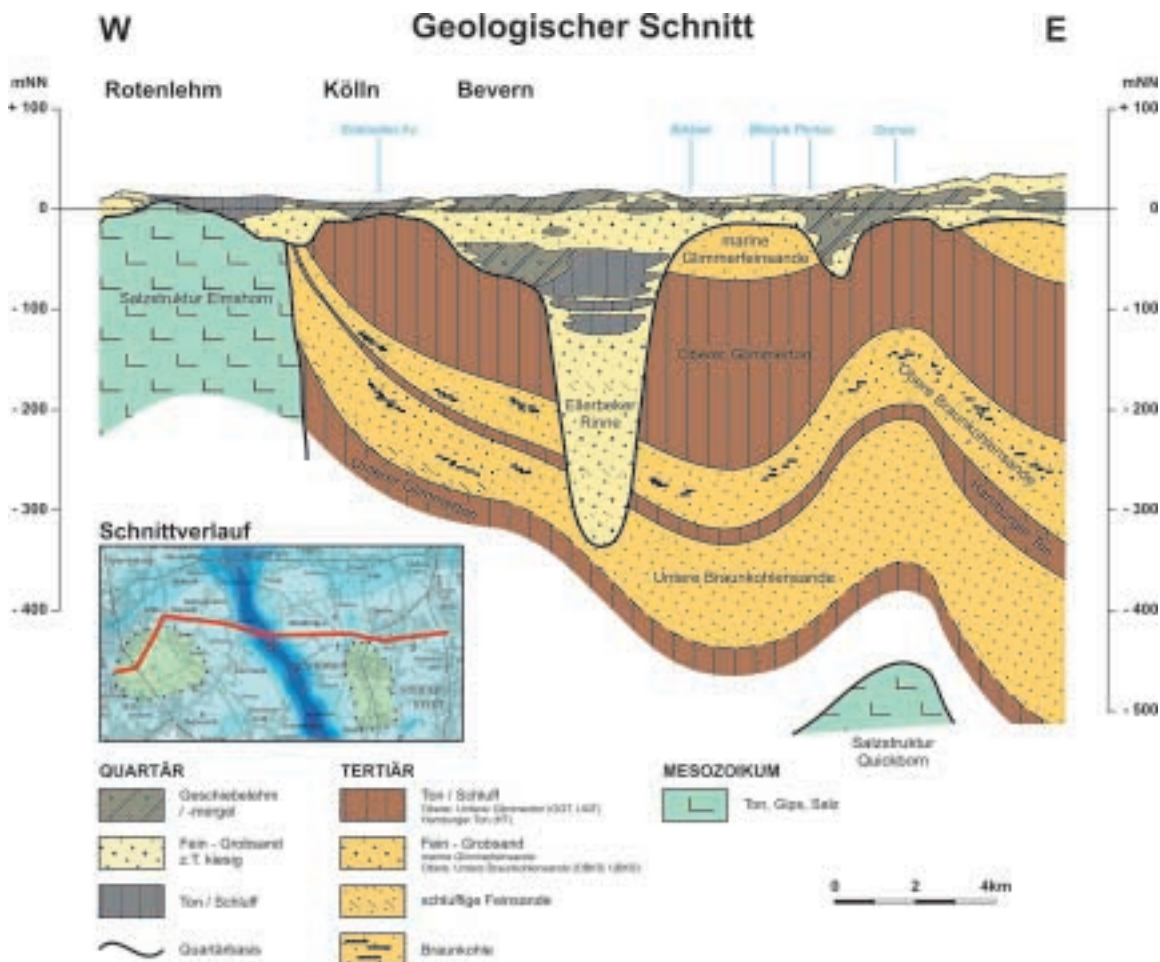


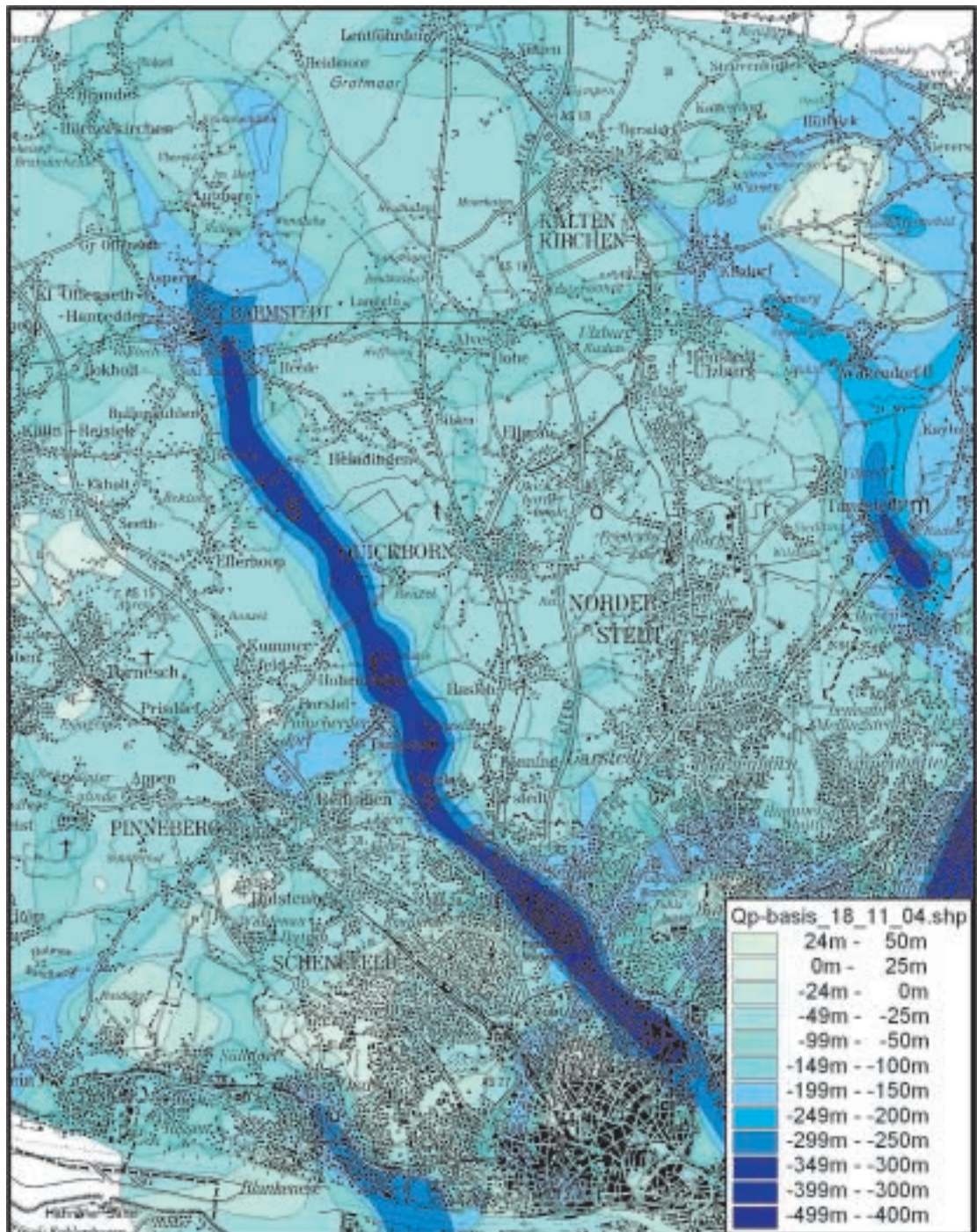
Abbildung 4: Geologischer Aufbau im Projektgebiet Ellerbeker Rinne

Die Schnittdarstellung in Abbildung 4 zeigt den Aufbau der im Projekt untersuchten **geologischen Schichtfolge**: Im Bereich Elmshorn und Quickborn fallen die aus großer Tiefe aufgestiegenen Salz-, Gips- und Tongesteine des Perm (>200 Mio. Jahre alt) auf. Sie haben die Lagerungsverhältnisse der Ablagerungen des Tertiärs (dargestellte Schichtfolge ca. 50 – 5 Mio. Jahre alt) stark beeinflusst: Als tiefste untersuchte Tertiärschicht ist der Untere Glimmerton abgebildet, der von den für die Trinkwasserversorgung genutzten Braunkohlensanden (BKS) überlagert wird. Durch den Hamburger Ton werden die Braunkohlensande in die Unteren BKS und die Oberen BKS unterglie-

dert. Letztere werden vom Oberen Glimmerton flächenhaft abgedeckt. Das jüngste tertiäre Schichtglied sind die regional verbreiteten marinen Glimmerfeinsande.

Die vorgenannte, relativ gleichförmige tertiäre Schichtfolge wird von sehr heterogen aufgebauten Sedimenten des Quartärs, vorherrschend eiszeitliche Geschiebemergel, Sande und Kiese, sowie Tone und Schluffe, überlagert. Im Verlauf der Ellerbeker Rinne haben sich die eiszeitlichen Ablagerungen tief in die oben genannten tertiären Tone und Sande eingeschnitten.

