

ENDBERICHT PROJEKT: MRI PEGMATITE

PROJEKTZEITRAUM 8/2015-7/2018

Projektleitung: Ralf Schuster¹

Projektmitarbeiter: Tanja Knoll¹, Heinrich Mali², Benjamin Huet¹, Albert Schedl¹, Monika Horschinegg³

Beteiligte Institutionen: ¹Geologische Bundesanstalt, ²Montanuniversität Leoben, ³Universität Wien

1 Einleitung

Ziele des MRI-Projektes „Genese und Verteilung der Spodumen-Pegmatite“ waren:

- (1) Mittels geochemischen “Fingerprints” die Verteilung von unterschiedlich stark fraktionierten Pegmatiten über die verschiedenen geologischen Einheiten des Ostalpins zu untersuchen.
- (2) Ein Modell für die Genese der im Perm gebildeten Spodumen-Pegmatite im Ostalpinen Kristallin zu entwickeln.
- (3) Eine Abschätzung des Lagerstättenpotenzials durchzuführen.

Der vorliegende Bericht umfasst eine Beschreibung des Projektverlaufes, eine kritische Reflexion der projektinternen und externen Aktivitäten, eine kurze Zusammenfassung der erzielten Forschungsergebnisse zu den drei oben angeführten Punkten und eine Aufstellung der bisher entstandenen Publikationen.

2 Beschreibung des Projektverlaufes

2.1 Personelles

Laut Forschungsantrag waren Ralf Schuster, Tanja Ilickovic (Tanja Knoll, seit Jänner 2018), und Albert Schedl von der Geologischen Bundesanstalt, sowie Heinrich Mali von der Montanuniversität Leoben und Konstantin Petrakakis von der Universität Wien für Arbeiten im Projekt vorgesehen. Nach der Pensionierung von Konstantin Petrakakis übernahm Benjamin Huet (Geologische Bundesanstalt) die Betreuung der petrologisch-thermodynamischen Fragestellungen. Zusätzlich waren Peter Onuk (Montanuniversität Leoben) und Monika Horschinegg (Universität Wien) eng in das Projekt eingebunden.

2.2 Datenerhebung und Auswertung

Insgesamt wurden über 1000 Vorkommen von im Perm kristallisierten einfachen Pegmatiten, Leukograniten und Spodumen-Pegmatiten untersucht und beprobt. Im Gelände wurden von jedem untersuchten Pegmatit Daten zur räumlichen Erstreckung, zum Deformationsgrad, dem Mineralbestand und den Nebengesteinen aufgenommen. Bei Spodumen-Pegmatiten wurden weiter die Größe der Spodumenkristalle und deren Volumprozent abgeschätzt. Mehr als 800 Proben wurden mittels Dünnschliffmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie, Elektronenstrahl-Mikrosonde, Laser Ablation ICP-MS (LA-ICP-MS), ICP-MS, Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) sowie Rb-Sr und Sm-Nd Isotopenuntersuchungen hinsichtlich ihrer Mineralogie, Mineralchemie, Gesamtgesteinschemie und des Alters bearbeitet. Die ermittelten Daten wurden gemeinsam mit Literaturdaten in eine Access-Datenbank eingearbeitet. Diese ist mit dem elektronischen Kartierungsbuch der Geologischen Bundesanstalt sowie mit einer Arc-GIS-Datei verknüpft, wodurch es möglich ist die räumliche Verteilung der verschiedenen Parameter auf unterschiedlichen Karten darzustellen. Der Anreicherungsprozess des Lithiums wurde mit dem Software-Paket Theriak-Domino thermodynamisch modelliert.

Leider gab es seit Ende des Jahres 2017 Probleme im der LA-ICP-MS an der Montanuniversität Leoben, deren Behebung bis heute nicht ausreichend möglich war. Aus diesem Grund konnte eine Anzahl von

eingepplanten Messungen, vor allem an den Nebengesteinen der Pegmatite, nicht durchgeführt werden.

