

Praktisch wird die Temperatur nahe der Erdoberfläche - und jedes durch Menschenhand geschaffene Untertagebauwerk ist, geologisch gesehen, oberflächennah - durch eine Reihe von „Störfaktoren“ beeinflusst, die die tatsächlich angetroffene Temperatur stark von einer theoretisch berechneten abweichen lässt.

Die thermische Leitfähigkeit eines Gebirges (im geomechanischen Sinne) hängt von drei Faktoren ab:

- Thermische Leitfähigkeit der Gesteine
- Temperatur
- Grad der Verwitterung und Zerlegung des Gebirges

Die thermische Leitfähigkeit von Gesteinen kann beträchtliche Unterschiede aufweisen. Während Werte für Gips (~0,5 bis 1) nahe bei dem von Wasser (0,5) liegen, ist der Großteil der Gesteine im Bereich zwischen 2 und 3,5 angesiedelt. Einzelne Gesteine, z.B. saure Granite, Quarzite etc. können hingegen Werte bis über 7 aufweisen (CLAUSER & HUENGES 1995).

Die Abhängigkeit von der absoluten Temperatur selbst wird wirklich relevant ab 150, meist 200 °C (CLAUSER & HUENGES 1995) und ist im Betrachtungsraum für Infrastrukturbauwerke unerheblich.

Verwitterung und Zerlegung des Gebirges können die thermische Leitfähigkeit durch die geringere Leitfähigkeit der Kluffüllungen (z. B. Ton, Wasser) reduzieren. In diesem Punkt zeichnet sich eine Parallele zur Geomechanik ab.

Wenn man, vereinfachend, K für ein gewisses Gebirge als konstant betrachtet, sind Wärmefluss und Gradient proportional zueinander. Sie werden oberflächennah maßgeblich von den nachstehenden Faktoren beeinflusst:

- Temperatur an der Oberfläche und deren Schwankungen
- Zirkulation des Grundwassers, initiale Temperatur desselben
- Morphologische Einflüsse (Geometrie der Landoberfläche, Einflüsse von Meerwasser etc.; JABOYEDOFF 1999)
- Tektonische Einflüsse (Hebungen, Senkungen)

Es obliegt dem Geologen, diese Einflüsse zu bewerten und zu quantifizieren, um damit eine entsprechende Prognose durchführen zu können. Hiefür liegt eine Reihe von Methoden vor, die je nach Aufgabenstellung, Projektphase, Relevanz und vorhandenen Mitteln angewandt werden kann. Die nachfolgende Auflistung wird sukzessive genauer und geht damit tiefer in die Projektierung:

- Berechnung unter Annahme eines durchschnittlichen Gradienten $T(z) = z \times I$
- Einbeziehung von regionalen Wärmeflusskarten aus der Literatur
- Versuch einer Zonierung unter Einbindung der thermischen Leitfähigkeit der Gesteine bzw. des Gebirges
- Versuch der Berücksichtigung des Geometrieeffektes
- Hydrogeologische Kartierungen mit Laboranalytik und Interpretation
- Bohrungen mit Messungen in situ

Bohrungen geben direkten Aufschluss über die Temperatur, wenn das Bohrloch nur lange genug für Beobachtungszwecke zur Verfügung steht, dass die durch den Bohrvorgang selbst beeinflusste Temperatur ihren ursprünglichen Status wieder erreicht hat. Kostspielige Bohrungen werden vor allem in frühen Projektphasen noch nicht durch-

geführt.

Zwei Fallbeispiele wurden in letzten drei Jahren in den südamerikanischen Anden anhand zweier Tunnelvorhaben mit Überlagerung von jeweils deutlich über 1000 m durchgeführt.

Während für eines der Projekte, einen 52 km langen Bahntunnel, lediglich Überlegungen zur Machbarkeit durchgeführt wurden, befindet sich das zweite Projekt, ein 14 km langer Straßentunnel, in einem Stadium intensiver Erkundungen, einschließlich Bohrungen.

Die Projekte durchqueren die Anden in unterschiedlichen Höhen, die maximalen Überlagerungen liegen zwischen 1750 und 2250 m. Der regionale Wärmefluss ist im Betrachtungsraum sehr inhomogen (UYEDA & WATANABE 1982). Er liegt, regional stark schwankend, zwischen 60 und 100 mW/m². Für eine durchschnittliche thermische Leitfähigkeit des Gebirges von 2,5 W/mK ergibt sich damit ein Gradient von 24 bis 40 °C/km.

