

Aus dem Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico  
da Universidade de Coimbra (Portugal)

**Genese des zonar gebauten Beryllpegmatits  
von Venturinha (Viseu, Portugal) in geochemischer Sicht\***

Von

**J. M. CORREIA NEVES**

Mit 17 Textabbildungen

(Eingegangen am 28. August 1963)

**Inhaltsübersicht**

	Seite
Abstract . . . . .	357
Einleitung . . . . .	358
Geochemie des Venturinhapegmatits . . . . .	361
I. Verteilung der untersuchten Elemente . . . . .	362
1. Rb und K . . . . .	362
2. Verhältnis K/Rb . . . . .	364
3. Ba. . . . .	365
4. K/Ba und Rb/Ba-Verhältnisse . . . . .	367
5. Ca . . . . .	368
6. Sr . . . . .	368
7. Pb. . . . .	369
II. Kristallisationsfolge und Genese des Venturinhapegmatits . . . . .	369
Literatur . . . . .	372

**Abstract**

We present the geologic map of the region of Venturinha (Penalva do Castelo, Viseu), located in the Hercynian Massif, where there are the following outcrops: porphyritic granite, adamellite, aplites, pegmatites with beryl, tantalite and phosphate minerals, quartz veins and alluvium.

Occurring in this region, bedded in porphyritic granite, are pegmatites and aplites which are occasionally intimately associated. Pegmatites and aplites, when bedded in adamellite, are very rare and very small in dimensions.

The most important pegmatite is that of Venturinha. It has a zoned structure, passing without any break to the bedding porphyritic granite. Particularly well noticeable and well limited are the wall zone, intermediate zone and core as well as the replacement bodies which are very irregular.

This pegmatite was studied from the structural, mineralogical, geochemical and genetic points of view.

We have quantitatively determined by X-ray spectrography K, Ca, Rb, Sr and Ba in 46 samples of potash-feldspars and albites in the Venturinha pegmatite; and also, by emission spectrography, Pb in these same samples. For all these elements we used the internal standard method.

The results obtained, after being transformed into components Or, An and Ab and projected in YODER's et al. diagram (1957) define two areas, one in the field of feldspars rich in Ab—An and the other in the field of feldspars rich in Ab—Or.

Apart from K and Ca, among those elements studied, that which appears in a higher percentage is Rb, followed in decreasing order by Ba, Sr and Pb.

As regards Rb we found that there is a noticeable and progressive increase from the orthoclase of the bedding porphyritic granite (480 ppm) to the core of the pegmatite where the potash-feldspars reach up to 2000 ppm of the above element.

\* Herrn Prof. Dr. CARL W. CORRENS zum 70. Geburtstag gewidmet.

The variation of the quantity of Ba in pegmatite is much more irregular than that of Rb, although we have noticed that there is a tendency for Ba to decrease as we get nearer to the core.

The percentage of Ca in potash-feldspars goes from 0,54% in porphyritic granite to the average value of 0,28% in pegmatite. We have not observed, as in the case of Rb, a gradual variation of Ca in the pegmatitic formation, whether in the potash-feldspars or in the albites, where the average contents in Ca is 0,47%.

The distribution of Sr and Pb in pegmatite is very irregular.

There is a close geochemical connection between K and Rb, K and Ba, and Rb and Ba in the Venturinha pegmatite.

The interpretation of the results obtained by spectrography lead to the following conclusions:

a) The relation K/Rb in the potash-feldspars gives us values which are much below the average (220—230) and this shows the great differentiation occurred in the Venturinha pegmatite. The distribution of K in function of Rb defines, in accordance with the degree of differentiation attained, an area located at the right hand side of the curves of normal dispersion (AHRENS et al. 1952) altered by TAYLOR et al. (1956).

The values of the relation K/Rb in the albites studied fall, most of them, within the limits of the above normal dispersion.

b) We have found in potash-feldspars that the relation Rb/Ba is a good indication of differentiation attained in the Venturinha pegmatite, as TAYLOR and HEIER (1960) had noticed in other pegmatites and rocks. We also found that the relation K/Ba can as well be considered a sign of magmatic differentiation. The values of the previous relations are different in potash-feldspars and in albites.

c) In accordance with the observations of HEIER and TAYLOR (1959) we find a bareness of Sr in relation to Ca in the course of differentiation, the high values of the relation Ca/Sr showing a higher degree of differentiation.

Given the values of Ca and Sr in function of each other we found that they fall within the interval of dispersion stated by TUREKIAN and KULP (1956) for these elements.

d) The relation between Ba and Sr allows us to define two groups of feldspars located, one on the right and the other on the left side of the line of correlation as established by HEIER and TAYLOR (1959) for the relation of those two elements.

Based on reasons of the geologic, petrographic, structural, paragenetic and geochemical order which are detailed in the text, we conclude that the Venturinha pegmatite was formed by fractional crystallization, within a practically closed system, of a pegmatitic magma derived from the magma which originated the bedding porphyritic granite. The sequence of crystallization is summarised in Table 1.

### Einleitung

Das untersuchte Gebiet liegt in der Nähe von Penalva do Castelo, Distrikt von Viseu, Provinz Beira-Alta (Abb. 1).

Die Pegmatite der Region von Venturinha kommen im porphyroiden Biotitgranit der Kalk-Alkalireihe eingelagert vor. Mit diesem Granit vergesellschaftet, jedoch ohne genetische Beziehung zu ihm, findet sich ein Zweiglimmeradamellit mit dem Symbol 227'' P nach der Johannsenschen Systematik. Mit dem Adamellit vergesellschaftet existieren keinerlei Pegmatite von Bedeutung.

In dem kartierten Gebiet kommen auch aplit-pegmatitische Assoziationen, teilweise von erheblicher Ausdehnung vor (Abb. 2).

Die Eruptivgesteine der Gegend gehören zur variszischen Orogenese; der porphyroide Granit ist spät syntektonisch intrudiert. Wie aus den von mir unternommenen strukturellen, mineralogischen und geochemischen Untersuchungen zu schließen ist (CORREIA NEVES 1962), entsprechen die Pegmatite der Schlußphase der Magmendifferentiation, die den porphyroiden Granit der Region hervorbrachte.

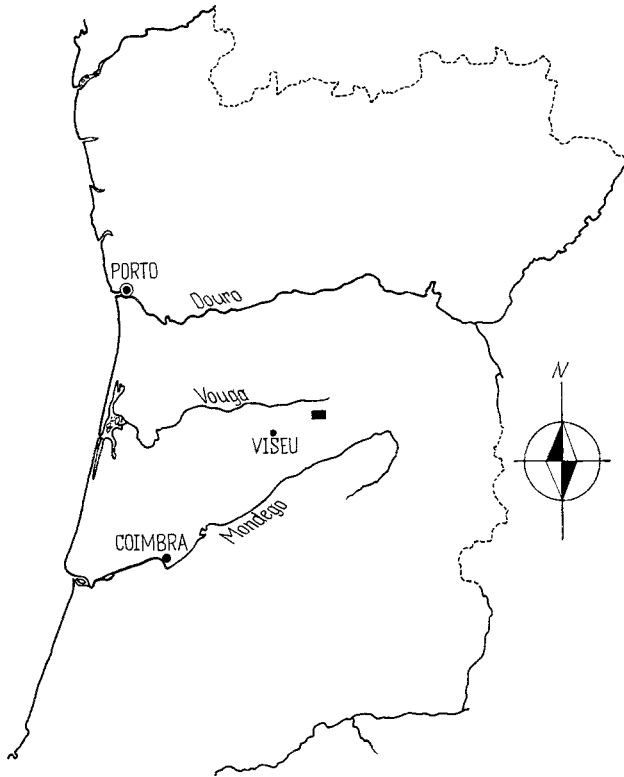


Abb. 1. Das untersuchte Gebiet von Venturinha (■)

