

Aus dem Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz

Die Bildungsbedingungen des Spodumenpegmatites vom Steinbruch Gupper, Koralpe, bei Deutschlandsberg, Weststeiermark

Von Haymo HERITSCH

Mit 1 Tabelle und 7 Abbildungen (im Text)

Eingelangt am 30. März 1984

Inhalt: Von Spodumen aus einem Pegmatit des Steinbruches Gupper in der Koralpe bei Deutschlandsberg, Weststeiermark, werden eine chemische Analyse, kristallchemische Formel und Gitterkonstanten bekanntgegeben. Setzt man die Bildung des Andalusites in Pegmatoiden der Koralpe gleichzeitig mit der Paragenese des Spodumens mit Quarz im Spodumenpegmatit an, so kann man auf eine Entstehung unter verhältnismäßig geringen P-T-Bedingungen (etwa 2–3 Kb, 400 bis 500° C) schließen. Eine Steigerung zur endgültigen Koralpenmetamorphose (etwa über 5 Kb, 600 bis 650° C) wandelt den Andalusit in Disthen um (Paramorphosen), ändert aber die Paragenese Spodumen-Quarz nicht. Die beobachtbare Reaktion: Alkalifeldspat + Lithiumion reagiert zu Spodumen + Quarz + Alkaliion fügt sich diesem Rahmen ein.

In einem Vorbericht, HERITSCH 1982, wurde kurz mitgeteilt, daß in einem Spodumenpegmatit des Steinbruches Gupper bei Deutschlandsberg der Ablauf von Reaktionen zwischen Spodumen und Kalifeldspat bzw. Albit unter Zutritt von Lithiumion und Abfuhr von Kalium- bzw. Natriumion nachgewiesen werden kann. Diese Reaktion und die gesamte Paragenese können genetisch ausgewertet werden.

Der Steinbruch Gupper befindet sich nordwestlich von Deutschlandsberg an der Straße, die zunächst im Talgrund des Wildbachgrabens führt und dann am südlichen Talhang nach Freiland aufsteigt. Kurz nach Beginn dieses Aufstieges, an einer scharfen Straßenkurve liegt der Steinbruch. In der österreichischen Karte 1:50.000, Blatt 189 Deutschlandsberg, ist der Steinbruch mit „Stb“ gekennzeichnet.

Der Pegmatit vom Steinbruch Gupper ist seinerzeit von HÖLLER gefunden und kurz beschrieben worden, HÖLLER 1959. Dieses Vorkommen ist allerdings durch das Fortschreiten des Steinbruchbetriebes praktisch verschwunden. Jedoch gibt es, ebenfalls im Bereich der Koralpe, ein weit größeres Spodumenpegmatitvorkommen an der Weinebene.

Spodumen. Aus altem Aufsammlungsmaterial vom Steinbruch Gupper konnten gute Spodumenkristalle händisch ausgesucht und einer chemischen Analyse zugeführt werden, BREGANT 1982. Das Ergebnis ist in Tab. 1 angeführt. Die Analyse zeigt an den Werten Na_2O und K_2O , daß die händische Trennung von den Alkalifeldspäten sehr wohl gelungen ist, was dann dazu berechtigt, diese Werte in die kristallchemische Formel des Spodumens einzubeziehen. Abgerechnet wurde nur der geringe Betrag von Apatit. Die so berechnete kristallchemische Formel hat aber einen etwas zu hohen SiO_2 -Wert, was auf

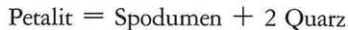
Tab. 1: Spodumen aus Pegmatit, Steinbruch Gupper, Wildbachgraben bei Deutschlandsberg. Chemische Analyse, kristallchemische Formel und Gitterkonstanten.

