

## **Visualization of 3D Seismic Data: Cyclic Channel Systems and Large-Scale Mass Flows in the Molasse Foreland Basin – Implications for the Structural Evolution of the Molasse Basin**

H.-G. Linzer

*Rohöl-Aufsuchungs AG, Schwarzenbergplatz 16, 1015 Vienna, Austria*

Visualization of high quality 3D seismic data of the Molasse foreland basin illuminates vertically stacked axial channel systems and Alpine foreland imbricates. Flattening of the seismic volume enables a visualization of the paleo-geometry of the axial channel systems, its feeder channels and highlights the distribution of debris flow units and large-scale mass flow from the margins of the Molasse basin. The channel systems are situated close to the frontal wedge of the Alpine foreland thrust and occur in the Late Oligocene to Early Miocene deep water sequences. The geometry of the channels is influenced by lateral mass flow events from both the northern and southern flanks of the molasse basin. The early large-scale mass flow events were caused by gradually steepening of the southern flank of the basin due to the deformation at the lateral ramp of the Oligocene imbricates. The late mass flow events were associated with gradually steepening of the southern basin floor caused by southwards roof thrusting onto the frontal wedge of the foreland thrust belt. The subsurface foreland thrust belt of the Eastern Alps consists of Late Oligocene imbricates superimposed by Early to Middle Miocene lateral escape structures. Foreland thrusting formed a

complex triangle zone at the southern margin of the basin with passive roof backthrusts of Early Miocene foreland Molasse sediments and plays a significant role in controlling lithology, stratal architecture and evolution of intraslope basins. The southern slope of the basin was steepened by the evolving triangle zone and caused a tectonic triggered slope instability followed by large scale submarine slides at the southern flank of the Molasse basin. The head scarps of the mass flow bodies form ponded intraslope basins. Example of such a ponded intraslope basin is the Haidach gas field that is formed in the head scarp area of a submarine mass flow and represents a high performance reservoir with up to 100 m thick sands with a high porosity and permeability. The ponded accommodation space was filled with debris flow sequences and crosscutting channels. A sinuous channel marks the spill phase of the ponded basin. The low amplitudes in the channel indicate mud fill in the bypass area. The overflow was deposited to the East close to the axial channel system in an updip position. Regional reconstruction of the Molasse basin shows that the eastern part of the Molasse basin was uplifted during Neogene times.

## **Upper Mantle Structure beneath the Alpine Orogen from high-resolution teleseismic tomography**

R. Lippitsch, E. Kissling, J. Ansorge, The TRANSALP Working Group

*Institute of Geophysics, ETH- Zuerich, Switzerland*

In the tectonically complex Alpine region, three different plates (European, Adriatic, and Ligurian) amalgamated when the orogen was formed. To understand the evolution of this orogen and the interactions between the three lithospheric blocks, knowledge of the actual structure of the lithosphere-asthenosphere system is of great importance. To illuminate the structure of the uppermost mantle we perform high-resolution teleseismic tomography. At the temporary TRANSALP array, waveforms from teleseismic earthquakes were recorded (among other data). By including earthquake readings from regional stations the passive data density in the region was increased and the 2D TRANSALP transect expanded to a 3D survey. The resulting data set consists of 4200 manually picked P-arrivals from 220 teleseismic

events with even azimuthal distribution recorded at permanent and temporary seismic networks in the greater Alpine area. In the first step of this study corrections are calculated for the contribution of the Alpine crust to travel-times of incoming wave fields that may account for up to 50% of the observed travel-time residuals. The 3D crustal model established from controlled-source seismology data represents the large-scale shallow Alpine structure which clearly reflects the effects of the Africa-Europe plate collision. Tests with synthetic data document that the combination of non-linear inversion, high-quality teleseismic data, and usage of an a priori 3D crustal model allows a reliable resolution of cells at 50km\*50km\*30km with a velocity variation in the order of +/- 3% in the upper mantle. Our tomographic images

illuminate the structure of the uppermost mantle to depth of 400 km and reflect the current status of the complex processes that formed the Alpine orogen. Along strike of the Alps, the inversion reveals a fast, slab-like body beneath the orogen. We interpret this feature as the subducted lithosphere, which is in many places still attached to continental lower lithosphere. This high-velocity structure can be traced down to about 250 km in the central and eastern Alps, and 300 km in the western Alps. In the western Alps, the slab - which here can be correlated with the European lower continental litho-

sphere - seems to dip towards the southeast, whereas it is almost vertical in the eastern Alps, west of the Tauern window. Further to the east, where the slab dips toward northeast our tomographic images reveal a connection to Adriatic lower continental lithosphere.