2.3 Datendistribution

Bisher entstanden zwölf Abstracts zu Postern und Vorträgen, die auf nationalen (z.B. PANGEO 2018 Wien) und internationalen (z.B. EGU Wien 2017; PEG17 Kristiansand/Norwegen; Alpine Workshop 2017 Zlatibor/Serbien; Resources for Future Generations, 2018 Vancouver/Canada) Tagungen präsentiert wurden. Ein Artikel in der Zeitschrift *Canadian Mineralogist* ist akzeptiert, ein weiterer für die Zeitschrift *Economic Geology* befindet sich in Vorbereitung (Die meisten Publikationen finden sich als *.pdf Dateien im Anhang).

Weiters wurden Einladungsvorträge an der Geologischen Bundesanstalt in Wien und am Bergbautag 2018 in Leoben gehalten. Tanja Knoll erhielt ein Stipendium vom *Gemological Institute of America* für die Teilnahme am Pegmatite Workshop in Maine/USA im Juni 2018.

Tanja Knoll wechselt nach ihrer Anstellung im Projekt in die Fachabteilung Rohstoffgeologie an der Geologischen Bundesanstalt. Eine ihrer ersten Aufgaben am neuen Arbeitsplatz ist die Aufbereitung der im Projekt produzierten Daten für das Interaktive Rohstoff Informationssystem (IRIS).

Gemeinsam mit einer Arbeitsgruppe des BRGM (*Geological Survey of France*), welche sich ebenfalls mit der Genese von Pegmatiten beschäftigt wird für die EGU 2019 eine *Session* mit dem Titel "*Impacts of partial melting on the evolution of the continental crust: different views one topic*" organisiert. Tanja Knoll tritt als *Convener* der Session auf, Ralf Schuster und Heinrich Mali werden eine Exkursion zu Pegmatiten bei St. Radegund/Steiermark führen.

3 Kritische Reflexion des Projektablaufes (aus Sicht des Projektleiters)

Aus fachlicher Sicht war der Projektverlauf absolut zufriedenstellend. Die projektinterne Kooperation innerhalb der GBA, als auch mit den Partnerorganisationen verlief ausgezeichnet und es wird bestimmt zu weiteren gemeinsamen Aktivitäten kommen. Tanja Knoll hat als Projektangestellte den Großteil der Arbeiten an der GBA erledigt und es freut mich, dass sie in Zukunft in der Fachabteilung Rohstoffgeologie tätig sein wird. Heinrich Mali ist es mit seinen Studenten gelungen bedeutend größere Bereiche mit prospektionsrelevanten Daten abzudecken als ich erhofft hatte. Weit über meinen Erwartungen liegen auch die Erkenntnisse zur Lithium-Anreicherung in den Pegmatiten, welche durch die geochemischen Untersuchungen und die thermodynamische Modellierung von Benjamin Huet und Tanja Knoll gewonnen werden konnten. Die Aufmerksamkeit, die wir als Neulinge auf dem Gebiet der Pegmatitforschung bei der Tagung PEG2017 erhalten haben, als auch die sehr positiven Rückmeldungen der Begutachter des akzeptierten Artikels geben das Gefühl auf einem relevanten Forschungsgebiet interessante Ergebnisse erzielt zu haben. Ich hoffe sehr, dass es irgendwie möglich sein wird die ausgefallenen LA-ICP-MS Messungen nachzuholen, da sie für einen dritten, zusammenfassenden Artikel sehr notwendig wären. Es wäre wünschenswert, die dafür vorgesehenen Mittel auch nach Ablauf der Projektzeit noch ausgeben zu können.

Aus organisatorischer Sicht ist folgendes anzumerken. Zunächst möchte ich mich bei Tanja Knoll bedanken, die mir administrativ sehr behilflich war und unsere interne Finanzkontrolle erledigt hat. Von Robert Supper (HAL Angewandte Geowissenschaften) sowie Horst Eichberger (FA Verwaltung) und seinen Mitarbeitern habe ich immer kompetente Unterstützung erhalten. Trotzdem war die Situation als Projektleiter innerhalb der Linienorganisation in der Hauptabteilung Landesaufnahme und der Projektorganisation angesiedelt in der Hauptabteilung Angewandte Geowissenschaften nicht immer komfortabel. So ist man zwar als Projektleiter für die Erreichung der Projektziele verantwortlich, hat aber keine ausreichende Kontrolle über die personellen und finanziellen Ressourcen.