Abbildung 5:
Karte der Tiefenlage der Quartärbasis bezogen auf NN, Verlauf der Ellerbeker Rinne



Die Rinne erstreckt sich aus dem Stadtgebiet von Hamburg in Richtung Nordwesten bis über Barmstedt hinaus über eine Länge von über 40 Kilometern (Abbildung 5). Ihre mittlere Breite beträgt zwei bis drei Kilometer. Dabei erreicht sie in weiten Teilen Tiefen von 300 bis 400 Metern unter NN, lokal ist sie sogar deutlich über 400 Metern tief. Die Sande innerhalb der Rinne stellen einen regional bedeutenden Grundwasserleiter dar, der an den Rinnenflanken mit den umgebenden tertiären Wasserleitern hydraulisch verbunden ist.

Strukturmodell entworfen werden. Einen direkten, aber nur lokal sehr begrenzten Einblick in die Tiefe bekommt man durch die Auswertung von Aufschlussbohrungen (Abbildung 6). Der Schritt hin zu einem dreidimensionalen Modell erfolgt über die zweidimensionalen Darstellung in Schnittkonstruktionen (Abbildung 7), in denen die Informationen aus mehreren Bohrungen korreliert werden, das heißt: wiederkehrende Schichten werden identifiziert und verbunden. Aus mehreren Einzelschnitten lässt sich ein Schnittraster (Abbildung 8) erstellen, aus dem ein räumliches Bild des Untergrundes entsteht. Aus diesem können dann Themenkarten wie beispielsweise Tiefenlinienkarten einzelner Schichten konstruiert werden.