SiO ₂	65,06	Si	2,039	
TiO ₂	0,02	Al	0,000	2,04
Al ₂ O ₃	26,06	Al	0,963	
Fe ₂ O ₃	0,16	Fe ³⁺	0,004	0,97
FeO	0,18	Li	0,847	
MnO	0,08	Mg	0,011	
MgO	0,23	Fe ²⁺	0,005	
CaO	0,09	Mn	0,002	
Na ₂ O	0,92	Ca	0,001	
K ₂ O	0,08	Na	0,056	0,93
Li ₂ O	6,72	K	0,003	
P ₂ O ₅	0,05			
H ₂ O ⁺	0,41			
	100,06			
a =	9,463 (2) Å	β =	110,09° (2)	
b =	8,402 (1) Å	V =	390,2 (2) Å ³	
c =	5,225 (2) Å			

eingeschlossenen Quarz zurückzuführen sein dürfte; es können nämlich enge Verwachsungen von Quarz und Spodumen auftreten. Ein Vergleich mit den Analysen bei DEER et al. 1978 zeigt aber, daß die vorliegende Spodumenanalyse durchaus entspricht.

Zur Bestimmung der Gitterkonstanten nach einem eigenen Programm standen mit Quarz geeichte Diffraktometeraufnahmen von BREGANT 1982 zur Verfügung. Als Wellenlänge kam $\lambda\text{CuK}\alpha + 1,54178 \text{ \AA}$ zur Verwendung mit Monochromatisierung durch Ni-Filter. Ein Vergleich mit den Daten bei ROOB & MCCARTHY 1980 für Kunzit zeigt nur geringe Abweichungen, die kaum über die Fehlergrenzen hinausgehen.

Paragenese. Im Pegmatit erscheinen als Hauptbestandteile sehr reiner Kalifeldspat und ebenso sehr reiner Albit. In beiden ist das jeweils andere Alkaliion in Elektronenstrahlmikroanalysen nicht nachweisbar. Daneben tritt noch Quarz auf. Alle genannten Hauptbestandteile berühren sich gegenseitig und sind auch mit dem weiteren Hauptbestandteil Spodumen in Kontakt. Besonders hervorzuheben ist auch der direkte Kontakt von großen Quarz- und Spodumenkörnern. Aber auch größere Quarzkörner können als Einschlüsse in Spodumen in der Art von Verwachsungen vorkommen. Es handelt sich dabei um Größenordnungen der Quarzkörner, die weit über den Körnern der unten besprochenen Reaktionszonen liegen. Damit ist die Koexistenz von Spodumen und Quarz gegeben, und es können die experimentellen Ergebnisse von LONDON 1981 bzw. LONDON & BURT 1982 a, b herangezogen werden. Die Bildungsbedingungen des vorliegenden Spodumenpegmatites müssen gegen höhere Drucke über der Gleichgewichtskurve



liegen; vgl. Abb. 1.

Die Reaktion



nach ALTHAUS et al. 1970 ist weder in den umgebenden Schiefergneisen (HERITSCH z. B. 1980) noch im Pegmatit nach rechts abgelaufen, da in Gneisen und Pegmatit Muskovit vorkommt.