4 Forschungsergebnisse

4.1 Verteilung von unterschiedlich stark fraktionierten Pegmatiten innerhalb des Ostalpins

Bei Pegmatiten handelt es sich um grob- bis riesenkörnige magmatische Gesteine, welche zumeist sehr inhomogen sind. Daher ist es schwierig eine repräsentative Gesamtgesteinschemie zu ermitteln, welche eine Anreicherung von seltenen Elementen (*rare elements*, RE) anzeigen kann. Daher verwendet man für die Prospektion nach hochfraktionierten RE-Pegmatiten zumeist das K/Rb-Verhältnis von magmatisch gebildetem Muskovit. Da im Zuge der fraktionierten Kristallisation Rb in der Schmelze sukzessive angereichert wird zeigen niedrige K/Rb-Verhältnisse im magmatischen Muskovit einen hohen Fraktionierungsgrad, und damit mögliche Selten-Element-Anreicherungen des Pegmatites an.

Im Zuge des Projektes wurden aus mehr als 800 im Perm kristallisierten Pegmatiten und Leukograniten magmatisch gebildete Muskovite chemisch untersucht. Neben den Hauptkomponenten (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO, MgO, K_2O , Na_2O) wurden auch die Spurenelemente Ba, Be, Cs, K, Li, Nb, Rb, Sn, Ta und Tl gemessen und somit die Verhältnisse K/Rb, K/Tl, K/Cs und K/Ba bestimmt.

Es zeigte sich, dass hochfraktionierte permische Pegmatite bzw. Spodumen-Pegmatite sich durch magmatischen Muskovit mit 375-1750 ppm Li und niedrigen K/Rb Verhältnissen von 15-150 auszeichnen. Magmatischer Granat enthält 220-1200 ppm Li. Gegenüber den Nebengesteinen sind Elemente wie Li, Sn, Tl oder Ta in den hochfraktionieren Pegmatiten zumeist um einen Faktor <10 und in den Spodumen-Pegmatiten um den Faktor 10 bis 100 angereichert. Mit Bezug auf die Diagramme von Černý & Burt (1984), welche auf den Spurenelementgehalten des magmatischen Muskovites beruhen sind auch die Spodumen-Pegmatite nur durch eine moderaten Fraktionierungsgrad charakterisiert.

Stellt man den Fraktionierungsgrad (über die ermittelten Parameter z.B. K/Rb, Li ppm) in Karten dar, so können diese als Grundlage für Prospektionsarbeiten auf höher fraktionierte Pegmatite, die neben Li auch noch andere Metalle wie Sn, Ta oder Nb enthalten könnten, verwendet werden. Die Karten sind aber auch für die Unterteilung des Ostalpinen Kristallins hilfreich, da die Schmelzen im Zuge der Fraktionierung gegen die Erdoberfläche aufgestiegen sind und die Zonierung des Fraktionierungsgrades etwas über die Tiefenlage der Gesteine im Perm aussagt. Fraktionierungstrends geben somit Hinweise auf eine aufrechte, inverse oder verkippte Stellung einer geologischen Einheit mit Bezug auf seine Lagerung im Perm an. Sprünge im Fraktionierungsgrad können der Ausdruck von alpidischen Deckengrenzen sein. Eine sehr eindeutige Zonierung konnte für den Rappold-Komplex im Gebiet um St. Radegund gemessen werden (Abb. 1). Aus dieser lässt sich eine aufrechte Lagerung des Rappold-Komplexes bezogen auf die Situation im Perm ableiten.

