

alpen. - Mitt. geol. Ges. Wien, **66/67**: 165-193, Wien.
TOLLMANN, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. - 1-580, (Deuticke) Wien.

Automatische, zeitlich hochaufgelöste Onlinemessung stabiler Umweltisotope in Karstwässern

LEIS, A.¹, STADLER, H.¹, SCHMIDT, R.², VAN PELT, A.³,
PLIESCHNEGGER, M.¹, HARUM, T.¹ & ZERBIN, W.⁴

¹ Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Wasser-Ressourcen-Management, Hydrogeologie und Geophysik, Elisabethstrasse 16/2, 8010 Graz, Österreich;

² Meteorologie consult GmbH, Frankfurter Str. 28, 61462 Koenigstein, Deutschland;

³ Picarro Inc., 480 Oakmead Pkwy., Sunnyvale, CA 94085, USA;

⁴ Magistratsabteilung 31 - Wiener Wasserwerke, Stadt Wien

Untersuchungen der stabilen Umweltisotope Deuterium (²H) und Sauerstoff-18 (¹⁸O) zählen zu den wichtigsten analytischen Werkzeugen in der modernen Hydrogeologie und Hydrologie und werden immer häufiger auch bei praktischen Untersuchungen in der Oberflächen- und Grundwasserhydrologie eingesetzt. Die Messung der stabilen Umweltisotope im Wassermolekül erfolgte lange Zeit ausschließlich mit Hilfe von technisch sehr aufwendigen Isotopenmassenspektrometern. Durch ihre Größe, technische Komplexität und äußerst empfindliche Hardware sind diese Geräte nur für den Einsatz in speziell dafür adaptierten Labors, nicht aber für Onlinemessungen im Gelände geeignet. Die Erfassung isotopehydrologischer Parameter war deshalb bis jetzt ausschließlich auf Laboranalysen beschränkt. Für zahlreiche isotopehydrologische Untersuchungen wie z. B. die Charakterisierung von Abflussereignissen an Karstquellen wäre es aber hilfreich, zeitlich hoch aufgelöste Isotopenmessungen direkt vor Ort durchführen zu können, um zu verbesserten Informationen über die dynamischen Fließvorgänge kommen zu können. Jüngste Fortschritte bei der Entwicklung von hochsensitiven Gasanalysatoren auf der Grundlage der sogenannten „Cavity Ring Down Spectroscopy“ kurz CRDS (BERDEN et al. 2001) haben zur Entwicklung einer neuen Klasse von feldtauglichen Isotopenmessinstrumenten, den WS-CRDS Laserspektrometern geführt (GUPTA et al. 2009). Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie geförderten Projektes ist es jetzt erstmals gelungen, die Umweltisotope des Wassers direkt online an einer großen Karstquelle im Gelände zu messen. Das hierfür eingesetzte Messsystem, welches die Vorteile, der erst seit kurzer Zeit verfügbaren Laserspektroskopischen WS-CRDS Technik nutzt, konnte erfolgreich für den Geländeeinsatz adaptiert werden und wurde zu Beginn der Schneeschmelze an einer der bedeutendsten Karstquellen Österreichs installiert. Seit dieser Zeit liefert das System in Halbstundenintervallen Daten über den aktuellen Zustand des Quellwassers. Die Datenübermittlung erfolgt über Low-Earth-Orbit (LEO) Satelliten (STADLER & SKRITEK 2003). Die ersten Ergebnisse sind äußerst vielversprechend und eröffnen völlig neue Perspektiven, wertvolle Informationen über Wasserressourcen

und deren Schutzmöglichkeiten zu erhalten.

BERDEN, G., PEETERS, R. & MEIJER, G. (2001): Cavity ring-down spectroscopy: Experimental schemes and applications. - International Reviews in Physical Chemistry, **19/4**: 565-607.

GUPTA, P., NOONE, D., GALEWSKY, J., SWEENEY, C. & VAUGHN, B.H. (2009): Demonstration of high-precision continuous measurements of water vapor isotopologues in laboratory and remote field deployments using wavelength-scanned cavity ring-down spectroscopy (WS-CRDS) technology. - Rapid Communications in Mass Spectrometry **23/16**: 2534-2542.

STADLER, H. & SKRITEK, P. (2003): Remote water quality monitoring „on-line“ using LEO satellites. - Water Science & Technology, **47/2**: 197-204, London.

Strukturen in den Salzkörpern von Altaussee und Berchtesgaden-Dürrenberg

LEITNER, C. & NEUBAUER, F.