Die Gleichgewichtskurve



nach CHATTERJEE 1972 hat für die Pegmatitbildung keine Bedeutung, da im hier zu

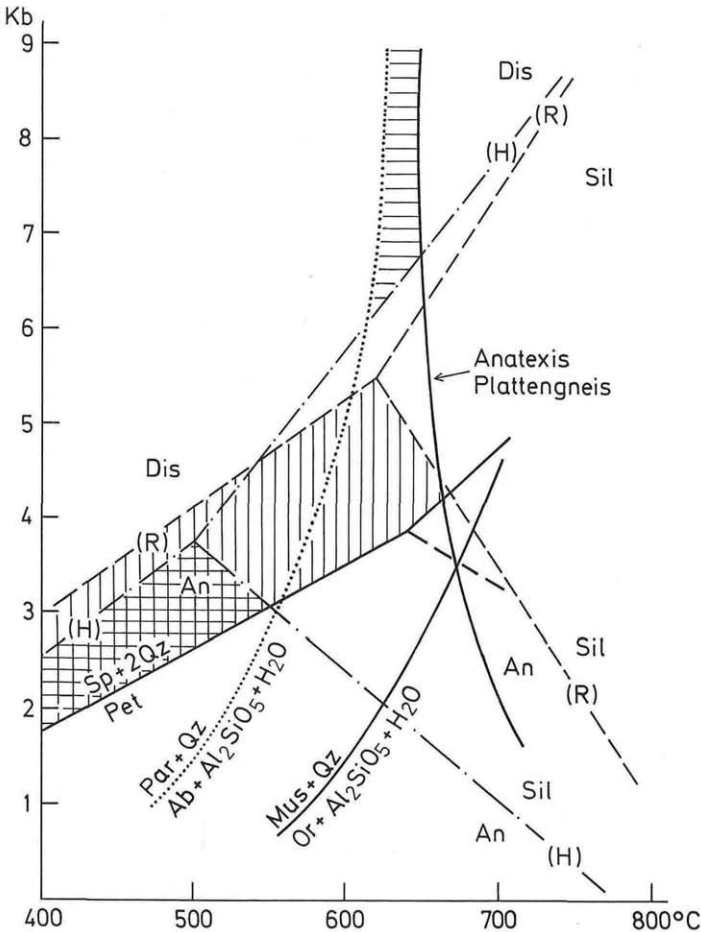
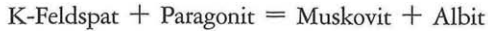


Abb. 1: Gleichgewichtsbedingungen einiger für die Entstehung des Spodumenpegmatites, Steinbruch Gupper, wichtiger Reaktionen. Al_2SiO_5 -Modifikationen nach RICHARDSON et al. 1969 (R) und nach HOLDAWAY 1971 (H), An = Andalusit, Dis = Disthen, Sil = Sillimanit; Petalit = Spodumen + 2 Quarz, Pet = Petalit, Sp = Spodumen, Qz = Quarz, nach LONDON 1981 bzw. LONDON & BURT 1982 a, b; Paragonit + Quarz = Albit + Al_2SiO_5 + H_2O , Par = Paragonit, Ab = Albit, nach CHATTERJEE 1972; Muskovit + Quarz = Kalifeldspat + Al_2SiO_5 + H_2O , Mus = Muskovit, Or = Kalifeldspat nach ALTHAUS et al. 1970; Anatexis des Plattengneises nach PLATEN & HÖLLER 1966. Unter der Annahme, daß der Spodumenpegmatit gleichzeitig und unter den selben Bedingungen wie die Andalusit-Quarzgänge der Koralm entstehen, liegen die Bildungsbedingungen nach HOLDAWAY im karierten Bereich, nach RICHARDSON tritt eine Erweiterung auf den senkrecht schraffierten Bereich ein. Die endgültige Koralm metamorphose erfolgt im horizontal schraffierten Bereich und führt zur Bildung der Paramorphose von Disthen nach Andalusit.

erwartenden Druck- und Temperaturbereich Paragonit und Kalifeldspat nebeneinander nicht stabil sind, sondern nach der Gleichung



zu Muskovit und Albit reagieren, vgl. hiezu WINKLER 1979:211 mit weiteren Literaturangaben, besonders HEMLEY & JONES 1964; auch nach EUGSTER & YODER 1955 sind im System Kalifeldspat – Albit – Korund bei einem Druck von 2 Kb und Temperaturen von 500–600° C Paragonit und Kalifeldspat nicht miteinander stabil, wohl gibt es ein größeres Feld mit Kalifeldspat ss + Albit ss + Muskovit ss, was auch der Beobachtung am vorliegenden Spodumenpegmatit entspricht: Vielfache Elektronenstrahlmikroanalysen an Glimmern des vorliegenden Pegmatites lieferten immer Muskovit. Hingegen ist die Gleichung Paragonit + Quarz = Albit + Al_2SiO_5 + H_2O für die Schiefergneise anwendbar, da diese die Paragenese der rechten Seite zeigen. Diese Gleichgewichtskurve ist in Abb. 1 wegen der Bildungsbedingungen der Schiefergneise (Plattengneise) der Koralpe eingetragen (Abb. 1: horizontal schraffierter Bereich), HERITSCH 1978, 1980).