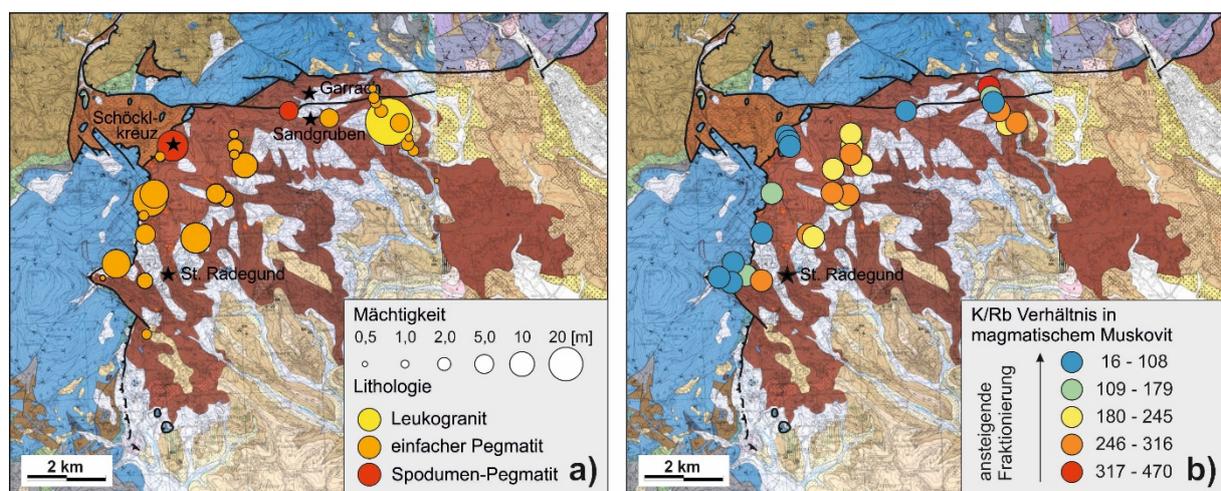


Abb. 1: Daten von Pegmatiten, Spodumen-Pegmatiten und Leukograniten aus dem Gebiet um St. Radegund. Die Daten aus der Access-Datenbank sind auf geologischen Karten im Maßstab 1:50000 (Flügel et al., 2011; Moser, 2015) dargestellt. (a) Gesteinstyp und Mächtigkeit (b) Fraktionierungsgrad angegeben durch das K/Rb Verhältnis in magmatischem Muskovit. Das Verhältnis fällt von Osten nach Westen zur Hangendgrenze der Einheit ab, woraus sich eine aufrechte Lagerung des Rappold-Komplex bezogen auf die Situation im Perm ableiten lässt.

4.2. Modell für die Genese der im Perm gebildeten Spodumen-Pegmatite im Ostalpinen Kristallin

Die Spodumen-Pegmatite im Ostalpinen Kristallin gehören zu den Selten-Element-Pegmatiten der LCT-Familie und können als Albit-Spodumen Pegmatite klassifiziert werden. Schon lange laufen Diskussionen ob die Schmelzen derartiger Pegmatite nur durch fraktionierte Kristallisation von großen Mutterplutonen entstehen können, oder ob auch eine Bildung durch teilweise Aufschmelzung von Glimmerschiefern und Paragneisen möglich ist.

Die Geländebeobachtungen im Ostalpinen Kristallin erlauben eine Rekonstruktion des Aufbaues der permischen Kruste. Die ehemals tiefsten Anteile bestehen aus migmatischen Glimmerschiefern und Paragneisen, in denen sich in etwa 20 km Tiefe, bei etwa 0.6 GPa und 650°C granitische Schmelzen gebildet haben. Basierend auf petrologischen Untersuchungen kam es dabei in Lagen aus Al-reichen Glimmerschiefern zum Abbau von Staurolith und zur Bildung von Sillimanit und Andalusit. Die Schmelzen kristallisierten zum Teil noch am Ort ihrer Entstehung als Neosome in Form von diffus begrenzten pegmatitische Schlieren und Netzwerken. Darüber finden sich innerhalb von Nebengesteine die keine Anzeichen von Aufschmelzung zeigen, konkordante, diskret begrenzte einfache Pegmatite. Dort wo sich größere Schmelzmengen gesammelt haben entstanden bis zu einige Kilometer große und wenige hundert Meter dicke Körper von Leukograniten. Diese sind inhomogen ausgebildet und zeigen in wechselnder Zusammensetzung granitische, pegmatitische und aplitische Texturen. In ehemals hangenden Anteilen finden sich höher fraktionierte einfache Pegmatite und Spodumen-Pegmatite als diskrete Gänge die bisweilen auch diskordant die Schieferung bzw. den Lagenbau der Nebengesteine durchschlagen. Dieser Bereich lag im Perm in etwa 10 km Tiefe bei ca. 0.3 GPa und 500°C.