Die Erkundung des Untergrundes – Entwicklung einer geologischen Modellvorstellung

Zum Verständnis der Untergrundverhältnisse muss zunächst ein grobes, dreidimensionales

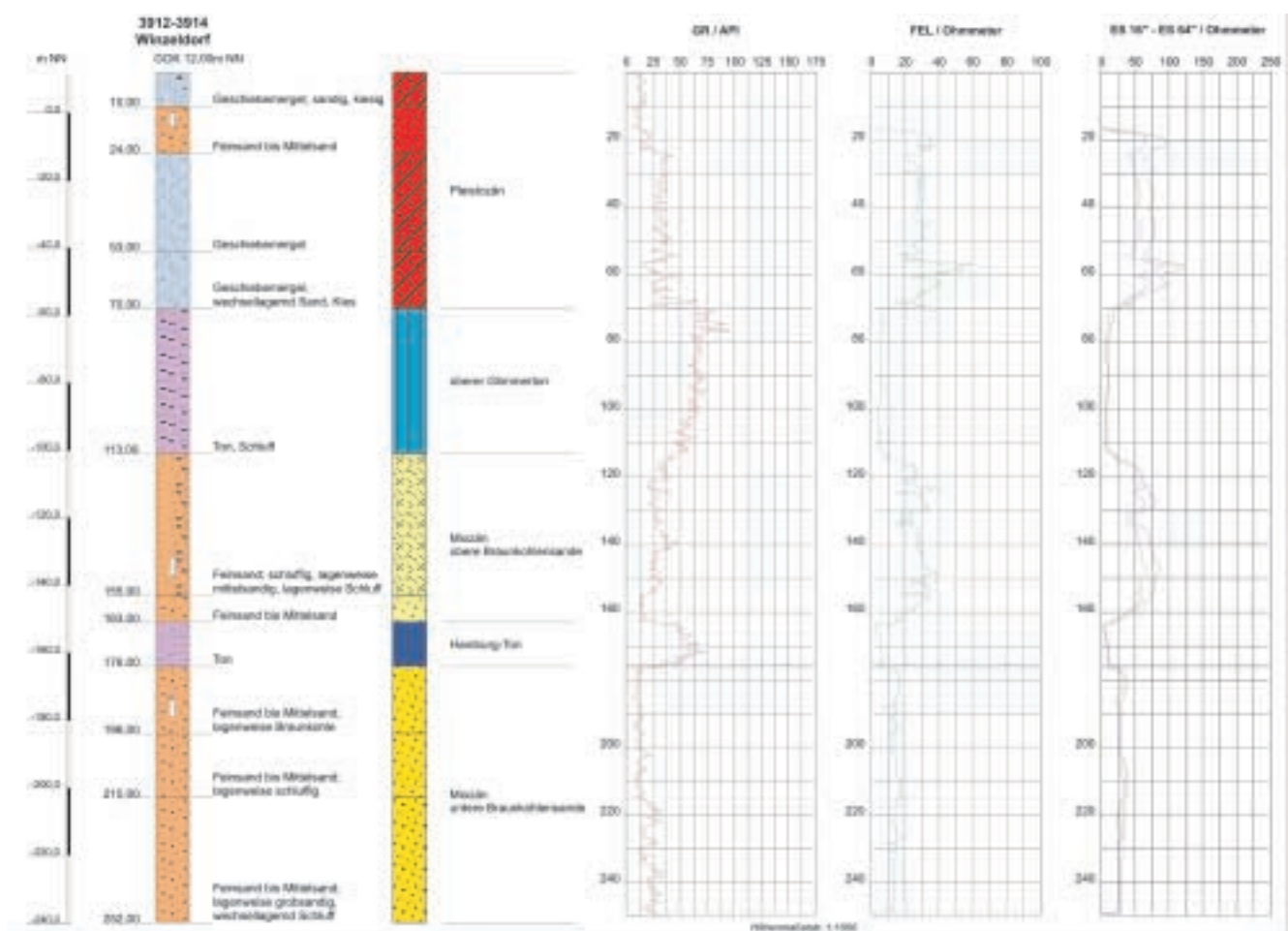


Abbildung 6: Auswertung einer Aufschlussbohrung: links die Bohrsäule mit der Beschreibung der erbohrten Schichten und einer stratigraphischen Einordnung, rechts die Diagramme der geophysikalischen Bohrlochmessungen

Geophysikalische Erkundung des Untergrundes

Ergänzend zu Bohrungen liefern geophysikalische Messungen von der Erdoberfläche oder vom Helikopter aus einen Einblick in die Tiefe. Diese Techniken liefern flächenhafte Informationen und schließen so die Bereiche zwischen den Aufschlussbohrungen mit Daten.

Von den zur Verfügung stehenden geophysikalischen Verfahren hat sich im Projekt BurVal besonders der Einsatz von Seismik, Geoelektrik, Elektromagnetik und Gravimetrie bewährt. Zwei Beispiele von Messverfahren, deren Daten für die Optimierung des digitalen geologischen 3-D-Modells genutzt wurden, sind in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.