Fachbereich für Geographie und Geologie, Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg

Die Nördlichen Kalkalpen stellen einen Überschiebungsgürtel dar (fold-and-thrust belt). An ihrer Basis befindet sich die Haselgebirge Formation, welche evaporitische Gesteine enthält. Diese Gesteine dienen als Abscherhorizont. Die Platznahme der alpinen Salzkörper ist aber bis heute nicht zufriedenstellend geklärt. Das alpine Salz liegt als sogenanntes „Haselgebirge“ vor (SCHAUBERGER 1986), einem Tektonit aus Steinsalz, Tonstein, Anhydrit und untergeordnet Nebensalzen.

Wir führten unsere strukturgeologischen Kartierungen 2006-2009 in den Lagerstätten Altaussee, Berchtesgaden und Dürrenberg durch. Die Orientierung der Schieferungsflächen (ss), der zugehörigen Minerallineation von Steinsalz (l) und der zugehörigen Bewegungsrichtung ist für alle drei Lagerstätten unterschiedlich. In Altaussee ist das Einfallen der Schieferung mittelsteil. Es handelt es sich um eine etwa Top-SE gerichtete Aufschiebung. In Berchtesgaden ist das Einfallen der Schieferung ebenfalls steil. Es handelt es sich um eine etwa Top-SE gerichtete Abschiebung. In Dürrenberg liegen die Schieferungsflächen flach, mit einer angedeuteten NE-SW Bewegungsrichtung. In Hallstatt handelt es sich um eine große ESE-orientierte dextrale Blattverschiebung (HABERMÜLLER 2005, ARNBERGER 2006). Dennoch sind die Strukturen in sich sehr konsistent. Die Faltenachsen (b) sind in allen Fällen parallel zur Lineation, wie dies in hochduktilen Gesteinen allgemein zu beobachten ist (PASSCHIER & TROUW 2005). Die in Berchtesgaden und Dürrenberg deutlich erkennbaren weißen Steinsalzfasern (f_s) in den Druckschatten zeigen ebenfalls diese Orientierung an. Die weißen Fasern in Tonsteinklüften (f_k) zeigen ebenfalls die Orientierung von l, b und f_s. Gegenüber weißem Faserklufsalz gibt es noch rotes Faserklufsalz. Dieses zeigt keine eindeutige Richtung an. Legt man ein antitaxiales Wachstum der Käfte im Tonstein zugrunde, so beobachtet man bei mehrphasigen, zweifarbigen Kluffüllungen in allen vier erwähnten Lagerstätten, dass der innere Bereich rot und der äußere weiß ist. Die weiße Salzkristallisation spiegelt somit das letzte

große Ereignis der Rekristallisation durchgängig für alle Strukturelemente wider.

Die Orientierung von ss, l und der Transportrichtung ist regional sehr unterschiedlich. Für Berchtesgaden läßt sich eine weitere untergeordnete Orientierung ausmachen, welche sich vor allem in der Orientierung von Faltenachsen zeigt. Sie hat dieselbe Orientierung wie in Dürrnberg. Es liegt die Interpretation nahe, dass im Berchtesgadener Teil der Lagerstätte Berchtesgaden-Dürrnberg eine nachträgliche Überprüfung stattgefunden hat.

Die beobachteten kartierten Strukturen sind dem Gelände angepasst, so zum Beispiel passen sich die Schieferungsflächen von Berchtesgaden den südlich angrenzenden Oberalmer Kalken an, die Schieferungsflächen von Hallstatt der länglichen Erstreckung der Lagerstätte und für Dürrnberg wurde schon länger ein schüsselförmiger Untergrund postuliert (z. B. PLÖCHINGER 1996). Die kartierten Makrostrukturen im Salz sind also unmittelbar mit der regionale Geologie verbunden und geben keine älteren Ereignisse wieder.

ARNBERGER, K. (2006): Detachment folding above the Permian Haselgebirge: Palinspastic reconstruction of alpine west-directed thrusting (Plassen, Hallstatt, Upper Austria). - Diploma thesis, University of Vienna.

HABERMÜLLER, M. (2005): West-directed thrusting in the Dachstein Nappe: Quantification of the eo-Alpine deformation around the Echerntal valley (Hallstatt, Austria). - Diploma thesis, University of Vienna.

PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. (2005): Microtectonics. - 1-366, (Springer) Berlin.

PLÖCHINGER, B. (1996): Das Halleiner Salinargebiet (Salzburg) im Geotopschutz-Projekt. - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **139**: 497-504, Wien.

SCHAUBERGER, O. (1986): Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars. - Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **7**: 217-254, Wien.