Analytische Ergebnisse zeigen, dass die einfachen Pegmatite, Spodumen-Pegmatite und Leukogranite im Perm kristallisiert sind, zur gleichen Zeit als die Nebengesteine eine temperaturbetonte Metamorphose erfuhren. Parameter wie die K/Rb, K/Tl, K/Cs und K/Ba Verhältnisse in magmatischem Muskovit, aber auch chemische Gesamtgesteinsanalysen zeigen kontinuierliche Fraktionierungstrends von den einfachen Pegmatiten über die Leukogranite zu den Spodumen-Pegmatiten.

Von besonderem Interesse ist die Frage wie die Anreicherung von Li in der Schmelze stattgefunden hat, sodass letztendlich ein Wert von 10000 ppm Li in der Schmelze erreicht wurden, der für die Kristallisation von Spodumen notwendig ist. Geochemische Untersuchungen zeigen, dass die Al-reichen Metapelite vor ihrer teilweisen Aufschmelzung um die 120 pp Li enthalten haben, wobei Staurolith mit bis zu 800 ppm Li einer der wesentlichen Li-Träger war. Thermodynamische Modellierungen legen nahe, dass unter Annahme konservativer Parameter aus derartigen Metapeliten (bei prograder Aufschmelzung und Metasomatose durch migrierende Schmelzen) 15-25 vol% Schmelze mit mehr als 200 ppm Li gebildet werden kann, wenn es bei der Schmelzbildung zum Abbau von Staurolith kommt. Um den Schwellenwert von 10000 ppm Li zu erreichen ist es notwendig, dass durch fraktionierte Kristallisation 99 % der Schmelze in Form von einfachen Pegmatiten und Leukograniten mit durchschnittlich 100 ppm Li kristallisieren.

Betrachtet man die Geländebeobachtungen, Analysedaten und die Modellierung des Li-Transfers zusammengenommen, so ergibt sich folgendes Modell für die Genese der permischen Spodumen-Pegmatite im Ostalpinen Kristallin: Durch teilweise Aufschmelzung von Staurolith-führenden Glimmerschiefern und Paragneisen bildeten sich Schmelzen mit über 200 ppm Li. Durch fraktionierte Kristallisation von einfachen Pegmatiten und Leukograniten wurde Li in der Restschmelze sukzessive angereichert, bis in den verbleibenden 1-2% Schmelzen der Schwellenwert von 10000 ppm Li überschritten wurde. Aus diesen am stärksten fraktionierten Schmelzen kristallisierten schließlich die Spodumen-Pegmatite. Das Genesemodell bzw. die Überlegungen zum Li-Transfer können in Zukunft bei der Exploration von Albit-Spodumen Pegmatite von Nutzen sein.

4.3. Lagerstättenpotenzial (von Heinrich Mali)

Im Projektantrag wurden folgende lagerstättenkundliche Ziele definiert:

- Bislang unbekannte Selten-Element-Pegmatite sollen gefunden werden.
- Hoffungsgebiete für Selten-Element-Pegmatite sollen definiert werden.
- Das Lagerstättenpotential soll abgeschätzt werden.

Im Zuge der Arbeiten wurden bisher unbekannte Spodumenpegmatite in Bretstein (Pegm31, Horvat 2018), am Falkenberg bei Judenburg (SW1, C7, Sweda 2016), im Katzbachgraben bei Salla (Peg51, Lechner 2017), am Millstätter Seerücken (MRP-85, Steiner 2017) und bei Radzell auf der Glanzalm im Defereggental (Peg542) gefunden. Sie besitzen Mächtigkeiten bis zu acht Metern und sind im Streichen bis zu mehreren Zehnermetern Länge aufgeschlossen. Alle sind zonar gebaut mit Spodumen-führenden sowie Spodumen-freien Zonen. Der Spodumengehalt in den Spodumen-führenden Zonen liegt zwischen geschätzten 10- 20 Volumsprozenten. In diesen Spodumen-Pegmatiten sind zum Teil auch bereits Nb-Ta-Mineralen nachgewiesen worden.