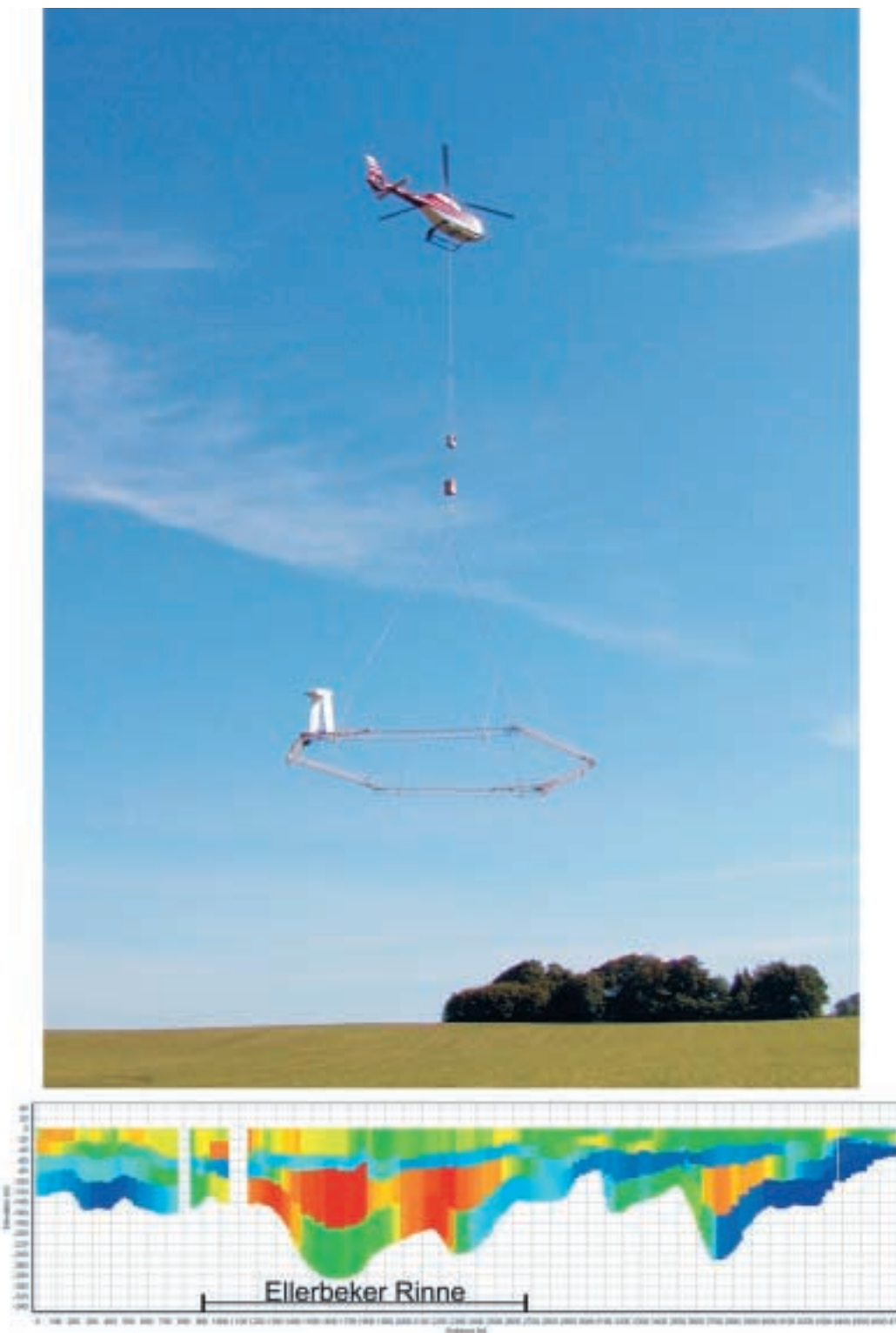


Abbildung 9: Aeroelektromagnetik, Messsystem SkyTEM, Helikopter mit Messapparatur
Farbkodierung: rot, gelb, orange – überwiegend sandige Schichten (hoher elektrischer Widerstand);
blau und grün – überwiegend tonige, schluffige Schichten (geringer elektrischer Widerstand)

Abbildung 9 zeigt das von einem Helikopter geschleppte **Elektromagnetik-System** Sky-TEM, eine Entwicklung der Universität Aarhus, mit dem die Verteilung des elektrischen Widerstands des Untergrundes bestimmt wird. Aus der wiederum können Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung von grundwasserleitenden und –geringleitenden Sedimenten gezogen werden. Das in der Abbildung dargestellte Diagramm zeigt für ein etwa fünf Kilometer langes Messprofil den Schichtaufbau bis in eine Tiefe von 280 Metern unter Gelän-

de. Deutlich sind im zentralen Teil des Profils die grundwasserführenden Sande der Ellerbeker Rinne als rot bis orange markierte Bereiche mit hohen elektrischen Widerständen zu erkennen. Die blau eingefärbten Partien mit niedrigen elektrischen Widerständen zeigen die Verbreitung von Tonen. Außerhalb der Rinne sind es die tertiären Tone des Oberen und Unteren Glimmertons, in der Rinne ist es der so genannte Lauenburger Ton, der die Rinnenwasserleiter als schützende Deckschicht überlagert.

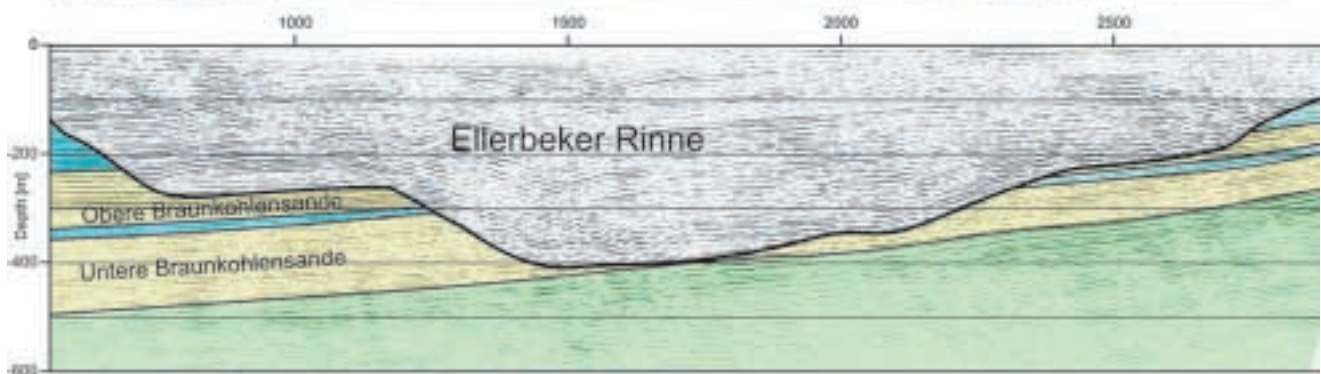


Abbildung 10: Seismische Messungen, oben: Vibrator als seismische Quelle zur Erzeugung von Erschütterungswellen; unten: seismisches Profils durch die Ellerbeker Rinne, farbig abgesetzt sind die tertiären Gesteine