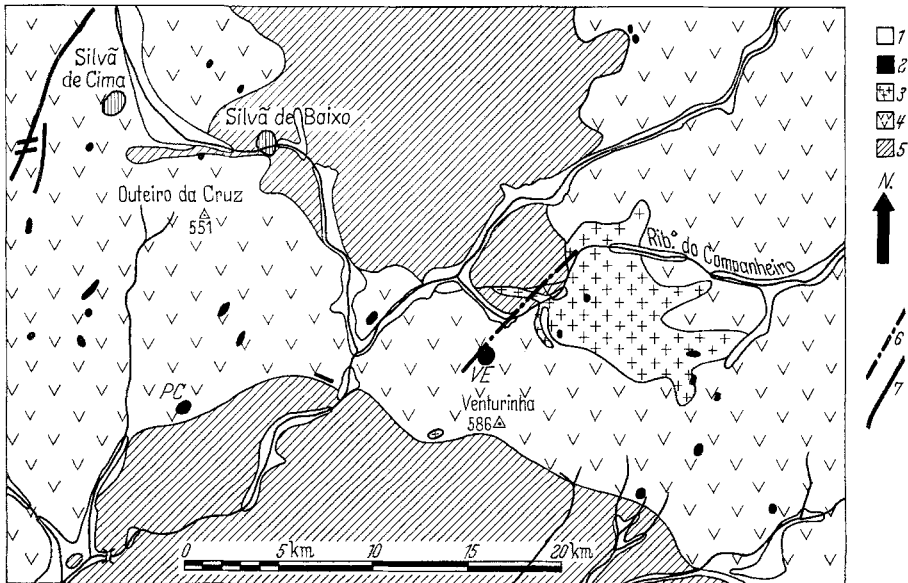


Abb. 2. Geologische Karte der Umgebung des Venturinhapegmatits. 1 Alluvium; 2 Pegmatit; 3 Aplitpegmatitischer Komplex; 4 Porphyroider Granit; 5 Adamellit; 6 Verwerfung; 7 Quarzgang

Tabelle 1. *Kristallisationsfolge im Venturinhapegmatit*

Zonen	Randzone	Wandzone	Zwischenzone	Kern	Verdrängungskörper		Supergene Phase
Phasen nach FERSMAN	epimagmatisch	graphisch	pegmatoidisch		überkritisch	hydrothermal	
Temperaturen nach FERSMAN	B 800°—700°	C 700°—600°	D 600°—500°	E	F 500°—400°	G H I K 400°—50°	L 50°
<i>Minerale</i>							
Biotit	—	—					
Mikroclin	—	—	—	—			
Orthoklas	?	?	—	—			
Beryll			—	—			
Tantalit			—	—			
Milchquarz	—	—	—	—	—		
Rosenquarz					—		
Muskovit			—	—	—	—	
Albit					—	—	
Triplit-Zwieselit					—	—	
Granat					—		
Molybdänit						?	
Apatit I						—	
Isokit						—	
Rockbridgeit						—	
Apatit II						—	
Chlorit						—	
Pyrit						—	
Autunit							—
Kaolinit							—
Fe u. Mn Sekundärprodukte							—

Die alpidische Tektonik verwarf fast alle Gesteine des Gebietes und bedingte so das Fluß-System der Gegend.

Von allen aufgeschlossenen Pegmatiten der Gegend ist der von Venturinha (VE) der bedeutendste. Er hat linsenförmige Gestalt, die Dimension des größten zu Tage aufgeschlossenen Teiles beträgt 50 m und liegt im porphyroiden Granit. Die Wandzone besteht aus Schriftgranit. Darin und neben dem porphyroiden Granit kommen klingentartige Einsprengungen von Biotit vor. Diese Zone, die 26,5% Quarz enthält, hat eine Mächtigkeit von ca. 3 m, die sich dem Aufschluß entlang bemerkenswert konstant erhält. Es folgt die Zwischenzone mit ca. 4 m

Mächtigkeit, worin die Kalifeldspatkristalle metergroße Dimensionen erreichen. In dieser Zone lassen sich zwei Subzonen beobachten, von denen die eine, die äußere, Feldspat- und Quarzkristalle geringerer Dimensionen und die andere, mehr in der Nähe des Quarzkernes, die betreffenden Minerale in größeren Dimensionen enthält. Die im oberen Teil des Quarzkernes enthaltenen Kalifeldspäte nehmen großemäßig wieder ab. Das entspricht einer von JAHNS (1953) statistisch belegten Charakteristik von siebenundzwanzig Pegmatiten von Arizona (USA).

In der Zwischenzone lassen sich auch ziemlich viele, besonders aus Albit bestehende Verdrängungskörper beobachten.

In der Tabelle I sind in genetischer Folge die im Pegmatit vorkommenden Minerale wiedergegeben.

### Geochemie des Venturinhapegmatits

Um die geochemischen Gesetzmäßigkeiten der Mineralausscheidung des Pegmatits von Venturinha zu untersuchen, wurden aus dem umgebenden porphyroiden Granit und dem Pegmatit 45 Feldspatproben gesammelt, zum größten Teil Kalifeldspäte, die mineralogisch und geochemisch untersucht wurden. Die Fundstelle der Proben ist genau angegeben (Abb. 3).

Die untersuchten Kalifeldspäte sind perthitisch und haben Triklinitätsgrade, die zwischen 0 und 1 schwanken (Abb. 4); in ihnen, sowie in einigen Exemplaren von Albit, wurden die Elemente K, Ca, Rb, Sr, Ba und Pb spektrographisch bestimmt, die ersten fünf durch Röntgenspektrographie und Pb durch Emissionsspektralanalyse.

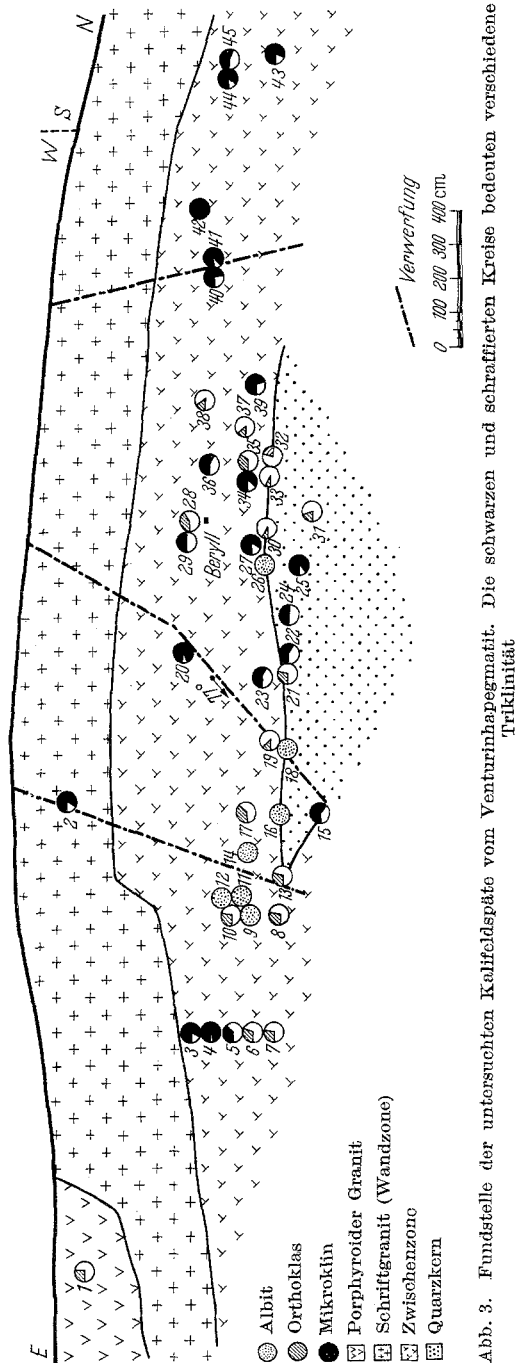


Abb. 3. Fundstelle der untersuchten Kalifeldspäte vom Venturinhapegmatit. Die schwarzen und schraffierten Kreise bedeuten verschiedene Triklinität

Die erhaltenen Werte sind in Tabelle 2 eingetragen. Aus diesen Resultaten wurde gewichtsmäßig der Prozentsatz berechnet, der den Bestandteilen Or, An,  $\text{RbAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ,  $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ,  $\text{PbAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  und, durch Differenz von 100, Ab entspricht (Tabelle 3). Diese im Diagramm von YODER et al. (1957) eingetragenen Werte definieren zwei Gruppen von Feldspäten, einen reich an Ab und einen anderen reich an Ab-Or (Abb. 5).