Aus den genannten Überlegungen, sowohl theoretischer Natur als auch durch Interpolation von bereits durchgeführten Bohrlochmessungen, sind für beide Tunnelvorhaben Temperaturen von etwa 55 bis 70 °C prognostiziert.

CLAUSER, C. & HUENGES, E. (1995): Thermal conductivity of rocks and minerals. - (In: AHRENS, T.J. (Ed.): Handbook of Physical Constants). - 105-126, (American Geophysical Union) Washington, D.C.

JABOYEDOFF, M. (1999): Modèles thermiques simples de la croute terrestre : un regard sur les Alpes. - Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 86/4: 229-271.

UYEDA, S. & WATANABE, T. (1982): Terrestrial heat flow in western South America. - Tectonophysics, 83: 63-70.

Neudefinition der Saalachzone in den Nördlichen Kalkalpen (Österreich, Deutschland): was ist sie, woher kommt sie und woraus besteht sie?

MISSONI, S. & GAWLICK, H.-J.

University of Leoben, Department for Applied Geosciences and Geophysics, Prospection and Applied Sedimentology, Peter-Tunner-Strasse 5, 8700 Leoben, Austria;
hans-juergen.gawlick@mu-leoben.at;
s.missoni@daad-alumni.de

Die Saalachzone im westlichen Bereich des Zentralabschnittes der Nördlichen Kalkalpen ist bis heute eine der umstrittensten, weil tektonisch isoliert stehenden Zonen innerhalb der Nördlichen Kalpen. Ohne hier auf die Historie der Entwicklung der unterschiedlichen Interpretationsversuche der Saalachzone eingehen zu können, sei die generelle und meist vertetene Auffassung erwähnt, daß die Saalachzone als Teil der Hallstätter Zonen in den Nördlichen Kalkalpen gesehen wird und bis 2003 (MISSONI 2003, FRISCH & GAWLICK 2003) als Teil des die Berchtesgadener Decke unterlagernden Hallstätter „Schollenkranzes“ im Sinne von TOLLMANN (1976) angesehen wurde und vielfach bis heute fälschlicherweise wird. Jüngste Arbeiten (ORTNER et al. 2008, MISSONI & GAWLICK 2010) fassen den jeweils bekannten Untersuchungsstand zusammen und interpretieren die Stellung der Saalachzone auf Grund des

unterschiedlichen Kenntnisstandes der Datenlage kontrovers.

Das Hauptproblem der Abgrenzung der Saalachzone von den angrenzenden anderen tektonischen Einheiten liegt vor allem darin begründet, daß einerseits die unterschiedlichen jurassischen Brekzien mit Radiolaritmatrix und andererseits die verschiedenen Trias-Gesteine der Region in Folge des Mangels an Komponentenbestandsuntersuchungen bzw. Matrixdatierungen und faziellen und stratigraphischen Untersuchungen sehr unterschiedlich interpretiert werden, was zur Folge hat, daß die Saalachzone in der Auffassung unterschiedlicher Autoren jeweils anders definiert und damit verschieden interpretiert wird.

Wir definieren auf Grund von unseren durchgeführten Untersuchungen die Saalachzone folgendermaßen: als Saalachzone wird jene Zone verstanden, die folgende Schichtfolge aufweist: Der an der Basis auftretende rhätische Dachsteinkalk in lagunärer Fazies wird überlagert von verschiedenen Rotkalken der Adnet-Gruppe, gefolgt von verschiedenen Formationen der Ruhpolding-Radiolarit-Gruppe (Strubberg-Formation und Sandlingalm-Formation: Definitionen in GAWLICK et al. 2009), überlagert von der Lärchberg Karbonatplattform (Lärchberg-Formation: Definition in GAWLICK et al. 2009).