Der Einsatz **seismischer Messungen** hat eine lange Tradition in der Untersuchung des tiefen Untergrundes zur Kohlenwasserstoff-Exploration. Neuere technische Entwicklungen ermöglichen zusätzlich die seismische Erkundung flacherer Untergrundstrukturen, so dass dieses Verfahren auch im Bereich der Hydro- und Ingenieurgeologie angewandt wird. So konnte die Geometrie der Ellerbeker Rinne durch seismische Messungen bedeutend genauer bestimmt werden. Abbildung 10 zeigt einen 2.800 Meter langen und 600 Meter tiefen seismischen Profilschnitt durch die Ellerbeker Rinne, aus dem die Tiefenlage und der komplexe interne Aufbau erkennbar sind. Eingeschnitten ist die Rinne in tertiäre Sedimente, bei denen es sich um Tone (blau = Oberer Glimmerton und Hamburger Ton, grün = Unterer Glimmerton und ältere Tone) und Sande (gelb = Obere und Untere Braunkohlensande) handelt. Die seismischen Messungen wurden vom Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) in Hannover durchgeführt.

Von der analogen geologischen Modellvorstellung zum digitalen geologischen 3-D-Modell

Die geologischen Verhältnisse im Untergrund können analog nur zweidimensional in Profilzeichnungen und thematischen Karten dargestellt werden. Besonders wenn komplexe geologische Strukturen verstanden, abgebildet und bewertet werden sollen, ergeben sich teilweise große Schwierigkeiten. Digitale geologische 3-D-Modelle, wie sie im Projekt BurVal eingesetzt wurden, bieten die Möglichkeit, die Geometrien der verschiedenen Schichten des Untergrundes detailliert im Rechner zu konstruieren und abzubilden. Weiterhin besteht ein großer Vorteil darin, dass die Gesteinseigenschaften der Schichtkörper in den Modellen dreidimensional dargestellt und mit statistischen Verfahren weiter bearbeitet werden können.

Auf dem Markt stehen hierzu zahlreiche Softwarelösungen zur Verfügung, die sich in ihrer Leistungsfähigkeit und Anwenderfreundlichkeit stark unterscheiden. Im Rahmen des Projekts BurVal wurde die Software Gocad eingesetzt.

