LREE-F-Karbonat, Synchysit-(Ce), in der dioritischen Intrusionsbrekzie bei Schrammbach (Südtirol/Italien):Indikator für tieftemperierte LRee Mobilisation

Zöll, K., Tropper, P. & Haefeker, U.

Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck,
Innrain 52f, A-6020 Innsbruck, Österreich
e-mail: peter.tropper@uibk.ac.at

Abstract

The aim of this investigation was the petrological investigation of low-temperature alteration products from the intrusion breccia at Schrammbach, South-Tyrol. Within this breccia, rock fragments of quartzphyllites, quartzites and diorites occur in a fine-grained altered matrix of diorite. After the Permian contact metamorphic event, late-stage Alpine alteration associated with the Villnöss line occurred. This alteration affected the primary mineral assemblage and led to remobilization of LREE. This led to the formation of a LREE-F-bearing carbonate. Using Raman spectroscopy it was possible to identify it as synchysite-(Ce). Synchysite-(Ce) is a rare late-stage alteration product of granites and syenites and forms by fluid-rock interaction with a F-CO_2-rich fluid.

Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung ist die petrologische Bearbeitung von tieftemperierten Alterationsprodukten aus einer Intrusionsbrekzie bei Schrammbach in Südtirol. In dieser Brekzie sind sowohl Komponenten des Quarzphyllites und von Quarziten als auch dioritische Gesteinsbruchstücke (Klausenite) aufgearbeitet. Die Matrix besteht hauptsächlich aus graugrünem, feinkörnigem stark zersetzten Diorit. Nach der permischen kontaktmetamorphen Überprägung der Gesteine kam es zu einer alpidischen Alteration der Gesteine im Bereich der Vilnösser Linie durch späte Mobilisierung von Fluidphasen, welche zur Alterierung des primären Mineralbestandes führte. Das ursprüngliche magmatische Gefüge blieb jedoch, gut sichtbar, erhalten. Gleichzeitig kam es zu einer ausgeprägten Remobilisierung von seltenen Erden, die zur Bildung eines LREE-F-hältigen Karbonats führte. Dieses konnte mittels Ramanspektroskopie eindeutig als Synchysit-(Ce) identifiziert werden. Synchysit-(Ce) tritt hauptsächlich als tieftemperierte, späthydro-thermale Bildungen in Graniten und Syeniten auf und daher wurden die REE wahrscheinlich durch Interaktion eines F-CO_2-reichen Fluides möglicherweise spätalpidisch mobilisiert.

Einführung

Fluide sind bei Mineralreaktionen von großer Bedeutung (Okrusch & Matthes, 2009). Fluide Phasen treten in den Poren oder als dünner Film entlang von Korngrenzen auf. Das große Problem Fluiden ist, dass sie nur schwer nachweisbar sind, aber gleichzeitig einen großen Einfluss auf die mineralogische Zusammensetzung von Gesteinen, sowie auf die Stabilitätsfelder der einzelnen Mineralphasen haben. Durch Anwesenheit

von Fluiden wird der Wärme- und Stofftransport begünstigt und es kommt oft zu ausgeprägtem Stofftransport durch fluidbedingte Alteration des primären Mineralbestandes. Diese Alteration betrifft auch den akzessorischen REE-haltigen Mineralbestand (Monazit, Allanit, Apatit). Förster (2000, 2001) beschreibt die Umwandlung von primären Monaziten aus Graniten in REE-F-haltige Sekundärphasen wie z.B. Synchysit, Bastnäsit oder Parisit.

Zöll (2014) führte die petrologische Bearbeitung der Kontaktaureole zwischen der permischen (ca. 280 Ma) Dioritintrusion (Lokalname Klausenit, Gisser, 1926) und dem grünschieferfaziellen Brixner Quarzphyllit, im Grenzgebiet der Gemeinden Klausen-Latzfons und Villanders – Südtrioler Eisacktal durch (Abb. 1). Diese Untersuchungen betrafen nicht nur die kontaktmetamorphen Hornfelse sondern auch Intrusionsbrekzien, die im Untersuchungsgebiet im Bereich Schrammbach und im hinteren Tinnetal auftreten. Obwohl die Hornfelsproben vom Säbener Berg makroskopisch frisch aussahen, wurden sowohl die Gesteine der Klausner Dioritintrusion als auch die Hornfelse der Kontaktaureole zu einem späteren Zeitpunkt durch eine pervasive hydrothermale Alteration überprägt (Zöll, 2014). Es kam zu keiner texturellen Änderung der Ausgangsgesteine, sondern ausschließlich zu einer Änderung im Mineralbestand. Bereits makroskopisch erkennt man im Gelände eine extreme Farbänderung hin zu einer rosa bis rötlichen Färbung. Im Zuge der Alteration der Gesteine der Intrusionsbrekzie kam es zur hydrothermalen Bildung eines LREE-F-haltigen Karbonats dessen Beschreibung das Ziel dieser Arbeit war.