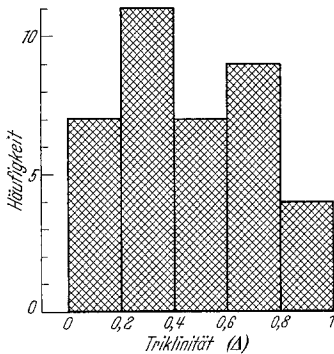


Abb. 4. Verteilungskurve der Triklinität ( $\Delta$ ) der untersuchten Kalifeldspäte von Venturinha.

### I. Verteilung der untersuchten Elemente

1. Rb und K. Wie bekannt ist, wird die geochemische Verteilung des Rb stark von der des K beeinflusst.

In den Kalifeldspäten des Pegmatits von Venturinha läßt sich beobachten, daß das Rb vom porphyroiden Granit bis zum Quarzkern des Pegmatits fortschreitend zunimmt. Einige scheinbare Ausnahmen, wie die, die man in den Proben 20, 38 und 42 aus dem oberen Teil der Zwischenzone feststellen kann, lassen sich durch die geringere Perthitisierung der entsprechenden Kalifeldspäte erklären.

Tabelle 2. Gefundene Werte für K, Ca, Rb, Sr, Pb und Ba. [(—) nicht bestimmt]

Probe	K %	Ca %	Rb ppm	Sr ppm	Pb ppm	Ba ppm
1	10,0	0,54	480	180	39	960
2	11,0	0,29	970	20	—	105
3	10,75	0,29	1050	9,5	24,5	140
4	10,0	0,25	1250	5	31	56
5	10,25	0,26	1650	6	14	100
6	10,75	0,245	1750	6,5	11,8	100
7	11,75	0,265	1900	7,5	17	70
8	11,25	0,27	1770	32	18	100
9	0,78	0,55	64	38	5	80
10	10,7	0,28	1450	25	20	120
11	1,0	0,415	62	16	10,5	54
12	0,78	0,51	47	9	7,4	72
13	11,7	0,27	2200	24	18	52
14	0,9	0,35	88	8,2	6,2	70
15	11,75	0,28	2050	55	17	450
16	0,9	0,49	33	14	12	84
17	10,75	0,275	1570	<5	14,5	62
18	0,83	0,54	40	39	7,3	70
19	10,75	0,27	1350	6,4	12,5	73
20	12,4	0,34	1400	47	2,3	88
21	11,2	0,26	1810	10	15	70
22	—	—	1520	33	14,3	88
23	10,75	0,27	1770	<5	24,5	105
24	11,6	0,285	2100	16	15,3	74
25	12,4	0,325	1820	120	3,8	130
26	1,04	0,48	70	6,8	6,4	70
27	11,0	0,26	1520	33	7,2	115
28	10,75	0,27	1700	<5	7,3	45
29	—	—	1670	<5	7,6	68
30	11,75	0,27	1900	6	11,2	60
31	11,6	0,27	2250	28	11	64
32	11,2	0,27	1950	6,6	13,3	19
33	—	—	2050	7,4	10,5	39
34	11,4	0,285	1950	25	3,3	110
35	—	—	2060	6,8	7,4	94
36	10,75	0,27	1750	<5	8,3	105
37	11,3	0,26	1650	5,4	22,5	62
38	11,4	0,27	1820	<5	14	90
39	11,6	0,315	1380	20	20,5	120
40	11,6	0,28	1450	6,6	6,6	66
41	—	—	1250	8,2	3,1	84
42	13,1	0,38	1600	15	42,5	215
43	11,5	0,325	1620	9,6	5	86
44	11,75	0,27	1500	15,5	6,2	110
45	—	—	1500	6,8	6,6	86
Albit VE	0,88	0,45	—	—	—	—

Die Häufigkeit bestimmter Rb-Werte in den untersuchten Proben ist in Abb. 6 wiedergegeben. Was die Rb-Menge anbetrifft, lassen sich zwei Gruppen beobachten, eine der Kalifeldspäte mit größerer Anreicherung an Rb, und eine andere der Albite. Die meisten Kalifeldspäte enthalten Mengen von Rb, die

zwischen 1580 ppm und 2500 ppm schwanken, und die den tiefsten in dem Pegmatit entsprechen. Bemerkenswert ist die besondere Stellung des Orthoklases des porphyroiden Granits, der ärmer an Rb ist als die Kalifeldspäte des Pegmatits.

Tabelle 3. Berechnete chemische Zusammensetzung der untersuchten Feldspäte von Venturinha

Probe	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> %	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> %	RbAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> %	SrAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> %	BaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> %	PbAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> %	Total	Ab = 100— (Or + An)	Triklinität Δ
1	71,22	3,74	0,18	0,06	0,26	< 0,01	75,47	24,53	0,23
2	78,34	2,01	0,36	< 0,01	0,02	—	80,74	19,26	0,76
3	76,56	2,01	0,39	—	0,03	< 0,01	79,00	21,00	0,73
4	71,22	1,73	0,47	—	0,01	< 0,01	73,44	26,56	0,85
5	73,00	1,80	0,62	—	0,02	—	75,44	24,56	0,34
6	76,56	1,70	0,66	—	0,02	—	78,94	22,06	0,23
7	83,68	1,84	0,72	—	0,01	—	86,25	13,75	0,24
8	80,12	1,87	0,67	0,01	0,02	—	82,69	17,31	0,24
9*	5,55	3,81	0,02	0,01	0,02	—	9,41	90,59	—
10	76,21	1,94	0,55	0,01	0,03	< 0,01	78,75	21,25	0,24
11*	7,12	2,88	0,02	< 0,01	0,01	—	10,04	89,96	—
12*	5,55	3,54	> 0,01	—	0,01	—	9,11	90,89	—
13	83,33	1,87	0,83	~ 0,01	0,01	—	86,05	13,95	0,26
14*	6,41	2,42	0,03	—	0,01	—	8,87	91,13	—
15	83,68	1,94	0,77	0,02	0,12	—	86,53	13,47	0,54
16*	6,41	3,40	0,01	< 0,01	0,02	—	9,85	90,15	—
17	76,56	1,90	0,59	—	0,01	—	79,06	20,94	0,34
18*	5,91	3,74	0,01	0,01	0,01	—	9,68	90,32	—
19	76,56	1,87	0,51	—	0,01	—	78,95	21,05	~ 0
20	88,31	2,35	0,53	> 0,01	0,02	—	91,22	8,78	0,84
21	79,77	1,80	0,68	—	0,01	—	82,26	17,74	0,26
23	76,56	1,87	0,67	—	0,02	< 0,01	79,13	20,87	0,49
24	82,62	1,97	0,79	< 0,01	0,02	—	85,41	14,59	0,44
25	88,31	2,25	0,69	0,04	0,03	—	91,32	8,68	0,81
26*	7,40	3,40	> 0,02	—	0,01	—	10,84	89,17	—
27	78,34	1,80	0,57	0,01	0,03	—	80,75	19,25	0,74
28	76,56	1,87	0,64	—	0,01	—	79,08	20,92	0,36
31	82,62	1,87	0,85	0,01	0,01	—	85,36	14,64	0,18
30	83,68	1,87	0,72	—	0,01	—	86,28	13,72	~ 0
32	79,77	1,87	0,74	—	< 0,01	—	82,39	17,61	0,18
34	81,19	1,97	0,74	0,01	0,03	—	83,94	16,06	0,76
36	76,56	1,87	0,66	—	0,02	—	79,11	20,89	0,51
37	80,48	1,80	0,62	—	0,01	< 0,01	82,92	17,08	~ 0
38	81,19	1,87	0,69	—	0,02	—	83,77	16,23	0,13
39	82,62	2,18	0,52	< 0,01	0,03	< 0,01	85,37	14,63	0,63
40	82,62	1,94	0,55	—	0,01	—	85,12	14,88	0,64
42	93,30	2,63	0,60	< 0,01	0,05	~ 0,01	96,60	3,40	0,89
43	81,90	2,25	0,61	—	0,02	—	84,78	15,22	0,71
44	83,68	1,87	0,56	< 0,01	0,03	—	86,15	13,85	0,79

\* Albite.