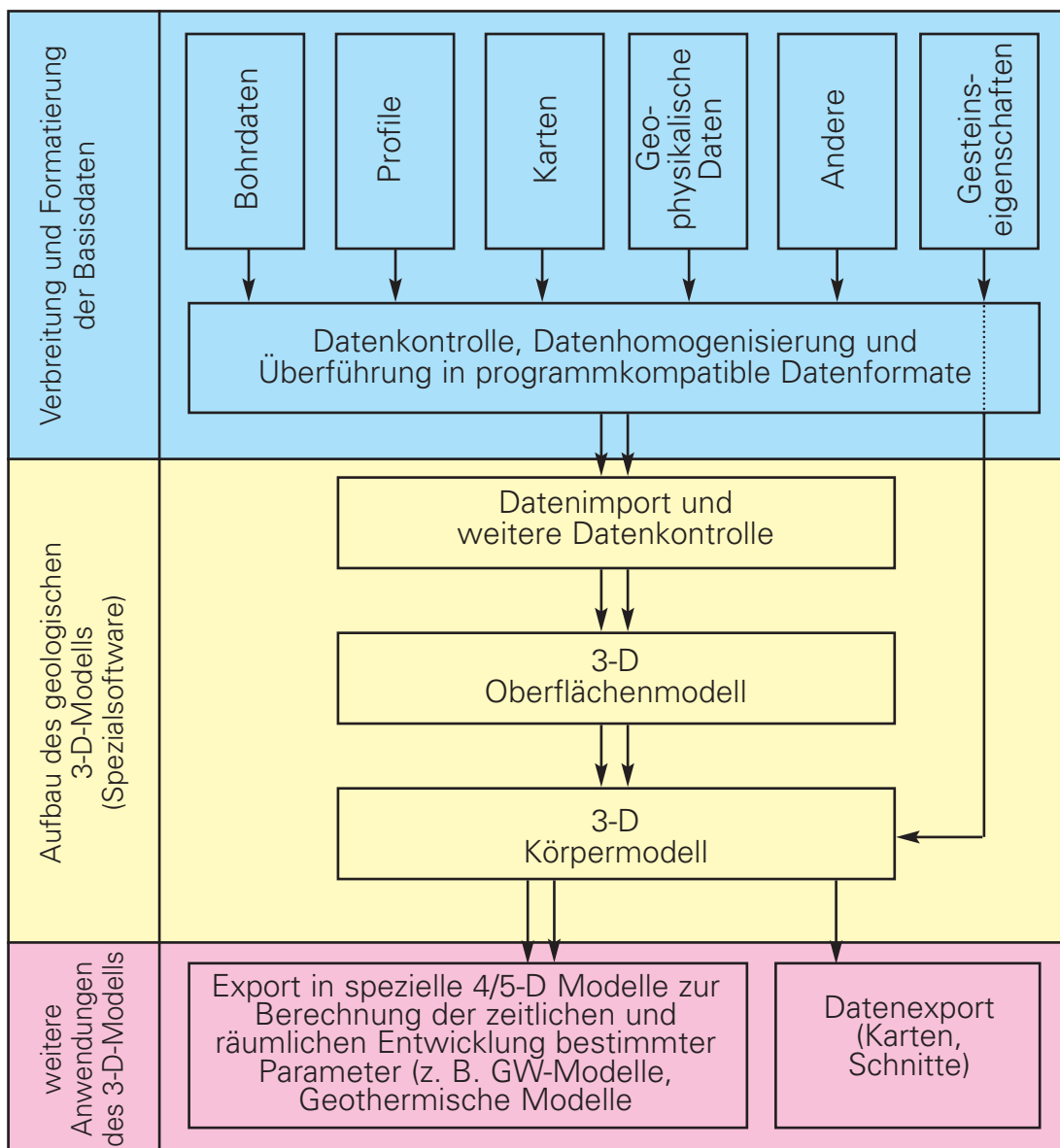


Abbildung 11: Flussdiagramm zum Aufbau eines geologischen 3-D-Modells

Aufbau des digitalen geologischen 3-D-Modells

Die Konstruktion des geologischen 3-D-Modells erfolgt in mehreren Schritten (Abbildung 11). Es können Daten unterschiedlichster Art importiert werden, die zunächst jedoch kontrolliert, homogenisiert und in Formate überführt werden müssen, die von der eingesetz-

ten Software verarbeitet werden können. Zudem ist es sinnvoll, den Daten je nach ihrer Verlässlichkeit eine Wertigkeit zuzuordnen, die später bei der Modellierung beachtet werden sollte. Nachdem die Grunddaten modellgerecht aufbereitet wurden, können sie für die Berechnung eines ersten groben Flächenmodells importiert werden (Abbildung 12).

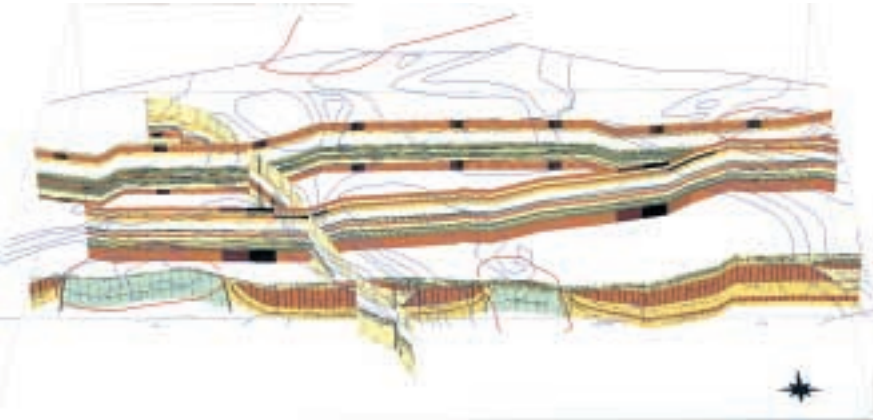


Abbildung 12: Import der Basisdaten aus Bohrprofilen, Schnittzeichnungen, Strukturkarten und seismischen Profilen

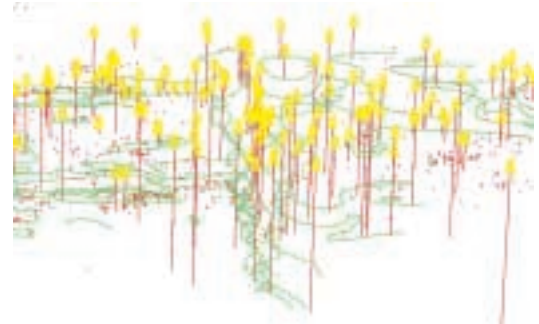
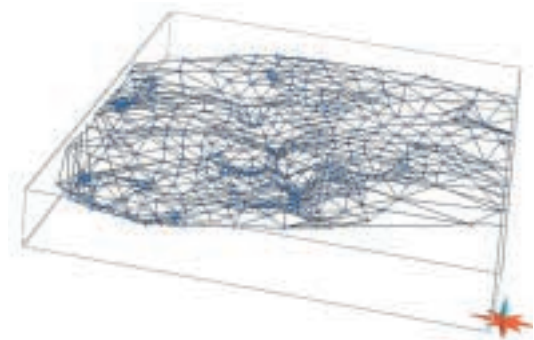
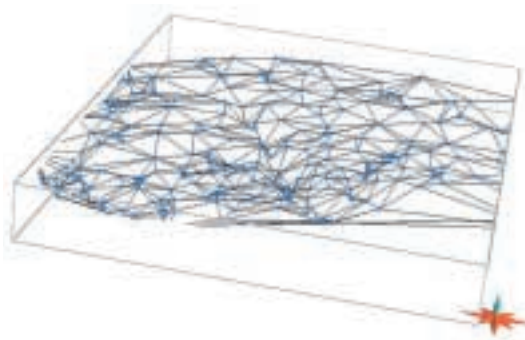