Our results are in general agreement with earlier tomographic studies. However, the increase in resolution illuminates significantly more complex lithospheric slab geometries, which vary along the axis of the orogen, than assumed in previous geologic models.

## Experimentelles Wahrscheinlichkeitsmodell über Gebirgszustände im Felsbau

Q. Liu

*Institut für Technische Geologie und Angewandte Mineralogie, Technische Universität Graz*

Die Baumaßnahmen im Felsbau werden von den baueologischen Zuständen des Gebirges bestimmt. Welche baueologischen Zustände des Gebirges untersucht werden sollten, ist von den Eigenschaften des zu errichtenden Bauwerkes und von den Besonderheiten des betroffenen geologischen Körpers abhängig. Es muss betont werden, dass die Investitionen für baueologische Vorerkundungen finanziell und zeitlich nicht unbegrenzt sind. Durch Erkundungsmaßnahmen kann nur ein Teil der gesamten Informationen gewonnen werden und das daraus resultierende synthetische Modell über die Zustände ist nicht deterministisch: Prognose beinhaltet Unsicherheit.

Die Einschätzung der Unsicherheit von baueologischer Prognose und deren Wirkungen auf den Bau erfolgt bis jetzt analytisch. Um Lösungen komplizierter Differentialgleichungen zu finden, müssen zwei Annahmen zur Vereinfachung vorgenommen werden: Erstens muss die Verteilung jeder Zustandsgröße als Exponentialverteilung betrachtet werden. In der Praxis ist aber diese Bedingung eher selten erfüllt. Zweitens wird der Zustandsübergang nur mit dem unmittelbar vorherigen Zustand gekoppelt und nicht mit weiter zurückliegenden. Das für diese Beschreibung geeignete analytische Modell ist ein „Markov-Prozess“ mit einem Übergangsschritt. Die baueologischen Zustände resultieren aus historischen geologischen Ereignissen. Ein Zustandsübergang kann direkt mit mehreren Entwicklungsprozessen verbunden sein, er kann aber auch von den vorherigen Ereignissen unabhängig sein. Eine andere Möglichkeit der Unsicherheitsbeschreibung ist die sogenannte *geostatistische* Methode. Das Kernverfahren dieser Methode (*variogram* und *kriging*) stammt aber aus der Erkundung von Lagerstätten. Wenn die Lagerstätten-

grenze klar definiert ist und wenn innerhalb eines Homogenbereichs ausreichend Daten über die unterschiedlichen Erzgehalte und die Position des entsprechenden Vorkommens (*variogram*) vorhanden sind, können die räumlichen Variationen des Gehaltes in diesem Bereich durch die optimalen statistischen Interpolationen (*kriging*) ermittelt werden. Die Erkundungen im Felsbau konzentrieren sich aber in erster Linie auf das möglichst scharfe Lokalisieren der Grenzen von Bereichen mit unterschiedlichen Gebirgszuständen. Gerade für die Ermittlung der Grenzposition, Grenzorientierung usw. in der Erkundungsphase ist daher die *geostatistische* Methode ungeeignet.

In dieser Arbeit werden neue Wahrscheinlichkeitsmodelle über tatsächliche baueologische Zustände vorgestellt. Zuerst wird ein Verfahren zur Beschreibung der tatsächlichen baueologischen Zustandsänderungen, „*Matrix der Übergangslänge*“ (kurz *MUEL*), präsentiert. Auf Basis von *MUEL* ist ein Modell zur Erstellung der *Übergangswahrscheinlichkeiten* einzelner Zustandsfolgen entwickelt worden. Bei einem weiteren Modell können mit *MUEL* aber auch verschiedene Zustandsfolgen miteinander verglichen werden.

Als Beispiele werden zwei Anwendungen dieser Modelle vorgestellt. Die erste Anwendung betrifft die Identifizierung der Störungen in einer Sperrenaufstandsfläche durch ein experimentelles Wahrscheinlichkeitsmodell. Die zweite betrifft die probabilistische Quantifizierung der durch die Variationen baueologischer Zustände entstehenden Entwurfsunsicherheiten in der Planungsphase des Tunnelbaus. Das Resultat der zweiten Anwendung ist Basis für eine wirtschaftliche Kosteneinschätzung.