

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.