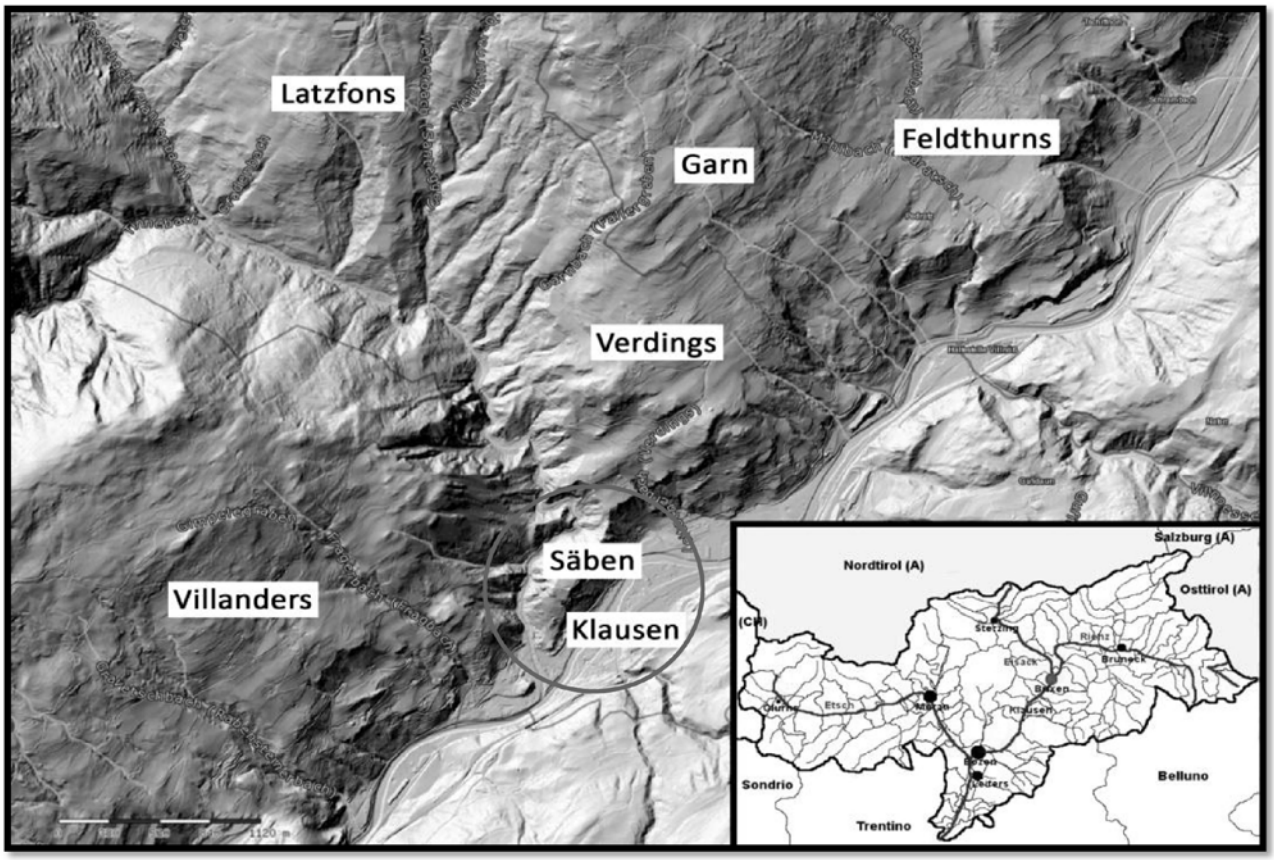


Abb. 1: Laser-Scan-Überblickskarte über den Bereich Klausen vom Geobrowser der Autonomen Provinz Bozen Südtirol – Abteilung 9: Informationstechnik + www.welt-atlas.de.

Fig. 1: Laser-Scan-map over the area of Klausen. The data are from the geobrowser of the Autonomous Province Bozen South-Tyrol (Division 9: information technics + www.welt-atlas.de).

Geologischer Überblick

Das südalpine Basement liegt heute hauptsächlich als Brixener Quarzphyllit vor (Abb. 2). Untergeordnet treten Amphibolitkörper (Gufidaun, Rofner, 2010) oder Dioritstöcke (Klausen, Zöll, 2014) auf.

Im Zuge der variszischen Gebirgsbildung (370-300 Ma) kam es in den Gesteinen des Südalpins zu einer ausgeprägten Metamorphose (Ring & Richter, 1994). Im Devon (360 Ma) entstand während der Bildung des Superkontinents Pangäa ein Orogen, in welchem die Gesteine des Brixner Quarzphyllits und der Gabbro-Komplex von Gufidaun von einer amphibolitfaziellen Regionalmetamorphose geprägt wurden. Dabei wurden ein Druck von 3-6.5 kbar und Temperaturen zwischen 450°C und 590°C erreicht (Rofner, 2010).

Im Perm (290-250 Ma) kam es zu einer extensionalen Dehnungstektonik mit Bildung eines pull-apart-Beckens in dem Magmen entlang tiefgreifender Störungssysteme aufstiegen (Bargossi et al., 2004). Im Zuge dieser postorogenen Prärift-Extension kam es zu zahlreichen Intrusionen, die heute unter den Namen wie Brixner- und Ifinger-Granit, Cima d'Asta- oder auch Kreuzberg-Granit bekannt sind (Rottura et al., 1998).

Aus der geographischen Lage und der Position innerhalb der lithologischen Abfolge wird die Klausenitintrusion diesem postorogenen Prärift-Event zugeordnet. Durch anhaltende extensionale Bewegungen kam es zu einer starken Ausdünnung der Kruste und infolge dessen zur Eruption silikatreicher Schmelzen in Form von rhyolithischer Lava (Bozner Quarzporphyr), von Ignimbriten (Auer-Formation) und Tuffen. Vor ca. 284-274 Ma entstand so der ausgedehnte Etschtaler Vulkanit-Komplex.

Im Gesteinsverband des Brixner Quarzphyllits stecken immer wieder Diorite (die Lokalbezeichnung für Diorit lautet Klausenit) permischen Alters (Abb. 2). Diese sind in der Regel mittel- bis feinkörnig und von einer dunkelgrauen Farbe. Es handelt sich dabei um einen Diorit mit weißem Plagioklas, Hornblende, Augit, Biotit und/oder Quarz, dessen Volumenanteile schwanken, so dass man einzelne Vorkommen auch als Quarzdiorit bezeichnen kann. Bedingt durch die Intrusion kam es im Quarzphyllit zu einer Kontaktmetamorphose welche räumlich stark begrenzt ist (Zöll, 2014). Durch die Intrusion der Klausenit-Diorite im Brixner Quarzphyllit bildeten sich einerseits Hornfelse, andererseits Intrusionsbrekzien, die im Bereich Schrammbach und im hinteren Tinnetal aufgeschlossen sind.