Die fälschlicherweise oft zur Saalachzone gestellten mittel- bis früh-obertriassischen Plattformkarbonate (Wetterstein-Formation) mit unterlagernden z. T. dolomitierten Beckensedimenten (Reifling-Formation) (z. B. Kienberg) gehören zum Berchtesgaden Block (Details in MISSONI & GAWLICK 2010). Diese Gesteine treten in der Ostbegrenzung bzw. Südostbegrenzung der Saalachzone auf, und sind heute durch eine junge Seitenbewegung von der Saalachzone abgegrenzt (vgl. FRISCH & GAWLICK 2003).

Im Nordwesten bzw. Westen der Saalachzone treten einerseits jurassische Abfolgen auf, die sich in ihrem Komponentenbestand deutlich von den Jura-Abfolgen der Saalachzone unterscheiden (Tauglboden-Formation in der Unkener Mulde und Ruhpolding-Formation ohne Brekzieneinschlüsse im Bereich der Loferer Alm: Definitionen in GAWLICK et al. 2009), jeweils überlagert von Gesteinen der Plassen Karbonatplattform (z. B. Oberalm-Formation + Barmsteinkalke in der Unkener Mulde: Definition in GAWLICK et al. 2009).

Die Strubberg-Formation der Saalachzone, vor allem in ihrem nördlichen und zentralen Abschnitt (von der Region nördlich Lofer bis Bad Reichenhall) ist idealtypisch vor allem im Bereich von Unken entwickelt. Hier treten in einer radiolaritischen Matrix alle Gesteine in identischer Ausbildung wie in der Typ-Region (Lammer Becken - GAWLICK 1996) auf, wie sowohl fazielle Untersuchungen als auch Conodontdatierungen zeigen, d. h. vor allem Brekzienkomponenten und Gleitschollen aus dem Zlambachfaziesraum. Auch das Alter der Matrix ist identisch mit der im Bereich der Typregion. Die Sandlingalm-Formation (mit Brekzienkomponenten und Gleitschollen aus dem Hallstätter Salzbergfaziesraum) ist vor allem im südlichen Bereich der Saalachzone gut entwickelt/erhalten und tritt überschoben auf unterschiedliche Gesteine auf, mit Resten von Haselgebirge Mélange an der Basis (z. B. Tunnel durch den Loferer Kalvarienberg). Relikte der Sandlingalm-Formation treten zusätzlich auch im

Bereich von Unken und Schneizreuth auf, auch hier mit Resten der Haselgebirge-Mélange an der Basis. Die evaporitischen Gesteine im Bereich von Bad Reichenhall werden vielfach fälschlicherweise zur Haselgebirge-Mélange gestellt, obwohl sie nachweislich jünger als das permische Alpine Haselgebirge und namensgebend für die Reichenhall-Formation sind. Hallstätter Gesteine treten im Bereich von Bad Reichenhall nicht auf.

Die genauere paläogeographische Position der Saalachzone innerhalb der Hallstatt Mélange ist gekennzeichnet durch die auflagernden Ober-Jura Flachwasserkarbonate, die alle der Lärchberg-Formation zugeordnet werden können (z. B. Loferer Kalvarienberg, Dietrichshorn). Die Lärchberg Karbonatplattform stellt innerhalb der Entwicklungsgeschichte der Plassen Karbonatplattform die südlichste erhaltene Plattform dar (Details in GAWLICK et al. 2009) und grenzt somit die ursprüngliche paläogeographische Position der Hallstätter Mélange der Saalachzone ein: damit kommt der Saalachzone, obwohl heute weit im Norden liegend, eine ursprünglich sehr südliche Position innerhalb der verschiedenen Hallstätter Zonen innerhalb der Nördlichen Kalkalpen zu. Im Gegensatz zur Saalachzone sind im Bereich der Hallstätter Zone von Berchtesgaden - Hallein keine Flachwasserkarbonate der Lärchberg Karbonatplattform erhalten, sondern Beckensedimente, die eine zentrale Position zwischen der Plassen Karbonatplattform sensu stricto und der Lärchberg-Karbonatplattform anzeigen (MISSONI & GAWLICK 2010). Um allerdings in weiterer Folge eine exakte geographische Abgrenzung der Saalachzone von den angrenzenden tektonischen Einheiten im Westen bzw. im Osten vornehmen zu können, sind detaillierte stratigraphische und fazielle Untersuchungen bzw. eine moderne Kartierung auf dieser Basis notwendig. Diese Arbeiten werden, um nur wenige Punkte aufzuzeigen, auch weitere Details zur exakten Abgrenzung der unterschiedlichen Formationen liefern müssen - z. B. durch Komponentenbestandsuntersuchungen der überall in diesem Bereich auftretenden polymikten Brekzienkörper in radiolaritischer Matrix sowie Matrixdatierungen. Ein weiteres Problem stellt die bis heute umstrittene Stellung der Grubhörndl-Brekzie dar (vgl. ORTNER et al. 2008 und GAWLICK et al. 2009), und ihre Abgrenzung zur Tauglboden-Formation der Unkener Mulde (zur Synonymie der Brekzien im Bereich der Unkener Mulde vgl. GAWLICK et al. 2009). Darüberhinaus erschweren die unterschiedlichen spät-obertriassischen Beckensedimente mit Flachwasserschutt wie auch die auftretenden Flachwasserkarbonate der Plassen Karbonatplattform eine Abgrenzung der Saalachzone, besonders im Bereich der Westbegrenzung. Auch hier werden nur detaillierte stratigraphische und fazielle Untersuchungen eine geographische Abgrenzung ermöglichen.