Weiterhin enthält die Abb. 1 noch – ebenfalls hier nur von Bedeutung für die Schiefergneise – die Kurve der Anatexis der Plattengneise nach PLATEN & HÖLLER 1966, womit eine Begrenzung des Bereiches der Bildungsbedingungen der Schiefergneise gegen höhere Temperaturen gegeben ist.

Die Stabilitätsfelder der Al_2SiO_5 -Modifikationen sind nach RICHARDSON et al. 1969 und HOLDAWAY 1971 ebenfalls in Abb. 1 dargestellt.

Es spricht die allergrößte Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Bildung der Pegmatite bzw. der Pegmatoide, hier also des Spodumenpegmatites, gleichzeitig mit der Bildung der großen (jetzt allerdings zu Disthen paramorphisierten) Andalusitkristalle in „Disthenquarzgängen von pegmatitischem Charakter“ (vgl. ANGEL et al. 1939: LIII oder HERITSCH 1978: 12) gleichzeitig anzusetzen ist. Wenn das der Fall ist, so kann nach Abb. 1 folgendermaßen interpretiert werden:

Der Druck- und Temperaturbereich ist gegen niedrige Drucke durch die Reaktion $\text{Petalit} = \text{Spodumen} + 2 \text{ Quarz}$ und gegen höhere Drucke durch die Phasengrenze Andalusit – Disthen, gegen höhere Temperaturen durch die Phasengrenze Andalusit – Sillimanit begrenzt. Dabei ist allerdings dieser Bereich wegen des Tripelpunktes bei 500° C und 3,76 Kb nach HOLDAWAY 1971 viel kleiner als nach RICHARDSON et al. 1969, die den Tripelpunkt bei 622° C und außerdem bei einem höheren Druck von 5,5 Kb annehmen. Nimmt man die Werte von HOLDAWAY 1971 so erhält man, wie schon von LONDON 1981 ausgeführt, einen Bildungsbereich von etwa 400° C bei 2 Kb bis etwa 500° C bei 3 Kb, kariierter Bereich in Abb. 1. Dieser Bereich erweitert sich beträchtlich bis etwa 600° C bei 3–5 Kb nach den Werten von RICHARDSON et al. 1969, senkrecht schraffierter Bereich.

Wie auch immer handelt es sich bei dieser Bildung des Pegmatites um Bedingungen von verhältnismäßig geringem Druck und wohl auch geringerer Temperatur gegenüber der endgültigen Prägung der Koralpengesteine, die unter Bedingung des in Abb. 1 horizontal schraffierten Bereiches erfolgt, HERITSCH 1978. Bei dieser steigenden Metamorphose wird zwar der Andalusit zu Disthen umgewandelt (Paramorphosen), im Quarz-Spodumengefüge tritt keine Veränderung ein, da diese Paragenese im Spodumen-Quarz-Feld verbleibt, vgl. LONDON 1981 und LONDON & BURT 1982 a, b. Die bemerkenswerte Erhaltung der Kristallgestalt des Andalusites und des Quarz-Spodumengefüges ist wohl so zu erklären, daß die Quarz-Andalusit-Brocken und der Spodumen-Pegmatit während der intensiven Metamorphose im hohen Druck- und Temperaturbereich (horizontal schraffiert in