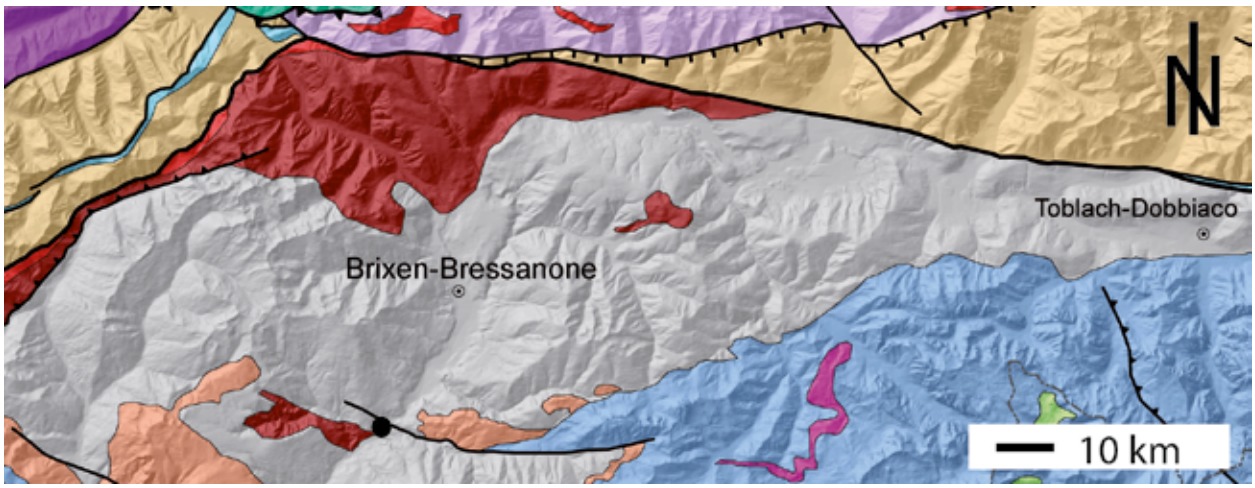


Abb. 2: Geologischer Überblick über das südalpine Basement. Grau: Brixener Quarzphyllit; Rot: Permische Intrusiva; Ocker: Austroalpines Basement; Rosa: Gesteine des Etschtaler Vulkanitkomplexes; Blau: Mesozoische sedimentäre Bedeckung (Dolomiten). (Modifizierter Ausschnitt aus der geologischen Karte des Amtes für Geologie und Baustoffprüfung der Autonomen Provinz Bozen)."

Fig. 2: Geological overview over the Southalpine basement. Grey: Brixen Quarzphyllite; Red: Permian intrusive complexes; Ochre: Austroalpine basement units; Rose: Rocks of the Etschtal Volcanic Complex; Blue: Mesozoic sedimentary cover (Dolomites). (Modified map of the Amt für Geologie und Baustoffprüfung of the Autonomous Province Bozen).

Geländebefund

Der Diorit (Klausenit) tritt im Gelände gleich in mehreren Variationen auf. Charakteristisches Merkmal der Intrusion ist ein feinkörniges, sehr dichtes Gefüge. Die Körnung beträgt ca. einen Millimeter und ist über das gesamte Handstück homogen-gleichkörnig (granular) verteilt. Im frischen Bruch besitzt der Klausenit eine grau-grüne Färbung welche bei Verwitterung des Gesteins deutlich heller wird. Sowohl in verwittertem als auch im frisch angeschlagenen Zustand wirkt der Diorit trotz hypidiomorph körniger Textur eher massig und derb. Die geringe Korngröße erschwert die makroskopische Gesteinsbestimmung. An zwei Lokalitäten wurde eine Intrusionsbrekzie gefunden (Abb. 3, 4). Bei genaueren Untersuchungen im Gelände zeigte sich die vollständige hydrothermale Umwandlung der Gesteine. Ein sehr schönes Beispiel dieser Brekzie konnte an der Brenner Staatstraße, auf der Höhe der Villnösser Haltestelle in Schrammbach ausgemacht werden (siehe Abb. 3). Makroskopisch ist der Umwandlungsprozess in dieser Intrusionsbrekzie noch nicht so weit fortgeschritten. Gleiches gilt für die Klausenit-Intrusion selbst. Proben der Intrusionsbrekzie aus dem hinteren Tinnetal (Abb. 4) zeigen einen wesentlich höheren Grad der hydrothermalen Alteration. Am Säbener Berg fehlt die Intrusionsbrekzie jedoch vollständig.

Abb. 3: Intrusionsbrekzie am Aufschluss „Klammwirt" in Schrammbach. Die Komponenten, bestehend aus Quarzphyllit, Quarzit und Diorit schwimmen in einer dioritischen/klausenitischen Matrix. Die Größe der einzelnen Komponenten ist höchst variabel. Die Komponenten sind auch im Sondenschliff (unten rechts) klar ersichtlich. Der Massstab beträgt 10 cm.
Fig. 3: Intrusion breccia at the outcrop „Klammwirt" in Schrammbach. The components are quartz-phyllite, quarzite and diorite and occur in a diorite/klausenite matrix. The size of the components is highly variable. The components are also clearly visible in the thin section (lower right). The scale bar indicates 10 cm.

