

Entscheidungsträger auf Bundes-, Länder- und Gemeindeebene, aber auch an das Fachpublikum.

## Numerical modelling of tectonic normal faulting in multilayer sequences

M. Schöpfer<sup>1</sup>, C. Childs<sup>1</sup>, J. Imber<sup>1</sup>, G. Tuckwell<sup>2</sup>, J. Walsh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Fault Analysis Group, Department of Geology, University College Dublin, Ireland*

<sup>2</sup> *School of Earth Sciences and Geography, Keele University, United Kingdom*

Although the 3-D geometry of tectonic, geological faults is well constrained from both seismic reflection surveys and outcrop studies relatively little is known about their growth. In particular, stress and strain distributions within layered sequences and their control on the localisation and nature of deformation have not been satisfactorily modelled. We perform 2-D numerical experiments that focus on the growth of tectonic normal faults in multilayered sequences using the Particle Flow Code (Itasca Consulting Group). A linear contact model with frictional sliding is used. Competent rocks (e.g. limestone, sandstone) are modelled as coarse, bonded particles and incompetent rocks (e.g. shale) as fine, non-bonded particles. The rheologies of the two model materials are calibrated by means of biaxial compression tests with varying confining pressure. The incompetent material is near perfectly plastic, i.e. the material flows at constant stress after yielding. At intermediate confining pressures the competent material deforms by localised shearing, i.e. faulting, following failure at peak strength.

At high confining pressure deformation is less localised. The deformation displayed by PFC model materials is consistent with those derived from experimental data.

Localisation of a single through-going fault is achieved by introducing a pre-cut 'fault' at the base of a multilayer sequence; this boundary condition means that a single fault, rather than several faults, are localised within the model. The down thrown side of the pre-cut fault moves with constant velocity; a constant overburden pressure is applied. The modelling replicates many of the features seen in natural faults. Initially a monocline develops above the 'basement' fault in the competent units. Folding is accommodated by flow within the incompetent layers and by slip along the layer interfaces. Faults in the multilayer sequence generally grow from bottom to top in a staircase geometry caused by refraction across mechanical interfaces. The model faults reproduce the bifurcation of fault surfaces and subsequent evolution to a throughgoing fault observed in nature.

## Verfolgung von Tiefengrundwasserleitern mittels kombinierter geophysikalischer Methoden zur Abschätzung des Einzugsgebietes im Oststeirischen Neogenbecken

M. Schreilechner

*Institut für Angewandte Geophysik, JOANNEUM RESEARCH, Leoben, Österreich*

Im südöstlichen Bereich des Oststeirischen Neogenbeckens wurden in den letzten Jahren hochauflösende reflexionsseismische Untersuchungen zur Visualisierung von gegenwärtig genutzten Grundwasserleitern durchgeführt. Zweck dieser geophysikalischen Untersuchungen war, die bereits genutzten Grundwasserleiter in Tiefen bis zu 400 Meter zu visualisieren und bis an ihre vermutete Ausbisslinie zu verfolgen. In jenem Tiefenbereich, wo die reflexionsseismischen Untersuchungen keine geologisch interpretierbaren Daten liefern (ca. 0 – 50 m unter der Geländeoberfläche) wurden zweidimensionale geoelektrische Untersuchungen bis an die Geländeoberfläche durchgeführt. Durch die Zusammenführung der seismischen und geoelektrischen Daten in einer interaktiven Auswerterroutine soll die lückenlose

Visualisierung von Tiefengrundwasserleitern zwischen der Geländeoberfläche und rund 400 Meter Tiefe möglich sein. Damit werden die Planungsgrundlagen für eine Schutz- und Schongebietsfestlegung speziell im Alimentationsbereich erstellt.

Darüber hinaus können mittels hochauflösender reflexionsseismischer Messungen Brunnen, die Grundwasser aus größerer Tiefe erfassen, bezüglich der geologischen Position der Aquifere korreliert werden. Durch die Kenntnis der Lage der geologischen Position der Aquifere können wiederum neu zu planende Brunnen zum Aufschluss von Tiefengrundwässern optimal positioniert werden. Ergänzt werden diese oberflächengeophysikalischen Untersuchungsmethoden durch geophysikalische Bohrlochmessungen in den bereits vor-

handenen Brunnen. Im gegenständlichen Untersuchungsgebiet wurden mehrere reflexionsseismische Untersuchungslinien zur Bearbeitung verschiedener Fragestellungen gemessen. Einerseits wurden hydrogeologische Fragestellungen wie oben skizziert bearbeitet. Andererseits können die stratigraphisch- und tektonisch interpretierten Daten der reflexionsseismischen Unter-

suchungen einen Beitrag zur Beschreibung der regional-geologischen Gegebenheiten liefern.

Die Kombination verschiedener geophysikalischer Methoden und die interaktive Interpretation dieser Ergebnisse ermöglicht die lückenlose Visualisierung von Tiefengrundwasserleitern beliebiger Tiefenlage.