Die Häufigkeit der Verteilung des K in den untersuchten Proben wird auf dieselbe Weise wie die des Rb in der Abb. 7 dargestellt. Was die Menge des K anbetrifft, werden ebenfalls zwei Gruppen beobachtet, genauso wie beim Rb, eine der Kalifeldspäte und eine andere der Albite. Die Prozentgehalte des K aller Kalifeldspäte liegen zwischen 10 und 15,8% und der höchste gefundene Wert war der bei Probe 42, die 13,1% K enthält.

2. *Verhältnis K/Rb.* Die zwischen K und Rb bestehende Beziehung wird gewöhnlich graphisch dargestellt nach AHRENS et al. (1952) wie in Abb. 8. In der Abb. 8 gibt die dicke Linie den Durchschnittswert an, den das Verhältnis

K/Rb für die verschiedenen üblichen geologischen Gesteinskomplexe annimmt, und die gestrichelten Linien die Variationsbreite dieses normalen Durchschnittsverhältnisses (220—230).

GOLDSCHMIDT et al. (1934) haben schon den Wert 230 für das Verhältnis K/Rb in Meeres-sedimenten gefunden, und ähnliche Werte in magmatischen

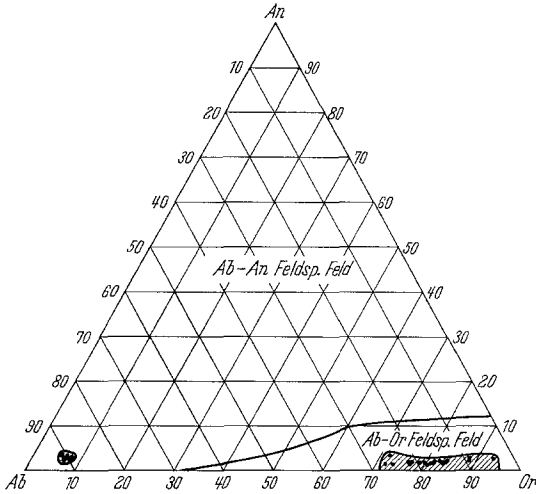


Abb. 5. Zusammensetzung der Feldspäte von Venturinha eingetragen auf dem Diagramm von YODER et al. (1957)

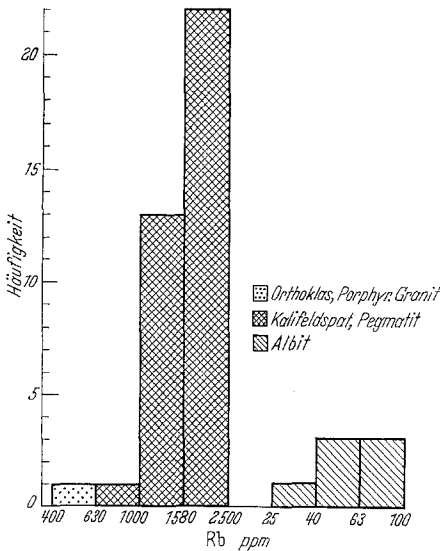


Abb. 6. Verteilungskurve des Rb (ppm) in den Venturinha-feldspäten

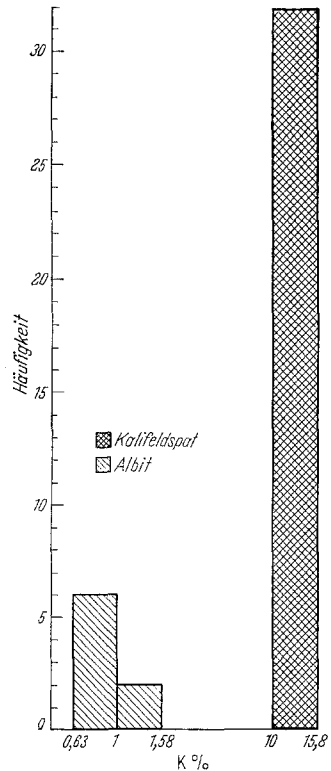


Abb. 7. Häufigkeitsdiagramm des K (%) der Venturinhafeldspäte

Gesteinen, aber man verdankt AHRENS et al. (1952) die allgemeine Untersuchung dieser Beziehung in Graniten, Diabasen, Basalten, Gabbros und Meteoriten.

Da die heute angenommenen Werte für Rb in den Standardproben G—1 und W—1 niedriger sind als die von AHRENS et al. (1952) gebrauchten, haben die Geraden in der Abb. 8 schon die von TAYLOR et al. (1956) eingeführte parallele Verschiebung.

Die Konstanz der Beziehung K/Rb in zahlreichen geologischen Formationen ist von vielen Forschern bestätigt worden.

Die Anreicherung an Rb ist seit langem in Formationen pegmatitischer oder hydrothormaler Herkunft bekannt und zeigt extreme Differentiationsphasen an.

In allen Fällen, in denen Anreicherung an Rb festzustellen ist, ist das Verhältnis K/Rb kleiner als normal und seine Darstellung im Diagramm nach AHRENS et al. (1952) liegt rechts von den Geraden, die das Feld der normalen Verteilung begrenzen.

Normale Werte des Verhältnisses K/Rb lassen sich im Orthoklas des porphyroiden Granits und in fast allen untersuchten Albiten des Pegmatits finden. Die übrigen Kalifeldspäte geben Verhältnisse, deren graphische Darstellung die gestrichelte Fläche der Abb. 8

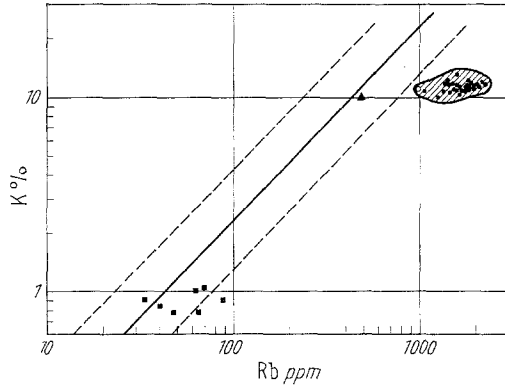


Abb. 8. Verhältnis K/Rb in den Venturinhafeldspäten eingetragen auf dem Diagramm von AHRENS et al. (1952) mit der parallelen Verschiebung von TAYLOR et al. (1956). ▲ Orthoklas, Porphyrit. Granit; ○ Mikroklin Schriftgranit; ● Kalifeldspat, Pegmatit; ■ Albit

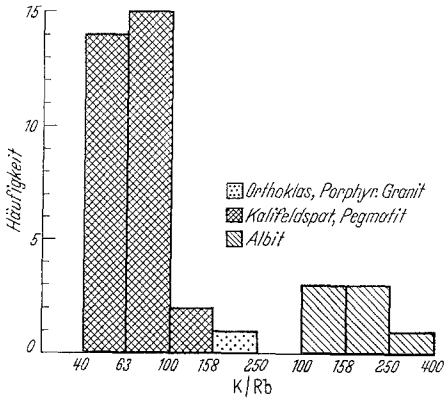


Abb. 9. Häufigkeitsdiagramm des Verhältnisses K/Rb in den Venturinhafeldspäten

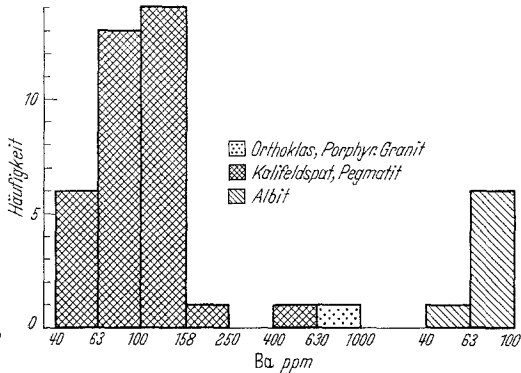


Abb. 10. Häufigkeitsdiagramm des Ba (ppm) der Venturinhafeldspäte

rechts von den Geraden der normalen Verteilung wiedergibt. In derselben Abb. 8 liegen die den Albiten entsprechenden Verhältnisse K/Rb bei niedrigeren Absolutwerten fast vollkommen innerhalb der Grenzen der normalen Verteilung.