Abbildung 13:
Erzeugen des Modellrasters einer Fläche



Dazu werden die vorbereiteten Basisdaten genutzt, um die Grenzflächen der zu modellierenden geologischen Schichten zu erzeugen. Das Modell entwirft hierzu ein Raster, das die für die Berechnung der Fläche bestimmten Punkte räumlich verbindet. In weiteren Schritten kann dieses Raster an die Datenstruktur angepasst und gegebenenfalls verdichtet werden (Abbildung 13). Fehlerhafte Daten können in diesem Stadium leicht erkannt, überprüft und gegebenenfalls entfernt werden. Zur anschließenden Berechnung der Fläche kann festgelegt werden, welche Rasterknoten als Fixpunkte gesetzt werden sollen und für welche eine mehr oder weniger große Abweichung zugelassen wird. Dadurch kann, ent-

sprechend der vorher definierten Wertigkeit, bestimmt werden, dass ausgewählte Punkte, deren Daten als zuverlässig angesehen werden, nach der Interpolation weiter exakt in den berechneten Flächen liegen. In weiteren Arbeitsschritten können zusätzliche Daten in das Modell importiert und verarbeitet werden. Abbildung 14 zeigt Beispiele, wie geophysikalische Daten genutzt wurden, um die Geometrie der Rinne zu korrigieren und die aktualisierten Flächen neu zu berechnen. Es ist ein bedeutender Vorteil der digitalen geologischen Modelle, dass sich auch nach Fertigstellung des Modells jederzeit neue Daten zur Aktualisierung ohne großen Aufwand einfügen lassen.

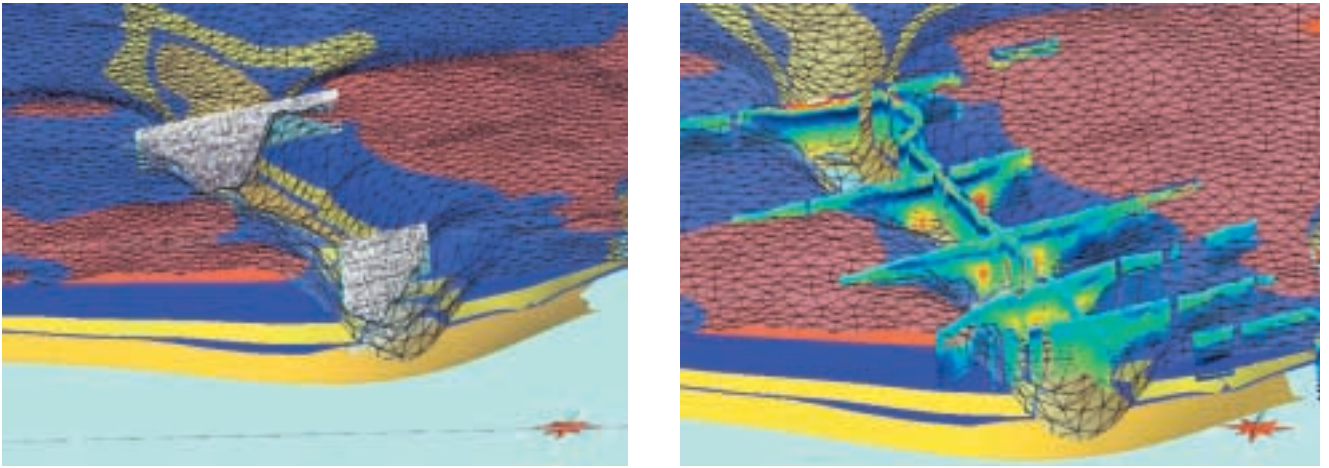


Abbildung 14: Verarbeitung seismischer Profile (links) und elektromagnetischer SkyTEM Daten (rechts) im Modell