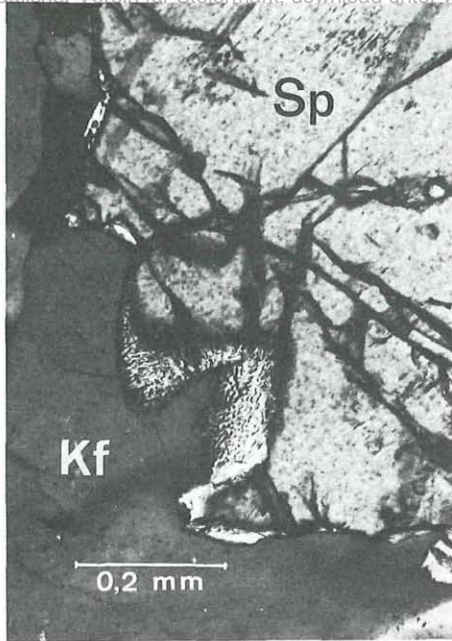


Abb. 2: Lichtmikroskopisches Dünnschliffbild der Reaktionszone zwischen Spodumen und Kalifeldspat nach der Gleichung $KAlSi_3O_8 + Li^{1+}$ wird zu $LiAlSi_2O_6 + SiO_2 + K^{1+}$. Die Trennfläche zwischen Spodumen (Sp) und Kalifeldspat (Kf) geht schief durch den Schliff. Die Reaktionsprodukte haben für eine lichtmikroskopische Bestimmung zu kleine Korngrößen.

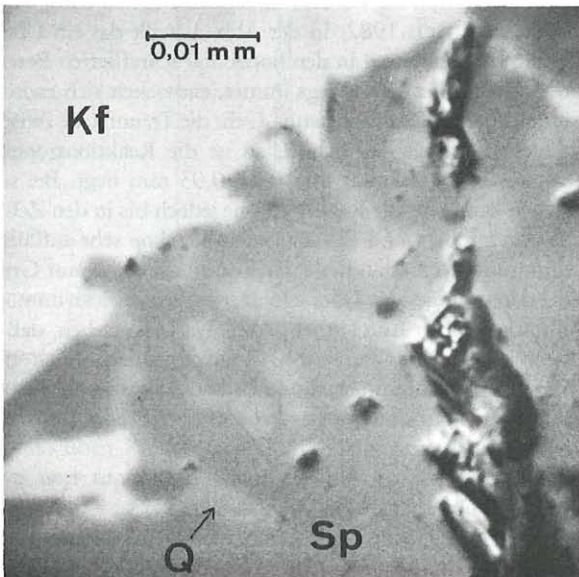


Abb. 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Reaktionszone zwischen Spodumen und Kalifeldspat, vgl. Abb. 2. Sp = Spodumen, Kf = Kalifeldspat, Q = Quarz.

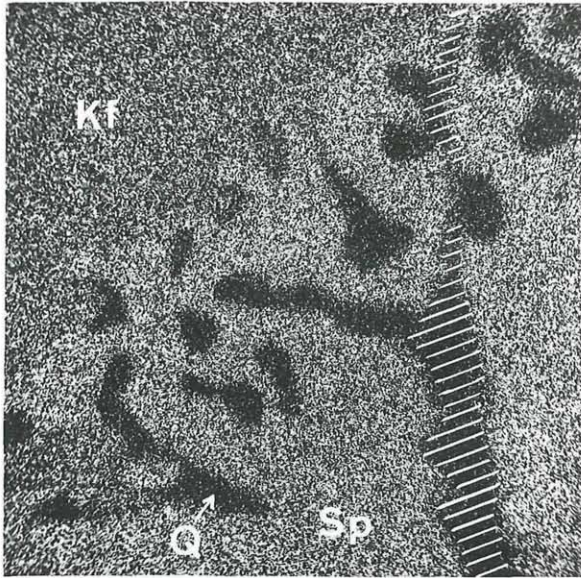


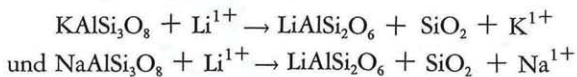
Abb. 4: Al-Verteilung der in Abb. 3 gezeigten Reaktionszone. Der Al-reichere Spodumen (Sp) ist heller als der Al-ärmere Kalifeldspat (Kf), Quarz bleibt ganz dunkel.

Abb. 1) in den plastisch sich verhaltenden Schiefen wie starre Körper eingebettet sind. Ähnliches gilt ja auch für die Metagabbros der Koralpe.

In Fazies ausgedrückt kann man die Pegmatit- und Andalusitbildung in der Quarz-Andalusit-Plagioklas-Chlorit-Subfazies des Abukuma-Typs und die Steigerung in die endgültige Koralpenmetamorphose in der Almandin-Disthen-Muskovit-Subfazies der Barrow-Typs ansetzen, HERITSCH 1982. In der Abb. 1 heißt das ein Übergang aus dem senkrecht schraffierten, bzw. karierten in den horizontal schraffierten Bereich.