Die erhaltenen Werte des Verhältnisses K/Rb geben uns nicht nur eine größere Differentiation der pegmatitischen Formation in bezug auf den porphyroiden Granit an, sondern auch eine Stetigkeit der Differentiation von der Zone des Schriftgranits bis zum Quarzkern, denn die niedrigsten Werte dieses Verhältnisses finden sich in dem dem Quarzkern am nächsten gelegenen Feldspäten.

Die Verteilungskurve des Verhältnisses K/Rb ist in der Abb. 9 wiedergegeben.

3. Ba. Geochemisch ist das Ba eng an das K gebunden. Der Ionenradius des Ba<sup>2+</sup> (1,34 Å) ist praktisch gleich dem des K<sup>+</sup> (1,33 Å) und diese Elemente ersetzen sich deshalb gegenseitig in ihren Strukturen. Da jedoch die Ionen-

bindung des Paares Ba-O stärker ist als die des Paares K-O, steht zu erwarten, daß das Ba<sup>2+</sup> in die Struktur der in den ersten Phasen der magmatischen Differentiation kristallisierten Kalimineralen eingelagert wird (GOLDSCHMIDT 1958).

So stellte ROGERS (1958) in Kalifeldspäten eines quarzhaltigen Monzonits fest, daß das Ba und das Sr in den zuerst gebildeten Fraktionen häufiger waren.

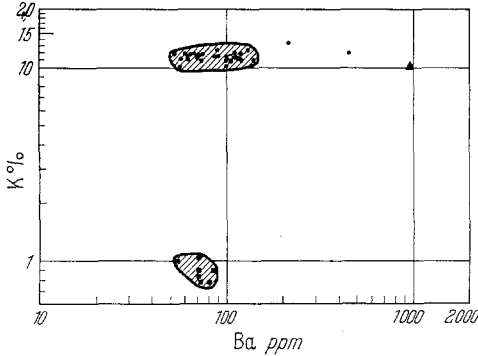


Abb. 11. Geochemische Beziehung zwischen K und Ba in den Venturinhafeldspäten. ▲ Orthoklas, Porphy. Granit; ○ Mikroklin Schriftgranit; ● Kalifeldspat, Pegmatit; ■ Albit

HEIER und TAYLOR (1959) stellten in alkalischen Feldspäten des Präkambriums in Südnorwegen fest, daß die Menge des Ba in dem Maße abnahm, in dem sie sich dem Ende der magmatischen Differentiation näherte.

MICHEELSEN (1960) bemerkte auch in Feldspäten des präkambrischen Komplexes von Bornholm (Dänemark) eine Abnahme der Menge des Ba bei einer Erhöhung der Granitisierung und stellte die niedrigsten Werte in Mikroklinen von Pegmatiten fest. UPTON (1960) beobachtete ebenfalls in Feldspäten des Komplexes alkalischer Gesteine von Kungnât Fjeld (Grönland), daß das Ba im Verlaufe der Differenzierung des syenitischen Magmas fortschreitend verdrängt wurde und in größerer Menge in der Struktur der vorher gebildeten Kalifeldspäte auftrat.

In Venturinha beobachtet man eine deutliche Abnahme der Menge des Ba beim Übergang des mikroklinisierten Orthoklases des porphyroiden Granits (960 ppm) in die Feldspäte des Pegmatits, die zum größten Teil weniger als 150 ppm Ba enthalten. Ohne jedoch die Regelmäßigkeit zu erreichen, die man bei der Zunahme des Rb von der Peripherie bis zum Zentrum des Pegmatits beobachtet, läßt sich eine Tendenz zur Verringerung der Ba-Konzentration feststellen zum Quarzkern des Pegmatits von Venturinha hin.

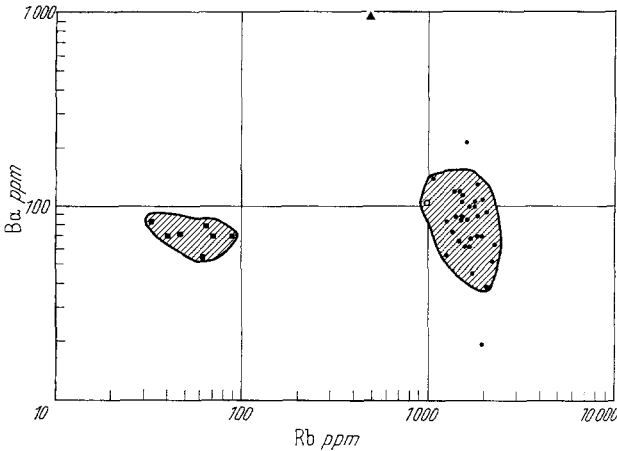


Abb. 12. Geochemische Beziehung zwischen Ba und Rb in den Venturinhafeldspäten. ▲ Orthoklas, Porphy. Granit; ○ Mikroklin Schriftgranit; ● Kalifeldspat, Pegmatit; ■ Albit

Die Häufigkeit der Verteilung des Ba in den untersuchten Proben ist in der Abb. 10 wiedergegeben. Wie zu erwarten war, zeigen die Kalifeldspäte im allgemeinen eine größere Anreicherung an Ba als die Albite.

Die enge geochemische Beziehung zwischen K und Ba in den untersuchten Feldspäten läßt sich gut in der Abb. 11 beobachten, in der die Menge des Ba

beim Übergang des mikroklinisierten Orthoklases des porphyroiden Granits (960 ppm) in die Feldspäte des Pegmatits, die zum größten Teil weniger als 150 ppm Ba enthalten. Ohne jedoch die Regelmäßigkeit zu erreichen, die man bei der Zunahme des Rb von der Peripherie bis zum Zentrum des Pegmatits beobachtet, läßt sich eine Tendenz zur Verringerung der Ba-Konzentration feststellen zum Quarzkern des Pegmatits von Venturinha hin.

(ppm) in Abhängigkeit von der des K (%) dargestellt ist. In der Abbildung sind die Stellung des Orthoklases des porphyroiden Granits und die dunklen Flächen ersichtlich, die den Kalifeldspäten und den Albiten des Pegmatits entsprechen.

Es läßt sich auch eine gute Wechselbeziehung zwischen Rb und Ba beobachten (Abb. 12). Diese Abbildung zeigt auch verschiedene Flächen für die Kalifeldspäte und die Albite.

4. *K/Ba und Rb/Ba-Verhältnisse.* In den untersuchten Feldspäten wurden auch die Verhältnisse von K/Ba und Rb/Ba bestimmt. Die Verteilungskurven dieser Verhältnisse sind in den Abb. 13 und 14 wiedergegeben. In den beiden Fällen ist die