Trotz dieser noch offenen Fragen ist der generelle Charakter der Saalachzone als allseitig tektonisch begrenzte Zone mit Zugehörigkeit zur Hallstätter Mélange klar zu definieren. Es bieten sich in der Saalachzone darüberhinaus Möglichkeiten, auf Grund ihrer paläogeographischen Herkunft, weitere offene Fragen in der Jura-Tektonik zu klären und damit mit Hilfe von weiteren Daten deren Rekonstruktion zu verbessern.

- FRISCH, W. & GAWLICK, H.-J. (2003): The nappe structure of the central Northern Calcareous Alps and its disintegration during Miocene tectonic extrusion - a contribution to understanding the orogenic evolution of the Eastern Alps. - *International Journal of Earth Sciences*, **92**: 712-727, Berlin Heidelberg.
- GAWLICK, H.-J. (1996): Die früh-oberjurassischen Brekzien der Stubbergschichten im Lammertal - Analyse und tektonische Bedeutung (Nördliche Kalkalpen, Österreich). - *Mitteilungen der Gesellschaft Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich*, **39/40**: 119-186, Wien.
- GAWLICK, H.-J., MISSONI, S., SCHLAGINTWEIT, F., SUZUKI, H., FRISCH, W., KRZYSTYN, L., BLAU, J. & LEIN, R. (2009): Jurassic Tectonostratigraphy of the Austroalpine domain. - *Journal of Alpine Geology*, **50**: 1-152, Wien.
- MISSONI, S. (2003): Analyse der mittel- und oberjurassischen Beckenentwicklung in den Berchtesgadener Kalkalpen - Stratigraphie, Fazies und Paläogeographie. - 1-150, PhD-Thesis Montanuniversität Leoben, Leoben.
- MISSONI, S. & GAWLICK, H.-J. (2010): Evidence for Jurassic subduction from the Northern Calcareous Alps (Berchtesgaden; Austroalpine, Germany). - *International Journal of Earth Sciences*, (Springer) Berlin. DOI 10.1007/s00531-010-0552-z.
- ORTNER, H., USTASZEWSKI, M. & RITTNER, M. (2008): Late Jurassic tectonics and sedimentation: breccias in the Unken syncline, central Northern Calcareous Alps. - *Swiss Journal Geosciences*, Supplement 1, **101**: S55-S71, Basel.
- TOLLMANN, A. (1976): Der Bau der Nördlichen Kalkalpen. Orogene Stellung und regionale Tektonik. - 1-449, (Deuticke) Wien.