Die Hoffungsgebiete für Selten-Element-Pegmatite waren vor diesem Projekt zum Großteil bereits bekannt. Nach jetzigem Kenntnisstand können folgende Hoffungsgebiete umrissen werden: Bretstein-, Pusterwaldgraben und Lachtal, der gesamte Falkenberg, St. Radegund bis Garrach, nordwestlich von Übelbach bis in den Arzwaldgraben, auf der westlichen Gleinalm zwischen Salla und Gallmannsegg, auf der Koralpe vom Klementkogel über Weinebene bis zum Wildbachgraben, am westlichen Teil des Millstätter Seerückens sowie nördlich und südlich des östlichen Defereggentales. Überall dort sind Spodumenpegmatite vorhanden. Zusätzlich wurde in all diesen Bereichen eine signifikante Anzahl an hochdifferenzierten, Spodumen-freien Pegmatiten beprobt, wobei der Differenzierungsgrad auf Basis des K/Rb-Verhältnisses in magmatischem Muskovit bestimmt wurde. Trotzdem wurden bei weitem nicht alle Pegmatite besucht bzw. beprobt, sodass überall noch Potenzial vorhanden ist, zusätzliche Spodumen-Pegmatite zu finden. Es wurden auch andernorts wie z.B. in den nördlichen Seetaler Alpen hochdifferenzierte Pegmatite vorgefunden, jedoch bislang noch kein Spodumen-Pegmatit entdeckt. Auch in solchen Gebieten sind Spodumen-Pegmatite nicht gänzlich auszuschließen.

Unter Weglassung der Lagerstätte auf der Weinebene ist das Lagerstättenpotenzial der Spodumen-Pegmatite schwierig einzuschätzen, weil es keine Tiefenaufschlüsse in Form von Bohrungen etc. gibt. Die größten natürlichen Aufschlüsse befinden sich am Hohenwart und im Lachtal (Niedere Tauern), am Kreuzstein (Millstätter Seerücken) und auf der Glanzalm bei Radzell. Das gesamte Rohstoffpotenzial für alle Spodumen-Pegmatite der Ostalpen (außer Weinebene) wird auf mehrere Millionen Tonnen Li-Erz geschätzt, wobei nach jetzigem Kenntnisstand >2 mio.t. rund um den Hohenwart postuliert werden.

Ausgenommen Li wurden bisher keine ökonomisch interessanten Anreicherungen von Elementen wie z.B. Nb, Ta, Cs, Be, Sn etc. in den Pegmatiten festgestellt. Dies liegt auch daran, dass repräsentative chemische Gesamtgesteinsanalysen für sämtliche Pegmatite der Ostalpen (außer Brandrücken/Weinebene) noch nicht vorhanden sind. Im Zuge dieses Projektes wurden vielfach hohe Gehalte dieser Spurenelemente mit bis zu mehreren tausend ppm in magmatischem Muskovit nachgewiesen. Diese Pegmatite harren weiterhin einer genaueren Betrachtung. Vielerorts sind hier Neufunde von Columbit, Zinnstein etc. zu erwarten. Da solche Minerale bereits mehrfach in den Spodumenpegmatiten der Ostalpen nachgewiesen wurden, wären diese auch im Falle eines Spodumenpegmatitbergbaues als wirtschaftlich interessante Beiprodukte neben Quarz, Feldspat und Muskovit in Erwägung zu ziehen.

5 Publikationen**2015**

Ilickovic, T., Schuster, R., Mali, H., Petrakakis, K. & Schedl, A. (2015): New sight on Li-rich Pegmatites within the Austroalpine unit (Eastern Alps) and their evidence for an anatectic origin. – Udruženje/Udruga Geologa U Bosni I Hercegovini, Zbornik Radova, Knjiga Sažetaka, 1 Kongres Geologa Bosne I Hercegovine sa Medunarodnim Učesćem, Tuzla, 21.-23.10.2015, 96.

2016

Ilickovic, T., Schuster, R., Mali, H., Petrakakis, K., Schedl, A. & Horschinegg, M. (2016): Spodumene bearing pegmatites in the Austroalpine unit (Eastern Alps): New field observations and geochronological data. – Abstract Volume GeoTirol 2016, Annual Meeting DGGV 25.-28. September 2016 Innsbruck/Austria, 138.