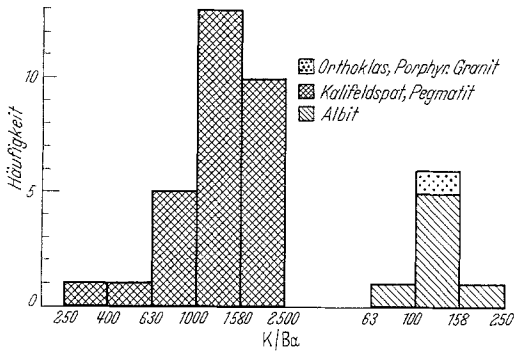


Abb. 13. Häufigkeitsdiagramm des Verhältnisses K/Ba in den Venturinhafeldspäten

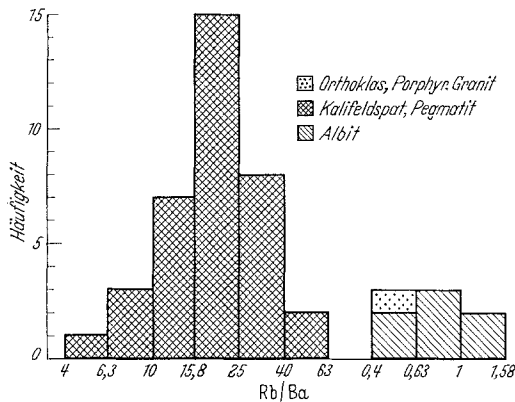


Abb. 14. Häufigkeitsdiagramm des Verhältnisses Rb/Ba in den Venturinhafeldspäten

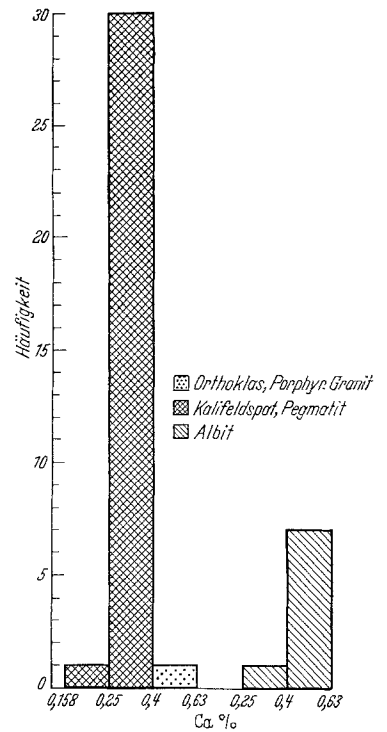


Abb. 15. Häufigkeitsdiagramm des Ca (%) in den Venturinhafeldspäten

Differenzierung zwischen den Albiten und den Kalifeldspäten des Pegmatits offenbar. Bei den Albiten sind die Verhältnisse viel kleiner. Bemerkenswert ist, daß das bezüglich des mikroklinsierten Orthoklases des porphyroiden Granits angegebene Verhältnis einen Wert von derselben Größenordnung gibt, wie die bei den Albiten des Pegmatits.

Das arithmetische Mittel der Werte des Verhältnisses K/Ba der Kalifeldspäte des Pegmatits von Venturinha beträgt 1305. Dieser Mittelwert im Vergleich mit dem Wert 104 des Verhältnisses K/Ba des Orthoklases des porphyroiden Granits ergibt den Faktor 12,5, was eine bemerkenswerte Verringerung des Ba als Folge der Differenzierung anzeigt. Bei den Albiten ist der Durchschnittswert dieses Verhältnisses 127.

Das arithmetische Mittel der Werte des Verhältnisses Rb/Ba bei den Kalifeldspäten des Pegmatits ist 21, was im Vergleich mit dem Wert 0,5 desselben Verhältnisses in dem Orthoklas des porphyroiden Granits den Faktor 42 ergibt, und so ebenfalls eine erhebliche Verringerung des Ba anzeigt. Bei den Albiten ist der Durchschnittswert des Verhältnisses Rb/Ba 0,81 und damit von derselben Größenordnung wie der des Orthoklases des einschließenden porphyroiden Granits.

TAYLOR und HEIER (1960) betrachten das Paar Rb—Ba als den geeignetsten Indikator für die Prozesse der Differenzierung in Kalifeldspäten. In bezug auf  $K^+$  begünstigt die größere Ladung des  $Ba^{2+}$  seine Bindung in den ersten Phasen, und der Ionenradius des  $Rb^+$  bringt dieses Element in die Schlußphase der Differenzierung.

HIGAZY (1953) stellte auch in Perthiten der Pegmatite der Black Hills (South Dakota) fest, daß die an Rb reichsten an Ba verarmt waren, auch beobachtete er in den Pegmatiten eine Verringerung in der Menge dieses Elements in bezug auf die umgebenden Gesteine.

Wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist, erweist sich das Paar K-Ba auch als guter Indikator für die Folge der Differenzierungsvorgänge in Kalifeldspäten.

5. *Ca.* Die Kalifeldspäte des Pegmatits von Venturinha enthalten Ca in Prozentsätzen, die zwischen 0,24 und 0,34% schwanken, mit dem Durchschnittswert von 0,28%. Wenn man diesen Wert mit 0,54% für den mikroklinisierten Orthoklas des porphyroiden Granits vergleicht, sieht man, daß der Prozentsatz des Ca in den Kalifeldspäten des Pegmatits praktisch auf die Hälfte reduziert ist.

In den Albiten des Pegmatits beobachtet man Ca in Prozentsätzen zwischen 0,35 und 0,55%, mit dem Durchschnittswert von 0,47%, der, wie zu erwarten war, höher ist als bei den Kalifeldspäten und größenordnungsmäßig dem des Prozentsatzes an Ca in dem mikroklinisierten Orthoklas des porphyroiden Granits entspricht. Das steht im Einklang mit der innerhalb des Pegmatits erreichten größten Differenzierung.

Die Häufigkeit der Verteilung der Prozentsätze des Ca in den untersuchten Proben ist in der Abb. 15 wiedergegeben. Die Trennung der Gruppe der Kalifeldspäte von der der Albite ist deutlich zu beobachten.

6. *Sr.* Das Strontium ( $Sr^{2+} = 1,18 \text{ \AA}$ ) kann das Kalzium ( $Ca^{2+} = 0,99 \text{ \AA}$ ) in der Struktur der Plagioklase ersetzen und selbst das  $K^+$  ( $K^+ = 1,33 \text{ \AA}$ ) in der Struktur der Kalifeldspäte, wie HEIER und TAYLOR (1959) zeigten.

In dem mikroklinisierten Orthoklas des porphyroiden Granits existiert Sr in größerer Menge (180 ppm) als in den übrigen untersuchten Feldspäten des Pegmatits, wo nur die Probe 25 eine verhältnismäßig große Menge Sr (120 ppm) sowie auch Ba (130 ppm) enthält.

TUREKIAN und KULP (1956) stellten fest, daß bei den granitischen Gesteinen die Menge des Sr in Abhängigkeit von der des Ca wechselte, und stellten die Grenzen der normalen Verteilung des Verhältnisses Ca/Sr auf, die in der Abb. 16 durch die dicken Linien wiedergegeben werden, wo die von uns erhaltenen Werte der Mengen von Ca und Sr eingetragen sind. Alle Werte fallen in dem von TUREKIAN und KULP (1956) angenommenen Verteilungsraum.

Der Wert des Verhältnisses Ca/Sr nimmt beim Übergang von dem mikroklinisierten Orthoklas des porphyroiden Granits zu den Feldspäten des Pegmatits

erheblich zu, was eine größere Verarmung an Sr im Verhältnis zum Ca im Verlaufe der Differenzierung anzeigt. Das wurde auch von HEIER und TAYLOR (1959) bei den Feldspäten der großen Pegmatite beobachtet und von TUREKIAN und KULP schon 1956 hervorgehoben. Höhere Werte des Verhältnisses Ca/Sr müssen also einen größeren Differenzierungsgrad anzeigen.

7. Pb. Die Geochemie des Pb wurde in Einzelheiten von WEDEPOHL (1956) untersucht, und dieser Autor gibt einen Durchschnittswert von 25 ppm für die normalen Feldspäte und 100 ppm für die Feldspäte der Pegmatite an, mit 15 ppm als Durchschnitt des Pb in der Erdkruste.

Die für die Feldspäte von Venturinha erhaltenen Ergebnisse geben Werte, die zwischen 2,3 ppm und 43 ppm im Probe 42 wechseln und sich im Einklang mit dem Häufigkeitsdiagramm der Abb. 17 verteilen.

In allen Feldspäten des Pegmatits von Venturinha lassen sich Mengen von Pb feststellen, die geringer sind als die des Orthoklases des porphyroiden Granits (39 ppm), mit Ausnahme der Probe 42 (43 ppm), welches auch sehr reich an K (13,1%) ist. Der Durchschnittswert des Pb in den Kalifeldspäten des Pegmatits beträgt 13,5 ppm und in den Albiten 7,1 ppm. Unsere Werte liegen im Vergleich zu dem Durchschnittswert von WEDEPOHL (1956) wesentlich niedriger. HIGAZY (1953) gibt für das Pb der Perthite der Pegmatite der Black Hills den Durchschnittswert von 25 ppm an.

II. Kristallisationsfolge und Genese des Venturinhapegmatits

Da der porphyroide Granit von Venturinha ein spät-syntektonischer ist, weil die einzigen orientierten Körper die Feldspäteinsprenglinge sind, folgt daraus, daß der Pegmatit von Venturinha sich schon unter Bedingungen tektonischer Ruhe gebildet hat, was sich im übrigen durch die Kennzeichen des Kontaktes zwischen porphyroidem Granit und der Randzone des Pegmatits offenbart. Das weist auf die Kristallisationsbedingungen des Pegmatits „in situ“ innerhalb eines praktisch geschlossenen Systems hin.