Abb. 4: Das Foto zeigt die Intrusionsbrekzie im hinteren Tinnetal. Deutlich erkennbar ist die variable Größe der Komponenten. Die rötliche Verfärbung der Matrix weist bereits darauf hin, dass die Gesteine eine vollständige hydrothermale Alterierung zeigen.
Fig. 4: Fotograph of the intrusion breccia from the inner Tinnetal. The size of the components is also highly variable. Due to penetrative hydrothermal alteration the matrix of the breccia is red.

Im hinteren Teil des Tinnetales kam es zu einer ausgeprägten Alteration der Gesteine (Abb. 4). Bereits makroskopisch erkennt man im Gelände eine extreme Farbänderung hin zu einer rosa bis rötlichen Färbung.

Bei der Intrusionsbrekzie handelt es sich um ein Gestein, das aus eckigen Gesteinstrümmern besteht, die durch eine feinkörnige Grundmasse verkittet sind (Vinx, 2008). Das Beiwort „Intrusion" verweist auf die Genese dieser Gesteine. Dies ist insofern problematisch, da im deutschsprachigen Raum unter dem Wort „Intrusionsbrekzie" eine Vielzahl an Gesteinsbrekzien fällt, die völlig unterschiedlich entstanden ist. Schollenmigmatite, Brekziengang, composite dikes bzw. 2M-Gänge, die genetisch alle völlig unterschiedlich entstanden sind, werden in der Literatur häufig als Intrusionsbrekzie tituliert (Frasl & Schindlmayr, 1995).

Fest steht, dass die beobachtete Brekzie beim Klammwirt in Schrammbach bei Klausen überwiegend komponentengestützt ist, wobei die Matrix aus grau-grünem Diorit besteht (Abb. 3, 5). Im Gegensatz dazu ist die Intrusionsbrekzie im hinteren Tinnetal matrixgestützt (Abb. 4). Die Komponenten sind in ihrer Größe extrem variabel, sie reichen von wenigen 100 µm bis zu mehreren dm. In der oligomikten Brekzie wurden Gesteinsbruchstücke aus dem Umgebungsgestein, dem Quarzphyllit und dem Quarzit sowie aus dem Diorit aufgearbeitet. Der Rundungsgrad ist ebenfalls sehr variabel. Überwiegend sind die Komponenten in ihrer Form stark angular. Untergeordnet findet man im Handstück Komponenten mit zunehmendem Rundungsgrad. Augenscheinlich wurden diese Bestandteile durch die Gesteinsschmelze angelöst bzw. abgerundet.

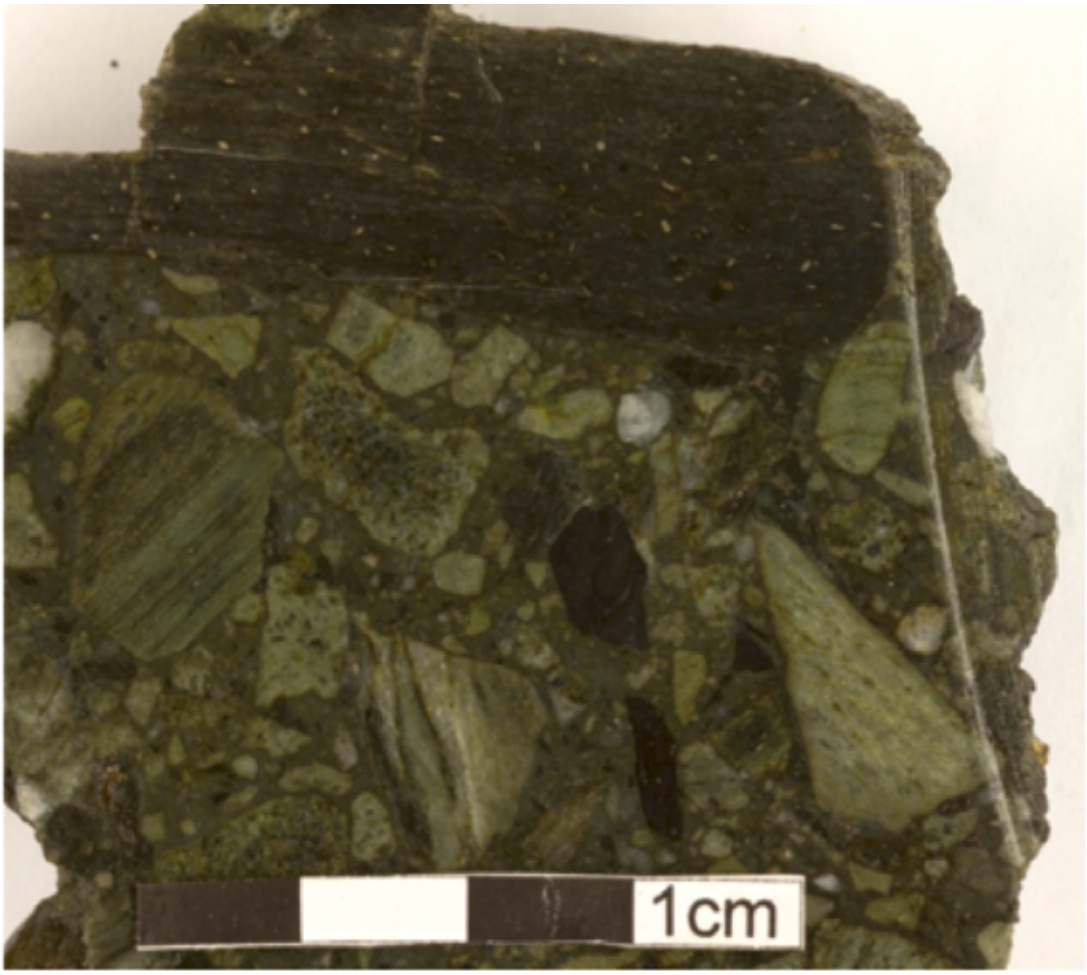
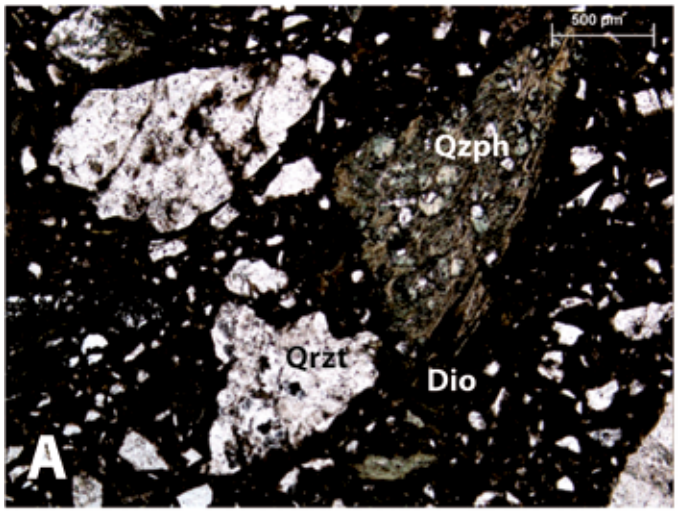