Reaktionen. Häufig, aber keineswegs immer, entwickelt sich zwischen Spodumen und Albit bzw. Kalifeldspat ein Reaktionssaum. Geht die Trennfläche zwischen Spodumen und Feldspäten senkrecht durch den Schliff, so ist die Reaktionszone nur schwer zu erkennen, da sie in der Größenordnung von 0,01–0,03 mm liegt. Bei schief im Schliff liegenden Trennflächen kann sich die Reaktionszone jedoch bis in den Zehntelmillimeterbereich nur scheinbar vergrößern und ist dann im Mikroskop sehr auffällig, vgl. Abb. 2. Eine optische Bestimmung der Bestandteile der Reaktionszone ist auf Grund der kleinen Korngrößen und der daraus folgenden Überlagerung der Schliffdicke unmöglich. Aber aus rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen, Abb. 3, ist zu ersehen, daß der Spodumen die Feldspäte lappenförmig verdrängt; in Abb. 2 und 3 handelt es sich um Kalifeldspat.

Daher muß Zufuhr von Lithiumionen und Abwanderung von Kalium- bzw. Natriumionen längs Integranularen angenommen werden:



Es wird somit Quarz ausgeschieden, der auch durch Elektronenstrahlmikroanalysen in den Reaktionsprodukten nachzuweisen ist, vgl. Abb. 4 und 6.

Trotz zahlreicher Versuche gelang es nicht, für die rasterelektronenmikroskopischen Bilder in den Reaktionszonen Stellen zu finden, die im Spodumen keine durch den

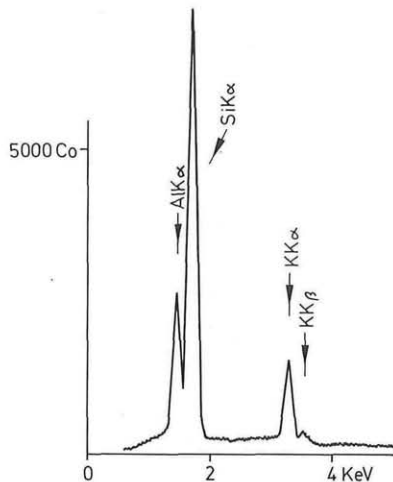


Abb. 5: Elektronenstrahlmikroanalyse von Kalifeldspat an der in Abb. 3 und 4 an der mit Kf bezeichneten Stelle. Ein eventueller, sehr geringer Na-Gehalt liegt unter der Nachweisbarkeitsgrenze.

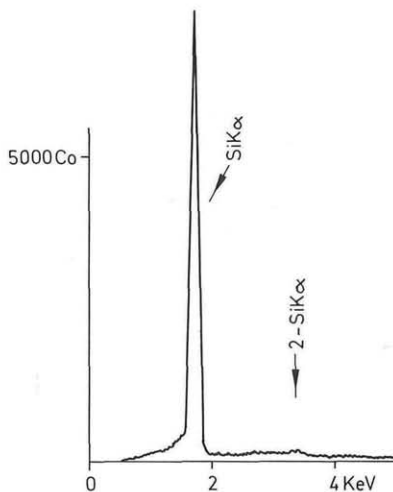


Abb. 6: Elektronenstrahlmikroanalyse von Quarz an der in Abb. 3 und 4 mit Q bezeichneten Stelle.

Polierprozeß hervorgerufenen Ausbrüche (Löcher) zeigen. In der Abb. 3 sind zwei solcher Ausbrüche gut zu erkennen, in der zugehörigen Al-Verteilung der Abb. 4 sind dieselben Stellen, die auf Grund ihrer Tiefe keine Sekundär-Strahlung liefern, schräg schraffiert. In der Abb. 3 ist links oben Kalifeldspat, die Reaktionszone läßt deutlich etwas helleren, schlauchförmigen und rundlichen Quarz in dunklerem Spodumen erkennen. In der Al-Verteilung der Abb. 4 ist der Al-reichere Spodumen deutlich heller als der Al-ärmere Kalifeldspat, der Quarz bleibt natürlich ganz dunkel. Die Elektronenstrahlmikroanalysen der Abb. 5 und 6 sind als Analysen von Kalifeldspat und Quarz in sich verständlich. Zur Abb. 7, Analyse des Spodumens, ist zu bemerken, daß Lithium durch die Elektronenstrahlmikroanalyse nicht erfaßt werden kann.