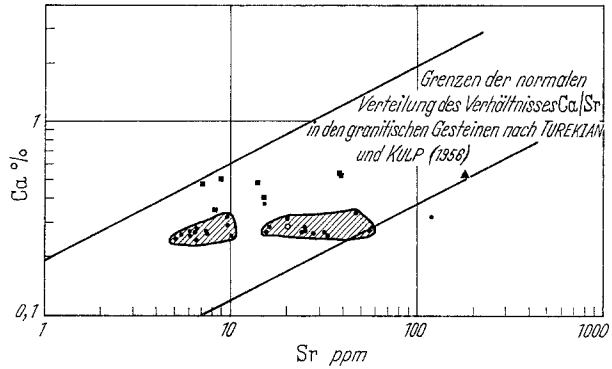


Abb. 16. Beziehung zwischen Ca und Sr in den Venturinhafeldspäten. ▲ Orthoklas, Porphyr. Granit; ○ Mikroklin Schrifftgranit; ● Kalifeldspat, Pegmatit; ■ Albit

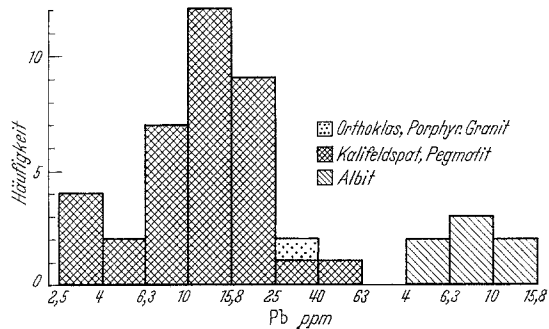


Abb. 17. Häufigkeitsdiagramm des Pb (ppm) in den Venturinhafeldspäten

Diese orogene Ruhe zur Zeit der Bildung der Pegmatite begünstigt, wie GINZBOURG betont (1960), die Entwicklung einer typischen zonaren Struktur.

Im Pegmatit von Venturinha lassen sich in geochemischer Hinsicht drei Hauptphasen kennzeichnen: die Kaliumphase, die den primären Zonen des Pegmatits entspricht; die Natriumphase, die den Verdrängungskörpern entspricht, und zwischen beiden, indem sie sie in der genetischen Folge trennt, eine Phase, in der sich der Quarzkern des Pegmatits gebildet hat.

In der Kaliumphase geht die Verringerung des Mg, Fe, Ca, K und anderer Elemente vor sich, was sich durch das Auftreten bemerkenswerter Mengen von Biotit in der äußersten Zone des Schriftgranits bemerkbar macht und durch die Verminderung im Prozentsatz des mit den Kalifeldspäten vergesellschafteten Ca beim Übergang der äußeren zu den inneren Zonen des Pegmatits. Die Prozentsätze von Be, Ta und Nb erhöhen sich soweit, daß sie die Ausscheidung des Berylls und des Columbo-Tantalits in der Zwischenzone des Pegmatits erlauben.

Als Beweis der fraktionierten Kristallisation des pegmatitischen Magmas von Venturinha muß besonders die fortschreitende Erhöhung des Gehalts an Rb von dem mikroklinisierten Orthoklas des porphyroiden Granits (480 ppm) bis zum Quarzkern hervorgehoben werden, wo einige Kalifeldspäte bis zu mehr als 2000 ppm an Rb enthalten.

Das arithmetische (69) und das geometrische (68) Mittel der Werte des Verhältnisses K/Rb für die Kalifeldspäte des Pegmatits von Venturinha geben die starke magmatische Differenzierung an, die im Pegmatit bezüglich des umgebenden porphyroiden Granits erreicht wird.

Auch die Art der Verteilung des Ba, Sr und des Ca in den untersuchten Proben, läßt einen fraktionierten Kristallisationsprozeß innerhalb eines praktisch geschlossenen Systems vermuten.

Die petrogenetische Bedeutung der Verhältnisse Rb/Ba und K/Ba wurden schon aufgezeigt, wobei eine größere Differenzierung den höchsten Werten dieser Verhältnisse entspricht, genau so wie es bei dem Pegmatit von Venturinha festzustellen ist.

Im Einklang mit dem Reaktionsprinzip nach BOWEN wurde auch festgestellt, daß es beim Übergang von dem mikroklinisierten Orthoklas des porphyroiden Granits mit 0,54% Ca zu den Kalifeldspäten des Pegmatits von Venturinha eine bedeutende Abnahme des Ca-Gehalts dieser Feldspäte, mit einem Durchschnittswert von 0,28% Ca gab. Dieser Ca-Gehalt entspricht praktisch der Hälfte des ersten Wertes.

Die Zunahme der Körnigkeit im Pegmatit von Venturinha von der Wandzone an bis zum Kern kann auch für ein Anzeichen einer fraktionierten Kristallisation innerhalb eines praktisch geschlossenen Systems gehalten werden, worin die Viskosität natürlich langsam mit dem Fortschreiten der Differenzierung abnimmt infolge der Zunahme der flüchtigen Bestandteile. Das wird das Wachstum der immer größeren Kristalle begünstigen, wie CAMERON et al. (1949) und JAHNS (1953) schon betonten.

Der Ursprung der Verdrängungskörper ist auf verschiedene Weise gedeutet worden (CAMERON et al., 1949). FERSMAN (1931) hält sie für genetisch an das pegmatitische Magma gebunden, von dem sich durch fraktionierte Kristallisation schon die Gesteine der Haupt-Phasen gebildet hatten. Wie LANDES schon 1925

betonte, ist das den Verdrängungskörpern entsprechende Volumen manchmal so klein, daß sie sich aus den Restlösungen der Kristallisation des Pegmatits gebildet haben können, in dem sie vorkommen.

Um dieses Problem objektiv lösen zu können, müssen sicher quantitative Untersuchungen durchgeführt werden, die es ermöglichen, aus den zwischen den primären Zonen des Pegmatits und den Verdrängungskörpern existierenden volumetrischen Beziehungen Schlußfolgerungen zu ziehen.

In der Literatur finden sich wenige Angaben über diese quantitativen Untersuchungen. JAHNS (1953 a) machte Angaben über den pegmatitischen Gang von Pidlite (New Mexico), ROWE<sup>1</sup> (1954) gibt Durchschnittswerte für die Li-Pegmatite von Abitibi (Quebec), und SCHMIDT (1955) gibt auch quantitative Werte in seiner ausgezeichneten Arbeit über die Pegmatite von Hagendorf und Hühnerkobel.

Infolge der schlechten Abbaumethoden in Venturinha bekamen wir dort nur den Eindruck, daß das in den ersten Phasen gebildete Gesteinsvolumen viel größer ist als das dem Verdrängungsallbit entsprechende. Daher ist anzunehmen, daß die Natriumphase des Pegmatits von Venturinha auch aus den innerhalb des Pegmatits gebildeten und zirkulierenden Restlösungen herrührt.

In geochemischer Hinsicht ist während der hydrothermalen Phase, die den Verdrängungskörpern entspricht, eine Anreicherung der Lösung an P, Mn, Fe, Na, Mo, S, F und OH anzunehmen, was zur Umbildung von Mineralen der Reihe Triplit-Zwieselit und anderen führt, aus denen Isokit, Rockbridgeit und Apatit entstehen. Ferner bilden sich in dieser Phase: Molybdänit, Pyrit, Granat, Muskovit und eine große Menge von Albit. Der Muskovit hat sich zum Teil auf Kosten des durch albitische Verdrängung der Kalifeldspäte frei gewordenen K gebildet.

Durch die Albitmassen hindurch lassen sich Biotit- und Quarzadern beobachten. Das Wiederauftreten des Biotits und selbst des Muskovits innerhalb des Pegmatits ist durch die geochemische Wiederkehr der Elemente Fe, Mg, Mn und K bedingt. Diese haben sich, nachdem sie durch die Strukturen der in den primären Zonen des Pegmatits kristallisierten Minerale fast völlig aufgenommen wurden, schließlich von neuem in solchen Mengen konzentriert, daß sie nicht nur dieses Wiederauftreten ermöglichen, sondern auch die Genese anderer Minerale beeinflussen.