2017

Mali, H., Ilickovic, T., Schuster, R., Onuk, P., & Schedl, A. (2017): Verteilung der Spodumen-Pegmatite sowie differenzierter Pegmatite und Leukogranite im Ostalpinen Kristallin. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Bad Ischl 19.–22. Juni 2017, 278-279, Geologischen Bundesanstalt (Wien).

Ilickovic, T., Schuster, R., Mali, H., Petrakakis, K., Schedl, A. & Horschinegg, M. (2017): Genesis of spodumene bearing pegmatites in the Austroalpine unit (Eastern Alps): isotopic and geochemical investigations. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Bad Ischl 19.–22. Juni 2017, 249-250, Geologischen Bundesanstalt (Wien).

Ilickovic, T., Schuster, R., Mali, H., Petrakakis, K. & Schedl, A. (2017): Spodumene bearing pegmatites in the Austroalpine unit (Eastern Alps): Distribution and new geochronological data. – EGU General Assembly 2017, Geophysical Research Abstracts, 19: EGU2017-7235.

Ilickovic, T., Schuster, R., Mali, H., Onuk, P., & Horschinegg, M. (2017): Genesis of spodumene bearing pegmatites in the Austroalpine unit (Eastern Alps): isotopic and geochemical investigations. – Peg17, Kristiansand, Norwegen 13-20. Juni 2017.

Ilickovic, T., Schuster, R., Mali, H., Huet, B. & Horschinegg, M. (2017). Genesis of Permian pegmatites and spodumene bearing pegmatites during regional scale, high temperature/low pressure metamorphism in the Austroalpine unit. – Abstract Volume 2nd Emile Argand Conference on Alpine Geology 2017 Zlatibor, 47.

Schuster, R., Ilickovic, T., Mali, H., Huet, B. & Schedl, A. (2017): Permian pegmatites and spodumene pegmatites in the Alps: Formation during regional scale high temperature/low pressure metamorphism. – Peg17, Kristiansand, Norwegen 13-20. Juni 2017.

Schuster, R., Ilickovic, T., Mali, H. (2017): Unrevealing the internal structure of Austroalpine basement nappes by using the mineral compositions and fractionation trends of Permian pegmatites (Eastern Alps/Austria). – Abstract Volume 2nd Emile Argand Conference on Alpine Geology 2017 Zlatibor, 96.

2018

Huet, B., Knoll, T., Schuster, R. & Paulick, H. (2018): Albite-spodumene pegmatites without large granite intrusions? Exploring the feasibility of the alternative anatectic model. – PANGEO 2018 Wien.

Knoll, T., Mali, H., Paulick, H., Schuster, R., Huet, B. & Horschinegg, M. (2018): Metamorphic origin of spodumene pegmatites in the Eastern Alps (Central Europe). – Abstract Volume Resources for Future Generations, June 16-21, 2018 Vancouver, BC, Canada.

Knoll, T., Schuster, R., Huet, B., Mali, H. & Paulick, H. (2018): Spodumene pegmatites, pegmatites and leucogranites from the Austroalpine Unit (Eastern Alps). – Abstract Volume XXI International Congress of the CBGA, Salzburg, Austria, September 10–13, 2018.

Knoll, T., Schuster, R., Mali, H., Huet, B., Horschinegg, M. & Paulick, H. (2018): The relationship between spodumene pegmatites, pegmatites and leucogranites from the Austroalpine Unit (Eastern Alps). – PANGEO 2018 Wien.

Knoll, T., Schuster, R., Mali, H., Onuk, P., Huet, B., Horschinegg, M., Ertl, A. & Gister, G. (2018): Spodumene pegmatites and related leucogranites from the Austroalpine Unit (Eastern Alps): field relations, petrology, geochemistry and geochronology. – The Canadian Mineralogist.

Huet, B., Knoll, T. & Schuster, R. (in Vorbereitung): Albite-Spodumene pegmatites with an anatectic origin. Insights from field observations, geochemistry, geochronology and modelling.