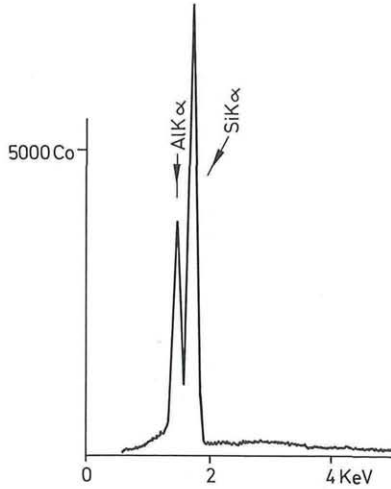
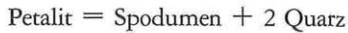


Abb. 7: Elektronenstrahlmikroanalyse von Spodumen an der in Abb. 3 und 4 mit Sp bezeichneten Stelle. Li ist nicht erfäßbar.

Da durch die geschilderten Reaktionen Spodumen + Quarz entsteht, müssen sie im P-T-Bereich über der Gleichgewichtskurve



abgelaufen sein, vgl. LONDON 1981, LONDON & BURT 1982 a, b.

Deutung. Nach der Abb. 1 ist es durchaus möglich, die Bildung der hier beschriebenen Reaktionszone an das Ende der ersten Pegmatitbildung bei verhältnismäßig niedrigem Druck und niedriger Temperatur zu stellen (nach HOLDAWAY 1971 etwa 400 bis 500° C bei 2–3 Kb, kariierter Bereich in Abb. 1, nach RICHARDSON et al. 1969 etwa 400 bis 600° C bei 2–5 Kb, senkrecht schraffierter und kariierter Bereich in Abb. 1), während mit Li^{1+} beladene fluide Phasen in den Intergranularen zirkulieren. Eine folgende stärkere (Koralpen-)Metamorphose (horizontal schraffierter Bereich in Abb. 1) ändert an der auch hier stabilen Mineralkombination Spodumen + Quarz nichts.

Es ist auch möglich, die Pegmatitbildung bei den niedrigen P-T-Bedingungen als abgeschlossen zu betrachten und die Reaktionszonen erst bei den höheren Bedingungen der (Koralpen-)Kristallisation durch Wiederaufleben der Tätigkeit fluider Phasen in den Intergranularen zu erklären.

Abschließend sei bemerkt, daß völlig gleiche Reaktionszonen zwischen Spodumen und Albit bzw. Alkalifeldspat auch in dem großen Pegmatitvorkommen im Bereich der Weinebene, Koralpe, zu beobachten sind. Ebenso ist es sehr wahrscheinlich, daß es sich bei den von KOLLER et al. 1983 beobachteten „myrmekitischen Verwachsungen von Spodumen mit Albit“ bzw. mit Quarz in Pegmatiten des Kristallins von Radegund um dieselben Erscheinungen handelt; bei KOLLER et al. 1983 auch weitere Literaturhinweise.

Dank

Zur Ausführung dieser Arbeit standen mir die Mittel des Institutes für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz, Vorstand Frau Professor Dr. Eva-Maria WALITZI, zur Verfügung. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. P. GOLOB, seinem

Mitarbeiter Herrn P. BAHN sowie dem Direktor des Institutes für Elektronenmikroskopie in Graz Herrn Dr. H. HORN für die Herstellung der Aufnahmen und Analysen.