Bemerkenswert ist, daß im Pegmatit von Venturinha die zwei Li-Phasen fehlen, die durch das Erscheinen des Spodumens innerhalb der primären Zonen des Pegmatits und durch die Kristallisation des Lepidolits und der Phosphate der Triphylin- und Amblygonit-Reihen in der hydrothermalen Phase gekennzeichnet sind. Das hat zur Folge, daß im Vergleich mit anderen portugiesischen Pegmatiten wie der von Mangualde [AMILCAR DE JESUS (1933), SOEN (1959), DEANS (1958) und CORREIA NEVES (1958 u. 1958a)] und der in der Gegend von Bendada (CORREIA NEVES 1960) der von Venturinha an Mineralarten viel ärmer ist (CORREIA NEVES 1962).

In der Gegend von Bendada (CORREIA NEVES, 1960) sind die untersuchten Pegmatite mit albitischem Granit von mittelgroßer Körnigkeit und größerem Differentiationsgrad als der des porphyroiden Granits von Venturinha vergesellschaftet. Prof. AMILCAR DE JESUS (1933) beschreibt Verhältnisse desselben

<sup>1</sup> Zit. in H. SCHMIDT 1955.

Typs wie die, die ich in der Gegend von Bendada beobachtet habe, obwohl er sie anders deutet, zwischen dem porphyroiden Granit und dem der Pegmatite von Mangualde einschließenden Zweiglimmergranit. Auch der Pegmatit von Moreira (CORREIA NEVES 1960 a), der auf dieselbe Weise mit dem Granit mittlerer Körnigkeit vergesellschaftet ist, ist den vorhergenannten mineralogisch sehr ähnlich. Dasselbe läßt sich im Pegmatit von Vermilhas (Vouzela) feststellen, den wir augenblicklich untersuchen.

Da das Li fortschreitend mit der magmatischen Differentiation relativ zunimmt (GOLDSCHMIDT 1958), folgt daraus, daß das pegmatitische Magma von Venturinha ein geringeres Differentiationsstadium erreicht haben muß als die anderen vorher aufgeführten Pegmatite. Diese Schlußfolgerung, die ich experimentell untersuchen möchte, wird nur als Arbeitshypothese aufgestellt.

Zum Schluß danke ich den Herren Professoren CARL W. CORRENS und J. M. COTELO NEIVA für ihr immer freundliches Entgegenkommen und die wertvollen Ratschläge während der Arbeit.

Herrn Prof. WEDEFOHL bin ich sehr zu Dank verpflichtet für wertvolle Hinweise im Laufe der Arbeit und für die sprachliche Korrektur des Manuskriptes.

Die Arbeit wurde von der Organização Europeia de Cooperação Económica und Instituto de Alta Cultura unterstützt. Für diese Hilfe möchte ich meinen besten Dank aussprechen.

### Literatur

- AHRENS, L. H., W. H. PINSON and M. M. KEARNS: Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorites. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **2**, 229—242 (1952).
- AMILCAR DE JESUS, M.: Mangan/Lithiumführende Pegmatite der Gegend von Mangualde. *Comun. Serv. Geol. Port.* **19**, 65—210 (1933).
- CAMERON, E. N., R. H. JAHNS, A. H. MCNAIR and L. R. PAGE: Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology*. Urbana, Illinois: Publishing Co. 1949.
- CORREIA NEVES, J. M.: Neue Mineralien der Pegmatite von Mangualde. *Mem. e Not. do Museu e Lab. Min. e Geol. da Univ. Coimbra* **46**, 56—67 (1958).
- Bermanit von Mangualde (Portugal). *Mem. e Not. do Museu e Lab. Min. e Geol. da Univ. Coimbra* **46**, 56—67 (1958).
- Pegmatite mit Beryll, Columbit-Tantalit und Phosphaten von Bendada (Sabugal, Guarda). *Mem. e Not. do Museu e Lab. Min. e Geol. da Univ. Coimbra* **50**, 1—172; Doctorarbeit (1960).
- Pegmatit mit Phosphaten von Moreira (Vila Pouca de Aguiar). *Estud. notas e trabal. do Serv. Fomento Mineiro (Port.)*. **14**, 257—270 (1960a).
- Pegmatite der Gegend von Venturinha (Penalva do Castelo, Viseu). *Mem. e Not. do Museu e Lab. Min. e Geol. da Univ. Coimbra* No. 54, 1—153 (1962).
- DEANS, T.: Isokite from Mangualde, Portugal. *Mineral. Mag.* **31**, 819—820 (1958).
- FERSMAN, A. E.: Über die geochemisch-genetische Klassifikation der Granitpegmatite. *Mineral. u. Petrogr. Mitt.* **41**, 64—83 (1931).
- GINZBOURG, A. I.: Specific geochemical features of the pegmatitic process. Report of the twenty-first session of the Int. Geol. Congr. Part XVII, Minerals and genesis of pegmatites, pp. 111—121 (1960).
- GOLDSCHMIDT, V. M.: *Geochemistry* (A. MUIR). Oxford: Clarendon Press 1958.
- H. BAUER u. H. WITTE: *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl., Fachgr. IV, N. F.* **1**, 319 (1934); in GOLDSCHMIDT (1958).
- HEIER, K. S., and S. R. TAYLOR: Distribution of Ca, Sr and Ba in southern Norwegian pre-Cambrian alkali feldspars. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **17**, 286—304 (1959).
- HIGAZY, R. A.: Observations on the distribution of trace elements in the perthite pegmatites of the Black Hills, South Dakota. *Am. Mineralogist* **38**, 172—190 (1953).
- JAHNS, R. H.: The genesis of pegmatites. I. Occurrence and origin of giant crystals. *Am. Mineralogist* **38**, 563—598 (1953).

- JAHNS, R. H.: The genesis of pegmatites. II. Quantitative analysis of lithium-bearing pegmatite, Mora County, New Mexico. *Am. Mineralogist* **38**, 1078—1112 (1953a).
- LANDES, K. K.: Paragenesis of the granite pegmatites of Central Maine. *Am. Mineralogist* **10**, 355—411 (1925).
- MICHEELSEN, H. I.: Pegmatites in the Pre-Cambrian of Bornholm, Denmark. *Minerals and Genesis of Pegmatites. Proceedings of section 14. XXI Int. Geol. Congr.*, pp. 128—136 (1960).
- ROGERS, J. J.: Textural and spectrochemical studies of the White Tank quartz monzonite, California. *Bull. Geol. Soc. Am.* **69**, 449—464 (1958).
- SCHMIDT, H.: Verbandsverhältnisse der Pegmatite des Oberpfälzer und Bayerischen Waldes. *Neues Jahrb. Mineral. Geol. u. Paläontol. Abhandl. A* **88**, 309—404 (1955).
- SOEN, O. Y.: On some sulphide minerals in the beryllium-lithium pegmatite of Mangualde, North Portugal. *Neues Jahrb. Mineral. Geol. u. Paläontol. Abhandl.* **93** (2), 192—208 (1959).
- TAYLOR, S. R., C. H. EMELEUS and C. S. EXLEY: Some anomalous K/Rb ratios in igneous rocks and their petrological significance. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **10**, 224—229 (1956).
- , and K. S. HEIER: The petrological significance of trace element variations in alkali-feldspars. The granite-gneiss problem. *Proceedings of section 14. XXI Int. Geol. Congr.* pp. 47—61 (1960).
- TUREKIAN, K. K., and J. L. KULP: The geochemistry of strontium. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **10**, 245—296 (1956).
- UPTON, B. G. J.: The alkaline igneous complex of Kûngnât Fjeld, South Greenland. *Mus. de Min. et Geol. de l'Université de Copenhague, Comm. Géol.*, No. 99, 1—145 (1960).
- WEDEFOHL, K. H.: Untersuchungen zur Geochemie des Bleis. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **10**, 69—148 (1956).
- YODER, H. S., D. B. STEWART and J. R. SMITH: Ternary feldspars. *Carnegie Inst. Washington, Year Book* **56**, 207—214 (1957).

Prof. Dr. J. M. CORREIA NEVES  
Estudos Gerais Universitários de Moçambique  
Lourenço Marques, Moçambique, Portugiesisch-Ostafrika