Abb. 5: Das Foto zeigt einen Anschliff der Intrusionsbrekzie vom Klammwirt in Schrammbach. Die Komponenten bestehen vorwiegend aus Quarziten, Quarzphylliten und vereinzelt auch aus dioritischen Bruchstücken. Die Größe der einzelnen Komponenten ist extrem variabel. Verfüllt wird die Brekzie von feinkörnigem Diorit.
Fig. 5: Polished section of the intrusion breccia at the outcrop Klammwirt in Schrammbach. The components are quartzphyllite, quarzite and diorite and occur in a diorite/klausenite matrix. The size of the components is highly variable. The components are also clearly visible in the thin section (lower right). The matrix consist of fine-grained diorite.

Petrographie

Im Dünnschliff (Abb. 6A) sieht man klar die unterschiedlichen Gesteinsfragmente aus Quarzit und Quarzphyllit. Die dunkle Matrix besteht hauptsächlich aus graugrünem, feinkörnigem stark zersetztem Diorit, der jetzt vorwiegend aus Plagioklas, Chlorit, Serizit und reliktischem Klinopyroxen besteht (Haser, 1961). Quarz tritt untergeordnet überwiegend als Zwickelfüllung auf. In den meisten Proben wurde vor allem der Plagioklas durch späte hydrothermale Alteration weitgehend in Zoisit, Serizit und Albit zersetzt. Das ursprüngliche magmatische Gefüge blieb jedoch, gut sichtbar, erhalten. Häufig treten Chlorit- und Turmalinsäume entlang der Korngrenzen auf (Abb. 6B). Einige Alterationsprodukte waren aber erst in rückgestreuten Elektronenbildern (BSE Bilder) zu sehen (Abb. 7). So kam es zu einer ausgeprägten Remobilisierung von seltenen Erden, die zur Bildung eines LREE-F-haltigen Karbonats führte. Das Mineral tritt in Form von feinkörnigen, polykristallinen Aggregaten auf. Diese Karbonate sind fast immer randlich an Rutilen zu finden (Abb. 6B, 7). Im Polarisationsmikroskop bewirkt die Feinkristallinität das scheinbare Fehlen der Auslöschungsstellung und sie sind fast nicht zu erkennen (Abb. 6B). In den BSE-Aufnahmen konnte die randliche engständige Verwachsung zwischen Rutil, Synchysit und Goethit dokumentiert werden (Abb. 7).



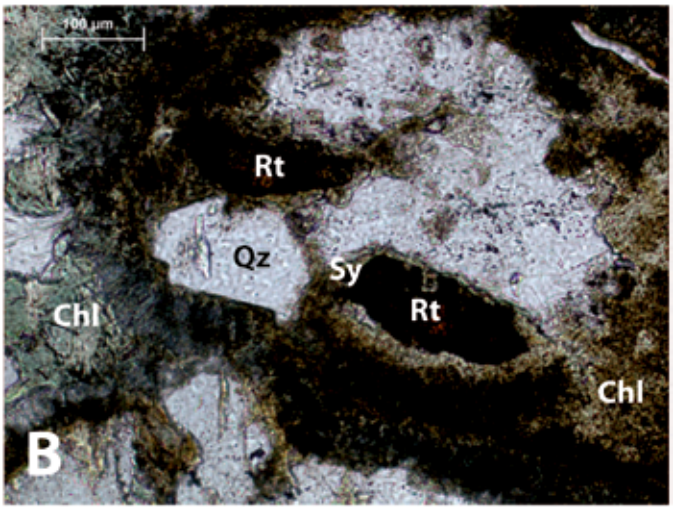


Abb. 6: (A): Die obere Abbildung zeigt eine Durchlichtaufnahme des Mikrogefüges der Intrusionsbrekzie mit Quarzit (Qrzt) und Quarzphyllit (Qzph) Komponenten in einer dunklen Matrix aus feinkörnigem Diorit (Dio). (B): Die untere Aufnahme zeigt eine Durchlichtaufnahme der Synchysit- (Sy) Rutil (Rt)-Verwachsungen. (Chl: Chlorit; Qz: Quarz).

Fig. 6: (A): The upper Figure shows a photomicrograph of the intrusion breccia showing the components quartzite (Qrzt), quartzphyllite in a matrix of fine-grained diorite (Dio). (B): The lower Figure shows a photomicrograph of synchysite- (Sy) rutile (Rt)-Intergrowths. (Chl: chlorite; Qz: quartz).