## Der Genese von Bleiberg und anderer Pb-Zn-Vererzungen der alpinen Mitteltrias

E. Schroll

*Institut für Mineralogie und Kristallographie, Universität Wien, Österreich*

Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg ist die größte Buntmetallkonzentration (Produktion 2,4 Mio t Pb+Zn) in der alpinen Trias. Bleiberg ist die Typuslagerstätte des Alpinen Typs (APT). In der Erforschung der Genese nimmt Bleiberg im Rahmen der Pb-Zn-Vererzungen der alpinen Trias eine Schlüsselstellung ein.

Bleiberg ist mit den Großlagerstätten Mežica und Raibl entlang des Periadriatischen Lineamentes im Wesentlichen im Karn positioniert. Alle anderen Pb-Zn-Vererzungen der alpinen Trias haben nur untergeordnet bergwirtschaftliche Bedeutung erlangt. In der alpinen Trias sind zwei stratigraphische Horizonte mit Pb-Zn-Erzführung bekannt: im Anis und im Karn. Bei den Vererzungen im Anis handelt es sich überwiegend um Lagerstätten geringen Metallinhalts, die nur vereinzelt, wie in Topla (Nordkarawanken, Slowenien) oder in Auronzo (Südalpen, Italien) Metallinhalte von  $10^5$  t Pb+Zn erreichen. Die Vererzungen im Anis sind als Vorläufer aufzufassen, die sich bei geringfügigen mineralogischen Unterschieden zu den jüngeren Vererzungen im Karn durch signifikante geochemischen Merkmale, wie in den Neben- und Spurenelemente und in der Isotopenverteilung (S, Pb) auszeichnen.

Von Bleiberg und anderen Vererzungen der alpinen Trias wurden syndiagenetische Erzgefüge beschrieben und als Intern- und/oder Externsedimente gedeutet. Dies galt als hinreichender Beweis für die Alterseinstufung. Die diskordante Erzmineralisationen wurden als diagenetische Umlagerungsprodukte der schichtigen Vererzungen aufgefasst. Im letzten Jahrzehnt nach Ende der Bergbauaktivitäten sind genetische Modelle nach dem Vorbild der MVT-(Mississippi Valley Typ)-Lagerstätten vorgestellt worden, die eine epigenetische Herkunft im Postnor, Jura bis Kreide in Betracht postulieren.

Im Rahmen eines von der Rohstoffkommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften geförderten Projektes wurde eine Neubearbeitung dieser Frage-

stellung auf Initiative von E. Schroll (Wien) und E. Stumpfl (Leoben) und in Kooperation mit I. Cerny (Bleiberg), V. Köppel (Zürich), H. Kucha (Krakau), W. Prochaska (Leoben) und G. Rantitsch (Leoben), in Angriff genommen.

Das Forschungsprojekt hat bisher folgende wesentlichen Ergebnisse gezeitigt: -i) Der Nachweis bakteriogener Sulfatreduktionsprozesse (BSR) bestätigt die als syndiagenetisch angesehenen Erzgefüge aus Bleiberg, Topla und anderen Erzvorkommen. Bakterien haben als geochemische Barriere einen hohen Anteil am Erzabsatz. -ii) Rb/Sr-Daten der Schwellenfaziesvererzung in Bleiberg ergeben eine Altersabschätzung von  $210 \pm 30$  Ma, die innerhalb der Fehlergrenzen eine allzu große Altersdifferenz zwischen Stratigraphie und Vererzung ausschließt. -iii) Die Signatur der Schwefelisotopen zeigt nicht die Merkmale der thermische Sulfatreduktion (TSR), wie dies beim MVT-Typ zutrifft. Es gibt allerdings Ausnahmen, wie Gorno (Bergamasker Alpen), die dem MVT-Typ zuzuordnen sind. -iv) Die Strontiumisotopenverteilung in Baryten ist homogen, radiogener Herkunft und weicht vom kontemporären Meerwasserstrontium ab, so dass eine epigenetische Herkunft analog der vom Blei anzunehmen ist. Die diskordanten Schwer-spatvererzungen in Bleiberg können nicht als Stoffumlagerung erklärt werden. -v) Der Metalltransport erfolgt nachweislich durch saline Wässer. Änderungen im Fluidcharakter bis zur Bildung erzfreier Spätmineralisationen sind mit Hilfe der Fluidchemie erkennbar. vi) Die erzbringenden Lösungen waren entsprechend der Ga/Ge-Thermometrie niedrigtemperiert. In der thermischen Geschichte haben die karnischen Schichten Bleibergs die Temperatur des Ölfensters erreicht. -vii) Im Drauzug ist eine Zunahme der thermischen Belastung von E nach W festzustellen. Das Studium möglicher Auswirkungen auf die Vererzungen in der Trias des Drauzuges hat grundlegende Bedeutung.