Pseudomorphosen von Anhydrit nach Steinsalz als Indikatoren eines frühen thermischen Ereignisses in den Nördlichen Kalkalpen

LEITNER, C.¹, NEUBAUER, F.¹, GENSER, J.¹,
MARSCHALLINGER, R.¹ & BOROJEVIC-SOSTARIC, S.²

¹ Fachbereich für Geographie und Geologie, Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg;

² Institute for Mineralogy and Petrology, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb

Die Salzvorkommen der Nördlichen Kalkalpen wurden vor ca. 250 Mill Jahren in einem Riftsystem abgelagert (SPÖTL 1989). Die heutigen Salzlagerstätten zeichnen sich durch (1) starke tektonische Beanspruchung, (2) einen hohen Tongehalt von ca. 50 %, und (3) Polyhalit, als nahezu das einzige K-hältige Mineral aus. Das alpine Salz liegt als sogenanntes „Haselgebirge“ vor (SCHAUBERGER 1986), einem Tektonit aus Steinsalz, Tonstein, Anhydrit und untergeordnet Nebensalzen.

Der Tonstein beinhaltet oft 2-10 mm große Salzkristalle. Manchmal werden diese Kristalle aber über 10 cm Kantenlänge groß. Die äußere Kristallform des „Tonwürfelsalzes“

ist die des Quaders, Rhomboeders oder rhombischen Prismas, sowie Kombinationen davon. In der rezenten Salzlagerstätte Totes Meer wurden Würfel beobachtet (GORNITZ & SCHREIBER 1981). Die Vermutung liegt nahe, dass die ursprüngliche Würfelform zu diesen Symmetrieformen deformiert wurde. Von einer geeigneten Probe wurden Röntgen-Tomographische Schnitte hergestellt, welche derzeit mit 3D-Modellierungsprogrammen analysiert werden.

In Berchtesgaden wurden wiederholt rosa Anhydritaggregate angetroffen, welche die äußere Form des Quaders, Rhomboeders oder rhombischen Prismas, sowie Kombinationen davon besitzen. Mehrere Exemplare zeigen einen inneren Salzkern und einen anhydritischen Fasersaum, wobei die Fasern im rechten Winkel zur Grenzfläche orientiert sind. An einem Anhydritaggregat wurden Fluid Inclusion Messungen durchgeführt. Sie ergaben eine Bildungstemperatur von 150-198 °C. Diese Temperatur wurde durch Anhydrite in Altaussee, unter ähnlichen Bildungsbedingungen entstanden, bestätigt.

Probe BDG-12A ist ein „Würfel“ mit über 10 cm Kantenlänge. Von außen nach innen wurden die Phasen Anhydrit, Polyhalit und Steinsalz festgestellt. Für den Polyhalit $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ wurde mittels $^{40}Ar/^{39}Ar$ -Datierung ein Einzelkornalter von ca. 230 Mill Jahren festgestellt. Die Messung einer Probe aus Altaussee, wobei der Polyhalit das Steinsalz allerdings direkt ersetzte, ergab ein Alter von 235 Mill. Polykornmessungen wurden ebenfalls durchgeführt. Bei Probe BDG-12A bietet sich die folgende plausible Entwicklung an: Steinsalz - Deformation des Steinsalzwürfels - Anhydritkristallisation -, sowie Polyhalitkristallisation an der Grenze zwischen Anhydrit und Steinsalz.

Dies bedeutet, dass bereits bei etwa 235-230 Mill. Jahren, das sind 15-20 Mill. Jahre nach der Ablagerung, Temperaturen von bis zu ca. 200 °C geherrscht haben. Zu dieser Zeit betrug die Überlagerung, dokumentiert in den Mächtigkeiten der Schichtglieder, maximal ca. 800 m (RANTITSCH & RUSSEGGER 2005).

Diese Überlagerung ist zu gering für eine Erhitzung durch Versenkung. Die frühe hohe Temperatur bildet einerseits eine gute Erklärung für das Vorhandensein von soviel Polyhalit, wobei andere K-hältige Minerale kaum oder gar nicht vertreten sind. Andererseits ist dieses thermische Ereignis gut durch das weitere Öffnen der Riftzone und dem Zerreißen von Pangäa zu erklären.

GORNITZ, V.M. & SCHREIBER, B.C. (1981): Displacive halite hoppers from the dead sea: Some implications for ancient evaporite deposits. - Journal of Sedimentary Petrology, **51**: 787-794.

RANTITSCH, G. & RUSSEGGER, B. (2005): Organic maturation within the Central Northern Calcareous Alps (Eastern Alps). - Austrian Journal of Earth Sciences, **98**: 263-280, Wien.

SCHAUBERGER, O. (1986): Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars. - Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **7**: 217-254, Wien.

SPÖTL, C. (1989): The Alpine Haselgebirge Formation, Northern Calcareous Alps (Austria): Permo-Scythian evaporites in an alpine thrust system. - Sedimentary Geology, **65**: 113-125.