The Wetterstein Carbonate Platform evolution in the Zlatibor Mountain (Dinarides, Sirogojno, SW Serbia)

MISSONI, S.¹, SUDAR, M.N.², GAWLICK, H.-J.¹, JOVANOVIĆ, D.³ & LEIN, R.⁴

¹ University of Leoben, Department for Applied Geosciences and Geophysics, Prospection and Applied Sedimentology, Peter-Tunner-Strasse 5, 8700 Leoben, Austria; hans-juergen.gawlick@mu-leoben.at; s.missoni@daad-alumni.de;

² University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Palaeontology, Dusina 7, P.O. Box 62, 11000 Belgrade, Serbia; sudar@eunet.rs;

³ Geological Institute of Serbia, Rovinjska 12, 11000 Belgrade, Serbia; djdivna@gmail.com;

⁴ University of Vienna, Centre for Earth Sciences, Althanstrasse 14, 1090 Vienna, Austria; richard.lein@univie.ac.at

Triassic shallow- and deep-water carbonates occur together with Triassic radiolarites widespread as olistoliths and slides in the Middle to early Late Jurassic mélangé of the Dinaridic Ophiolite Belt in the Zlatibor Mountain (DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ 1991). These slides occur tectonically on top of the Drina-Ivanjica Palaeozoic and the late Middle to early Late Jurassic ophiolitic mélangé respectively the ophiolites and not below as interpreted before (DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ 1991). These slides were formerly interpreted to derive from the Drina-Ivanjica Unit, where they should have formed the original sedimentary cover, disintegrated in the Late Jurassic. According to our investigations the slides of this carbonate-clastic mélangé differ in age, facies and palaeogeographic origin. The carbonate rocks are originated from a relatively broad shelf

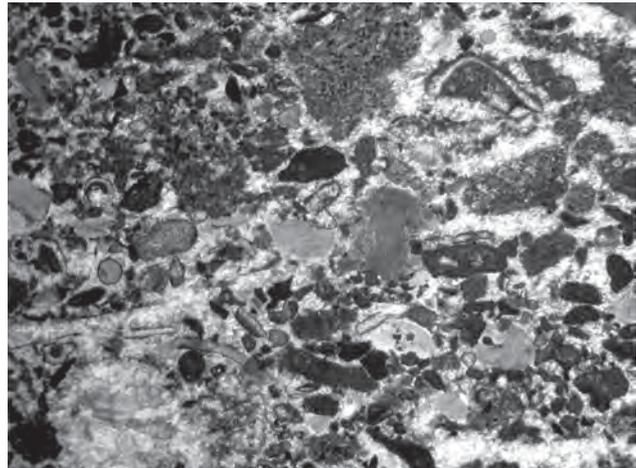


Fig. 1: Microfacies of the Late Carnian drowning sequence of the Wetterstein Carbonate Platform in the Zlatibor Mountain (SW Serbia). Coarse-grained crinoid-rich grainstone intercalated in filament-bearing wacke- to packstones with a lot of different shallow-water clasts. Several components are incrustated (Sample SRB 428). This microfacies resembles perfectly the higher part of the Waxeneck Formation in the Northern Calcareous Alps. Width of photo: 1.4 cm.

in the Triassic facing the Neotethys Ocean to the east, maybe reaching from the adjacent Drina-Ivanjica Unit further to the east. In contrast, the Triassic radiolarites and the ophiolitic rocks, which occur mostly below the carbonatic mélangé, derive from the Neotethys Ocean basin floor. These mixtures of different rocks forming mélangés are part of the Dinaridic Ophiolite Belt.

A kilometre-sized block in the Zlatibor carbonate mélangé provides a complete succession of the Wetterstein Carbonate Platform (WCP) evolution, dated by means of conodonts. The complete section of the WCP evolution starts in the Klisura Quarry (northwest of Sirogojno) with bedded cherty limestones on top of a bentonite layer, which forms a thrust on top of Late Anisian Bulog Limestones and can be followed along a forest road in westward directions and then along the road from Sirogojno to Rožanstvo. The lower part of the succession is preserved in the Klisura Quarry and the upper part of the succession including the drowning event is preserved in an old quarry and few other places along the main road in direction Rožanstvo. The age range of the Wetterstein Formation as part of Wetterstein Carbonate Platform remains until now enigmatic and is estimated as Ladinian to Late Carnian. The Wetterstein Formation should pass directly in the Norian/?Rhaetian Dachstein Limestone without interruption of e.g., siliciclastics, drowning-sequences or longer lasting gaps.

According to our new data the platform starts to prograde in Early Carnian times over hemipelagic Late Ladinian cherty limestones with fine-grained allodapic limestones (Trnava Formation). Shallow-water reef-slope and reefal limestones evolved in the Early Carnian (Wetterstein Formation). The top of the platform is recrystallized by karstification and partly dolomitized. After a period of