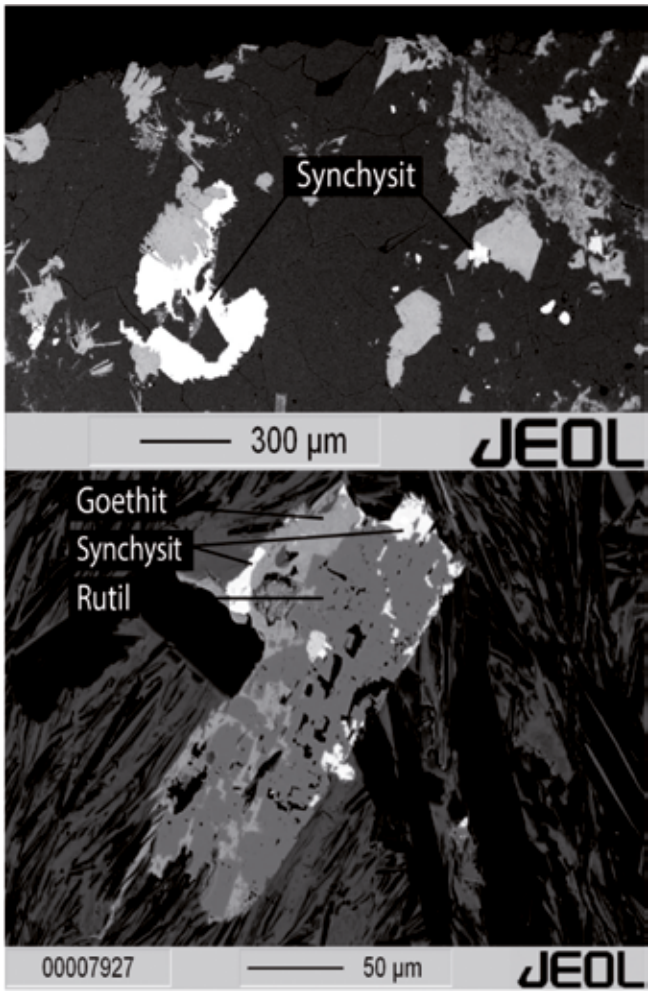


Abb. 7: Die obere BSE (back-scattered electron) Abbildung zeigt einen großen Synchysit (weiss), der mit Rutil verwachsen ist; die untere BSE Abbildung das Mikrogefüge in welchem das REE-Mineral gefunden wurde, wobei die Synchysite randlich mit Goethit zusammen am Rutil anwachsen. Der polykristalline Synchysit weist eine Größe von ca. 30 µm auf.

Fig. 7: The upper BSE (back-scattered electron) image shows a large synchisite (white), intergrown with rutile; the lower BSE image shows an overview over a synchysite-goethite-rutile intergrowth. The size of the synchysite is ca. 30 µm.

Mineralchemie

Das LREE-F-Karbonat konnte erst mithilfe von Ramanspektroskopie eindeutig als Synchysit-(Ce) identifiziert werden (Abb. 8). Beim pseudohexagonalen Synchysit handelt es sich um ein LREE-F-Karbonat mit der theoretischen Formel Ca(REE)$(CO_3)_2F$, das in seine Kristallstruktur vorwiegend Ce, La und Nd einbaut (Förster, 2000, 2001). Weiters konnten mittels Elektronenstrahlmikrosonde erhöhte Gehalte von Y, Pr, Sm, Eu und Gd nachgewiesen werden (Tab. 1).

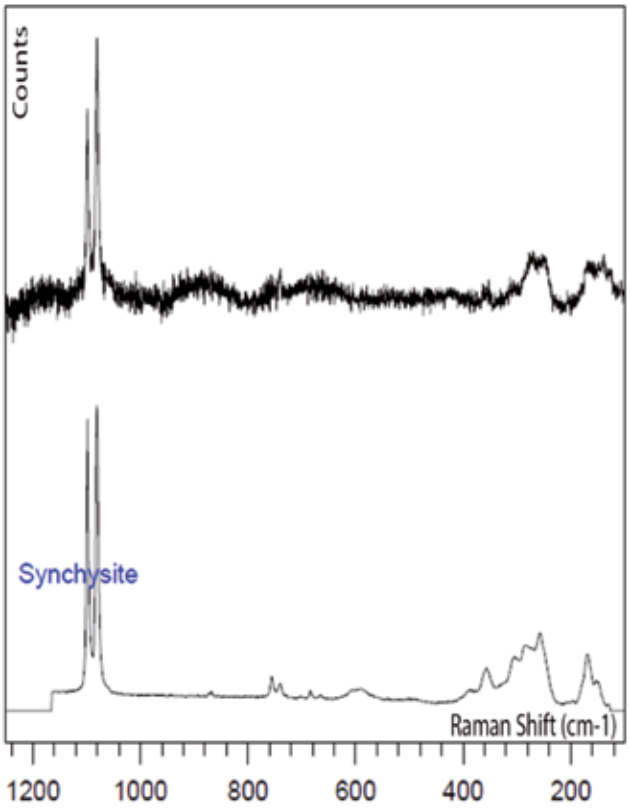
Im Vergleich zum Synchysit-(Ce) aus der Untersuchung von Förster (2000) weist der Synchysit dieser Untersuchung leicht erhöhte La_2O_3 und Pr_2O_3-Gehalte auf. Obwohl die Kristalle im BSE Bild homogen wirken, war es erst durch ein Röntgenverteilungsbild möglich, geringfügige chemische Inhomogenitäten in der Verteilung der wichtigsten LREE (Ce, Y, La, Nd) zu dokumentieren (siehe Abb. 9: Zwei Röntgenverteilungsbilder von Synchysit. (A): Y-Verteilung; (B): Nd-Verteilung. Schwach ist die chemische Inhomogenität in der Verteilung der LREE und Y ersichtlich.).