Literatur

- ALTHAUS E., KAROTKE E., NITSCH K. H. & WINKLER H. G. F. 1970. An Experimental Re-examination of the Upper Stability Limit of Muscovite plus Quartz. – N. Jb. Miner. Mh., 1970: 325–336.
- ANGEL F., MEIXNER H. & WALTER L. 1939. Über den Lehrausflug zur Kristallinsel von Radegund bei Graz, 26. August 1938. – Fortschr. Miner. Krist. Petr., 23: XLVII–LIV.
- BREGANT M. 1982. Mineralogische Untersuchungen an Spodumen vom Steinbruch Gupper, Wildbachgraben bei Deutschlandsberg. – Lehramtsprüfungshausarbeit Univ. Graz.
- CHATTERJEE N. D. 1972. The Upper Stability Limit of the Assemblage Paragonite + Quartz und Its Natural Occurrences. – Contr. Min. Petrol., 34: 288–303.
- DEER W. A., HOWIE R. A. & ZUSSMAN J. 1978. Rock-forming Minerals, Single-Chain Silicates, Vol. 2A, 2nd ed. – Longmans, London.
- EUGSTER H. P. & YODER H. S. 1955. The join Muscovite-Paragonite. – Carnegie Institution of Washington Year Book, 54: 124–127.
- HEMLEY J. J. & JONES W. R. 1964. Chemical Aspects of hydrothermal Alteration with Emphasis on Hydrogen Metasomatism. – Economic Geology, 59: 538–569.
- HERITSCH H. 1978. Die Metamorphose des Schiefergneis-Glimmerschiefer-Komplexes der Koralpe, Steiermark. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 108: 19–30.
- HERITSCH H. 1980. Einführung zu Problemen der Petrologie der Koralpe. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum 41: 9(213)–44(248).
- HERITSCH H. 1982. Vorbericht über Untersuchungen an Alkalifeldspat des Stainzer Plattengneises und an Spodumen-Pegmatit, Koralpe, Weststeiermark. – Anz. Österr. Akad. Wiss. math.-naturwiss. Klasse 8: 129–131.
- HOLDAWAY M. J. 1971. Stability of Andalusite and the Aluminium Silicate phase diagramm. – American Journal of Science 271: 97–131.
- HÖLLER H. 1959. Ein Spodumen-Beryll-Pegmatit und ein mineralreicher Marmor im Wildbachgraben bei Deutschlandsberg. – Mineralogisches Mitteilungsblatt, Joanneum Graz 1959/1: 19.
- KOLLER F., GÖTZINGER M. A., NEUMAYER R. & NIEDERMAYER G. 1983. Beiträge zur Mineralogie und Geochemie der Pegmatite des St. Radegunder Kristallins und der Gleinalpe. – Arch. f. Lagerstättenforschung, Geol. B.-A., Wien, 3: 47–65.
- LONDON D. 1981. Preliminary experimental results in the system $\text{LiAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. – Carnegie Inst. Washington Yearbook, 80: 341–345.
- LONDON D. & BURT D. M. 1982 a. Lithium aluminosilicate occurrences in pegmatites and the lithium aluminosilicate phase diagramm. – American Mineralogist 67: 483–493.
- LONDON D. & BURT D. M. 1982 b. Chemical models for lithium aluminosilicate stabilities in pegmatites and granites. American Mineralogist 67: 494–509.
- PLATEN H. v. & HÖLLER H. 1966. Experimentelle Anatexis des Stainzer Plattengneises von der Koralpe, Steiermark, bei 2, 4, 7 und 10 Kb H_2O -Druck. – N. Jb. Miner. Abh., 106: 106–130.
- RICHARDSON S. W., GILBERT M. C. & BELL P. M. 1969. Experimental Determination of Kyanite, Andalusite and Andalusite-Sillimanite Equilibria; The Aluminium Silicate Triple Point. – Amer. J. Sci., 267: 259–272.

ROOB C. & MCCARTHY. 1980. Zitiert in: Mineral Powder Diffraction File, Group book, JCPDS, 1983, Swarthmore.

WINKLER H. G. F. 1979. Petrogenesis of Metamorphic Rocks, 5th ed. – Springer, York, Heidelberg, Berlin.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Haymo HERITSCH, Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität, Universitätsplatz 2, 8010 Graz, Österreich.