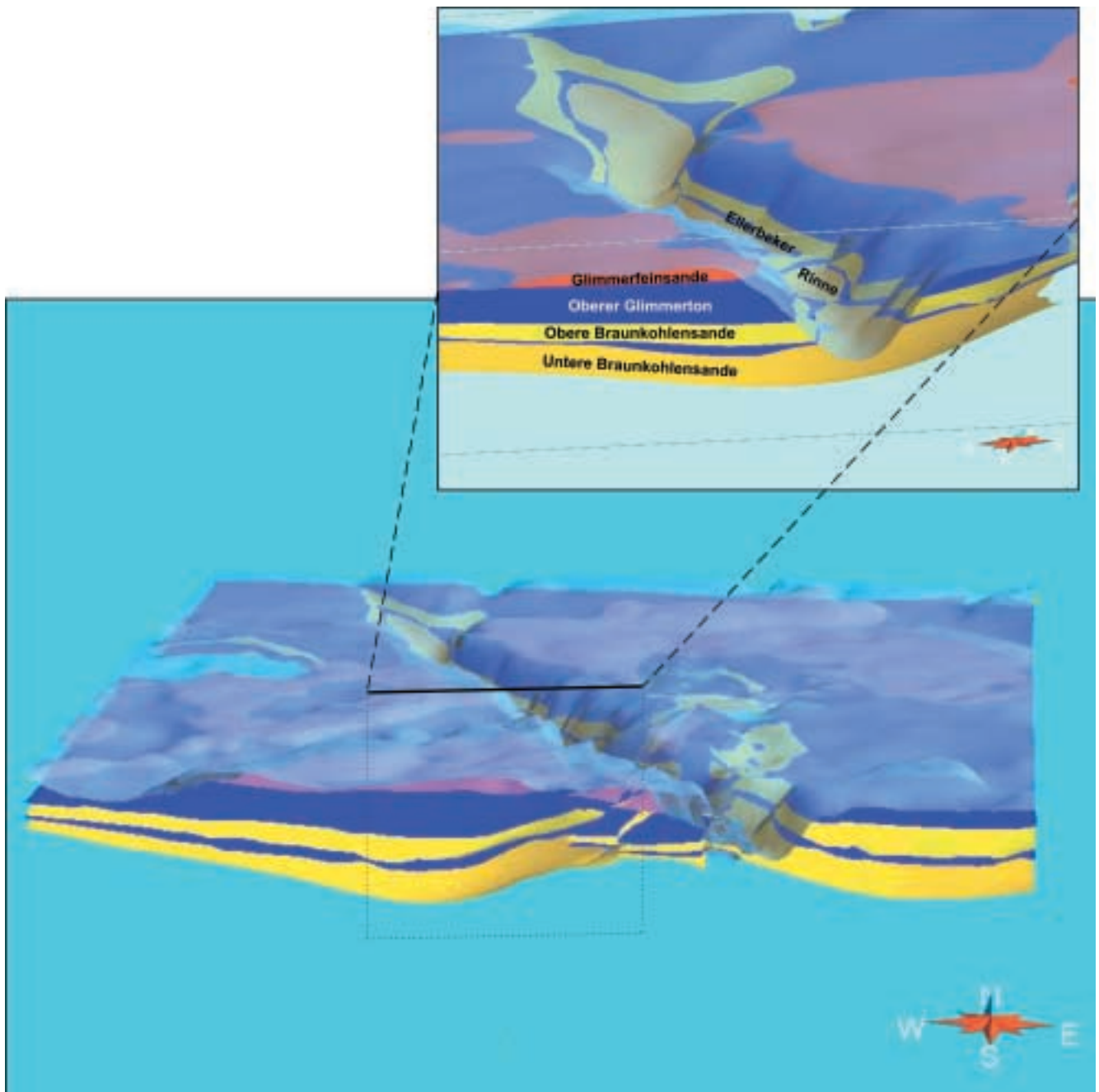


Abbildung 15: Geologisches Modell der Ellerbeker Rinne mit Detaildarstellung

Die Abbildung 15 gibt einen räumlichen Eindruck von der Dimension der Ellerbeker Rinne, die bis über 400 Meter tief in die umgebenden tertiären Schichten eingebettet ist. Die in der Rinne vorhandenen Grundwasserleiter bilden zusammen mit den tertiären Oberen und Unteren Braunkohlensanden einen großräumigen, hydraulisch zusammenhängenden Grundwasserspeicher, der für die Trinkwasserversorgung der Region eine wichtige Rolle spielt.

Basierend auf den zuvor berechneten Flächen können in sich geschlossene Körper der einzelnen Schichten des Modells erstellt werden, so dass der komplette dreidimensionale Raum mit Daten belegt werden kann. Werte für unterschiedliche Parameter, wie die hydraulischen Gesteinsdurchlässigkeiten, den Porenraum, geophysikalische oder geochemische Gesteinsparameter können so in ihrer räumlichen Verteilung innerhalb der Gesteinskörper zugeordnet und mit Hilfe von statistischen Verfahren weiter bearbeitet werden.

Weitere Nutzung und Präsentation digitaler geologischer 3-D-Modelle

Der große Vorteil der digitalen Modellierung liegt in der Möglichkeit, Daten unterschiedlichster Art zu importieren und für den Aufbau eines in sich konsistenten Schichtenmodells zu verarbeiten. Hierbei können selbst komplexe geologische Verhältnisse abgebildet und auch für Nichtfachleute anschaulich präsentiert werden. Die Form der möglichen Präsentation reicht vom Ausdruck von Schnitten und Karten bis hin zur automatisierten Animation, wie beispielsweise einem virtuellen Kameraflug durch den Untergrund oder dem Ausdruck mit modernen 3-D-Druckern in realen „begreifbaren“ 3-D-Modellen.

Je nach Bedarf können die Geometrien sowie die Parameterbelegung der digitalen geologischen Modelle in andere Programme exportiert und weiterverarbeitet werden. So finden beispielsweise die Schichtdaten des Modells Ellerbeker Rinne zukünftig eine praktische Anwendung in einem **Grundwasserströmungsmodell**, das für die Bewirtschaftung und für das Wasserrechtsverfahren eines großen Wasserwerkes erstellt wird.

Das 3-D-Modell der Ellerbeker Rinne selbst wird zukünftig seitens der BSU und des LANU weiter gepflegt und um Flächen in Hamburg und Schleswig-Holstein erweitert werden.

Die Ergebnisse des Projekts BurVal sind in dem Handbuch „Groundwater Resources in Buried Valleys – a Challenge for Geosciences“ (BURVAL WORKING GROUP 2006) beschrieben.

Summary

During the years 2004 to 2006 LANU was one of nine international partners in the Project BurVal, which was funded by the INTERREG IIIB Programme of the EU. The aim of the project BurVal was to develop tools for the investigation of buried valleys under the aspect of groundwater supply and groundwater protection. Within the frame of the project innovative hydrogeological and geophysical methods had been applied and optimized in six pilot areas. For visualisation and verification the results have been integrated into digital geological 3-D-Models. Further information about the project can be seen on <http://www.burval.org>.

Literatur

BURVAL WORKING GROUP (2006): Groundwater resources in buried valleys, Project Report, Hannover

Homepage: www.burval.org

> Wolfgang Scheer

Dezernat 51 – Geologie
Tel.: 0 43 47 / 704-525
wscheer@lanu.landsh.de

> Jens Kröger

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
Geologisches Landesamt
Billstraße 84, 20539 Hamburg
Tel.: 040 / 42 845 – 26 89
jens.kroeger@bsu.hamburg.de

> Dr. Reinhard Kirsch

Dezernat 54 – Ingenieurgeologie; Energierohstoffe; Geopotenziale des tieferen Untergrundes
Tel: 0 43 47 / 704-534
rkirsch@lanu.landsh.de