Tabelle 1: Elektronenstrahl-Mikrosondenanalysen von Synchisit-(Ce)

	Mean (n=17)	1s (n=17)	*Synchysite-(Ce)	**Synchysite-(Ce)
FeO	0.58	0.66	n.d.	n.d.
MgO	<0.01	0.01	n.d	n.d
CaO	16.74	0.36	18.14	18.1
Na_2O	0.04	0.14	n.d.	n.d.
BaO	0.01	0.02	n.d.	n.d.
La_2O_3	13.04	0.32	9.96	12.5
Ce_2O_3	21.75	0.84	22.34	24.5
Nd_2O_3	8.72	0.52	12.73	9.67
Sm_2O_3	n.d.	n.d.	1.79	1.54
Pr_2O_3	3.38	0.23	2.27	2.49
Yb_2O_3	0.05	0.12	n.d.	0.08
Gd_2O_3	1.31	0.28	1.27	1.05
Tb_2O_3	n.d.	n.d.	n.d.	0.05
Dy_2O_3	0.32	0.14	n.d.	0.32
Ho_2O_3	n.d.	n.d.	n.d.	0.03
Er_2O_3	n.d.	n.d.	n.d.	0.16
Y_2O_3	2.93	0.77	0.45	2.04
ThO_2	n.d.	n.d.	n.d.	0.79
F	5.26	0.36	5.73	5.31
Cl	0.17	0.04	n.d.	n.d.
-O=F	2.21		2.41	2.23
S	72.11	1.19	72.41	74.17

n.d.: not detected; * Mineral Data Publishing; **Förster (2000).

Abb. 8: Raman-Spektrum des Synchysits (oben) und Spektrum von Synchysit-(Ce) aus der RRUFF Datenbank (unten).
Fig. 8: Raman-spectroscopy of synchysite (upper) compared with synchysite-(Ce) from the RRUFF dataset (below).



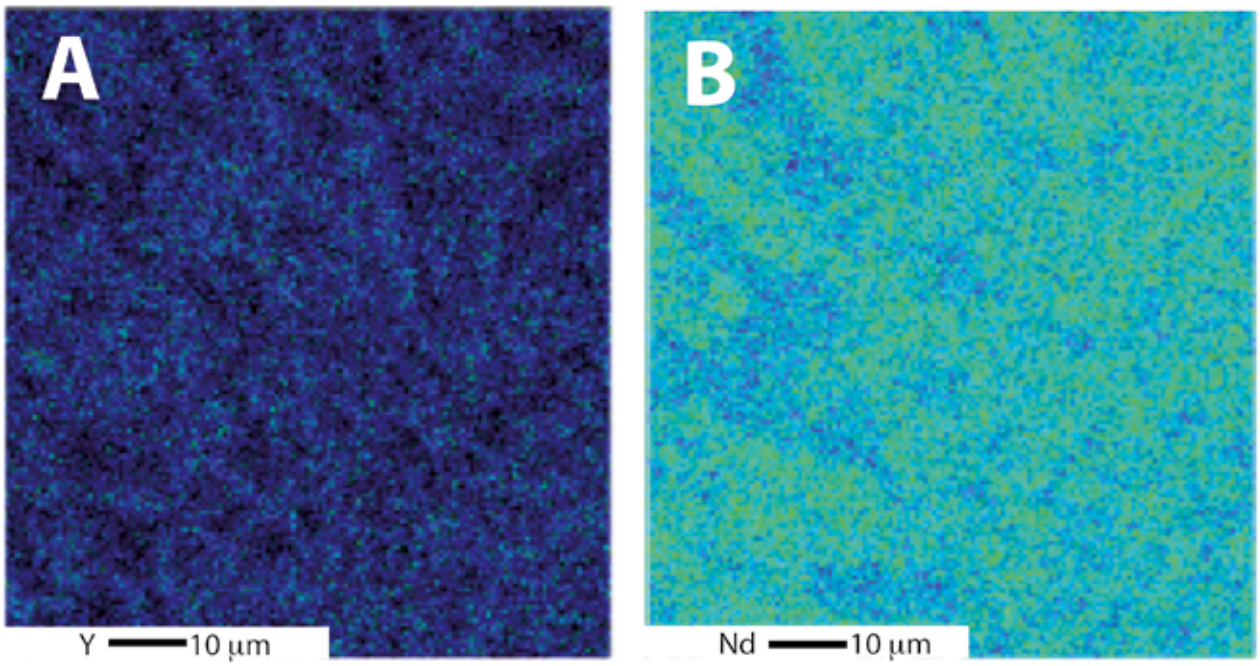


Abb. 9: Zwei Röntgenverteilungsbilder von Synchysit. (A): Y-Verteilung; (B): Nd-Verteilung. Schwach ist die chemische Inhomogenität in der Verteilung der LREE und Y ersichtlich.
Fig. 9: Two X-ray distribution images of synchysite. (A): Y-distribution; (B): Nd-distribution. Only a weak inhomogenous distribution of LREE and Y is visible.

Diskussion

Im Vergleich zu den Hornfelsen aus der Kontaktaureole vom Klosterberg Säben bei Klausen hat sich gezeigt, dass die hydrothermale Alteration in den Intrusionsbrekzien am stärksten ist (Zöll, 2014). Innerhalb der Intrusionsbrekzie ist eine erhöhte Wegsamkeit für Fluidphasen gegeben. Genetisch könnte die Intrusionsbrekzie mit bereits vor der Intrusion bestehenden tiefgreifenden Störungssystemen in Verbindung stehen bei denen es zur Bildung von Kakiriten bzw. tektonischen Brekzien gekommen ist. Bei der Intrusion und Platznahme der Diorite orientierten sich die Magmen entlang der vorherrschenden Störungssysteme und verfüllten dabei die Kakirite mit dioritischer Gesteinsmatrix. Die Geländebeobachtungen zeigen, dass die Intrusionbrekzie am Aufschluss Klammwirt und jene im hinteren Tinnetal etwas abseits vom Intrusionkörper liegen und nicht unmittelbar daran angrenzen. Unter dem Vorbehalt, dass die Intrusionsgeometrie nicht genau bekannt ist, könnte die Entstehung dieser Brekzien entlang eines bereits existierenden Störungssystems durchaus erklärt werden.
Nach der kontaktmetamorphen Überprägung kam es zu einer alpidischen (möglicherweise jungalpidischen) Alteration der Gesteine durch die (Re)-Aktivierung der Villnößer Störung. Es kam in Verbindung mit dieser Störung zu einer späten Mobilisierung von Fluidphasen, welche zur Alterierung des primären Mineralbestandes führte. Im Zuge dieser Alteration wurden auch Monazit und Apatit aus dem Primärbestand erfasst, was zur Freisetzung von LREE führte (z.B. Förster, 2000, 2001). Diese LREE wurden wahrscheinlich durch Interaktion eines F-CO_2-Ca-reichen Fluides spät-alpidisch mobilisiert. Eine, in den Untersuchungen festgestellte Eigenheit des Synchysits ist die extreme Affinität des Minerals zu Rutil (siehe Abb. 7). Chen et al. (2011) beschrieben lokale Anreicherungen von Synchysit in Rutilen im Tianshan Orogen im Nordwesten Chinas, welche im Kontaktbereich zwischen metamorphen Sedimenten und dioritischen-granodioritischen Intrusionen auftreten, wie sie auch bei Klausen beobachtet werden können. Die Bildung dieser Paragenese geht auf eine mehrphasige Fluideinwirkung von älteren, heißen, salinaren Fluiden (310 °C), möglicherweise NaCl-KCl, und jüngeren Ca-Si-reichen Fluiden zurück.
Minerale wie Synchysit-(Ce) in der Intrusionsbrekzie und Mineralreaktionen von Sillimanit zu Diaspor und Kaolin in der inneren Kontaktaureole zeigen deutlich die Anwesenheit eines späteren Fluids. Spuren dieses Fluids können auch im Apatit in Form von Lösungstexturen dokumentiert werden. Insgesamt kann zusammenfassend gesagt werden, dass es zur späten Alteration der Klausenitintrusion und des Kontakthofes durch ein komplexes Mischfluid, bestehend aus H_2O, Cl, F und K sowie vermutlich auch Na, gekommen ist. Die Anreicherung der obgenannten chemischen Elemente impliziert einen möglichen salinaren Charakter des Fluids.

Danksagung

Mag. Philipp Mair wird für die kritische Durchsicht des Manuskriptes gedankt. Ein weiterer Dank gebührt der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol für die Forschungsbeihilfe.

Literaturverzeichnis

Bargossi, G., Klötzli, U., Mair, V., Marocchi, M. & Morelli, C. (2004): The Lower Permian Athesian Volcanic Group (AVG) in the Adige valley between Merano and Bolzano a stratigraphic, petrographic and geochronological outline - 32nd Intenational Geological Congress - Florence (Abstr. 118).

Chen, H., Yang, J. & Baker, M. (2011): Mineralization and fluid evolution of the Jiyuan polymetallic Cu–Ag–Pb–Zn–Au deposit, eastern Tianshan, NW China. International Geology Review, 54,7 , 816-832.

Förster, H.-J. (2000): Cerite-(Ce) and thorian synchisite-(Ce) from the Niederbobritzsch granite, Erzgebirge, Germany: implications for differential mobility of the LREE and Th during alteration. The Canadian Mineralogist, 38, 67-79.

Förster, H.-J. (2001): Synchysite-(Y)-synchysite-(Ce) solid solutions from Markersbach, Erzgebirge, Germany: REE and Th mobility during high-T alteration of highly fractionated aluminous A-type granites. Mineralogy and Petrology 72 , 259-280.

Frasl, G. & Schindlmayr A. (1995): Strukturell gut erhaltene 2-Magmen-Gänge sowie mafische Enklaven und Grosskörper in den Zentralgneisen des Zillertal-Venediger-Kerns (westliches Tauernfenster / Tirol / Zillertaler Alpen). Geologisch- Paläontologische Mitteilungen der Universität Innsbruck, 20, 121-151.

Gisser, A. (1926): Zur Petrographie der Klausenite, Schleren Schriften, 11, 64.

Haser, F. (1961): Bronzit-Norit-Einschluss im Klausenit. Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 8, 423-438.

Okrusch, M. & Matthes, S. (2009): Phasengleichgewichte und Mineralreaktionen in metamorphen Gesteinen. Mineralogie Lehrbuch, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 425-450.

Ring, U. & Richter, C. (1994): The Variscan structural and metamorphic evolution of the eastern South Alpine basement. Journal of the Geological Society of London, 151, 755-766.

Rofner, V. (2010): Petologie und Geologie des Amphibolit/ Metagabbro Komplexes von Gufidaun (Südtirol, Italien). Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Innsbruck.

Rottura, A., Bargossi, G., Caggianelli, A., Delmoro, A., Visona, D. & Tranne, C. (1998): Origin and significance of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern Southern, Lithos, 45, 329-348.

Vinx, R. (2008): Gesteinsbestimmung im Gelände, Berlin Heidelberg, Springer Verlag.

Zöll, K. (2014): Petrologische und geochemische Untersuchungen der Gesteine der Klausner Dioritintrusion (Klausenit) und seiner Kontaktaureole am Klosterberg Säben. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Innsbruck.