

Separat-Abdruck aus dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie etc.  
Beilageband LV. Abt. A. 1926. S. 60—91.

---

Studien über den Chemismus der Granaten.

Von

**Franz Heritsch** (Graz).

Mit 7 Textfiguren.

---

# Studien über den Chemismus der Granaten.

Von

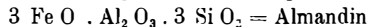
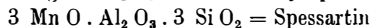
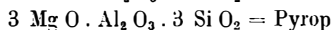
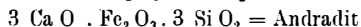
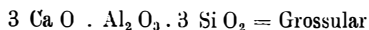
**Franz Heritsch (Graz).**

Mit 7 Textfiguren.

Die langjährige Beschäftigung mit dem alpinen Metamorphikum brachte mich dazu, eine Reihe von Granatanalysen über den Weg der Molekularquotienten in die bekannten Granatsilikate umzurechnen. Diese Rechnungen wurden dann, als sich eine Art von Ergebnis zeigte, in größerem Stile weitergeführt, worüber die folgenden Zeilen Auskunft geben.

## A. Die Beziehungen der Granaten zu den Gesteinen.

Für die Auflösung von Granatanalysen werden gewöhnlich die folgenden fünf Silikate angewendet:



Bei der Berechnung einer größeren Anzahl von Analysen hat es sich gezeigt, daß sowohl das Uwarowitsilikat —  $3 \text{ Ca O} \cdot \text{Cr}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{ Si O}_2$  — als auch die Silikate  $3 \text{ Mg O} \cdot \text{Fe}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{ Si O}_2$ ,  $3 \text{ Fe O} \cdot \text{Fe}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{ Si O}_2$ ,  $3 \text{ Mn O} \cdot \text{Fe}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{ Si O}_2$  eine so geringe Rolle spielen, daß sie vernachlässigt werden können.

Ich habe eine größere Zahl von Granatanalysen gerechnet, von denen 95 glatt aufgegangen sind oder doch wenigstens nur solche Reste übrigließen, die sich ohne jede Schwierigkeit auf Mineralien der betreffenden Paragenesis beziehen ließen. Die für die kommenden Auseinandersetzungen verwendeten Analysen sind im folgenden

angeführt und fortlaufend numeriert, wobei nur die Orte, die Gesteine, aus denen sie stammen, und das Ergebnis der Aufteilung auf die eingangs genannten Silikate angeschrieben sind. Um welche Analysen es sich handelt, kann leicht aus der Anführung ersehen werden, woher die Analysenzahlen genommen wurden — DOELTER, Handbuch der Mineralchemie, HINTZE, Handbuch der Mineralogie und wenige andere Quellen. Bei allen Granaten wurde nach der Literatur die Mineralgesellschaft überprüft.

Im folgenden sind die später zur Verwendung kommenden Analysen angeführt, wobei das Gestein, aus dem sie stammen, der Fundort und die Quelle, wo die Analyse veröffentlicht ist, genannt sind.

1. Pegmatit, Deutschlandsberg, ANGEL, Gesteine der Steiermark.
2. Glimmerschiefer, Stubalpe, ANGEL, Gesteine der Steiermark.
3. Marmor, Teigitschgraben, HERITSCH-LIEB, C. M. G. P. 1924.
4. Glimmerschiefer, Tiefsattel, ANGEL, Gesteine der Steiermark.
5. Serpentincontact, Scharn, WEINSCHENK, Zeitschr. f. Krist. **26**.
6. Eklogit, Eppenreuth, HINTZE, p. 78. **2**.
7. Serpentincontact, Schwarze Wand, WEINSCHENK, Zeitschr. f. Krist. **26**.
8. Wie 7.
9. Serpentincontact, Islitzfall, WEINSCHENK, Z. f. kryst. **26**.
10. Serpentincontact, Eichhamwand, WEINSCHENK, Zeitschr. f. Krist. **26**.
11. Eklogit, Ötztal, HEZNER, TSCHERMAK's min.-petr. Mitteil. **22**.
12. Amphibolit, Ötztal, HEZNER, wie 11.
13. Serpentin, Krems in Böhmen, HINTZE, p. 66. **5**.
14. Eklogit, Saualpe, HINTZE, p. 79. **14**.
15. Eklogit, Schorgast, HINTZE, p. 78. **4**.
16. Granulit, Prachatitz, ROSENBUSCH, Elemente der Gesteinslehre.
17. Kinzingit, Schenkenzell, HINTZE, p. 78. **7**.
18. Glimmerschiefer, Oravitza, Hintze, p. 78. **10**.
19. Gneis, Essex, DOELTER, p. 898. No. 61.
20. Granit, Dartmoor, DOELTER, p. 896. No. 49.
21. Chloritschiefer, Zillertal. HINTZE, p. 79. **15**.
22. Gneis, Beaujeu, DOELTER, p. 896. No. 37.
23. Serpentin, Zöblitz, HINTZE, p. 66. **6**.
24. Eklogit, Blauer Grund, Kimberley, DOELTER, p. 604. No. 16.
25. Marmor, Auerbach an der Bergstraße, HINTZE, p. 60. **1**.
26. Serpentincontact, Jordansmühl, HINTZE, p. 60. **2**.
27. Gang in Granit mit Calcit, Quarz, Epidot, Friedeberg, HINTZE, p. 60. **4**.
28. Serpentin, Zöblitz, HINTZE, p. 66. **7**.
29. Eklogit, Grafendorf, HINTZE, p. 66. **10**.
30. Glimmerarmer Granit, Aschaffenburg, HINTZE, p. 70. **1**.
31. Pegmatit, Arendal, HINTZE, p. 70. **11**.
32. Eklogit, Silberbach, HINTZE, p. 78. **3**.

33. Peridotit, Elliot, DOELTER, p. 603. No. 9.
34. Serpentin, Reutmühl, DOELTER, p. 603. No. 5.
35. Pegmatit, Csuba, gongkona, DOELTER, p. 359. No. 31.
36. Pegmatit, Madagaskar, DOELTER, p. 359. No. 26.
37. Glimmerarmer Granit, Aschaffenburg, DOELTER, p. 358. No. 23.
38. Pegmatit, Bodenmais, DOELTER, p. 367. No. 51.
39. Pegmatit, Val Dombastone, DOELTER, p. 365. No. 22.
40. Serpentinkontakt, Rothenkopf, SCHNURR, Zeitschr. f. Krist. **26**.
41. Serpentinkontakt, wie No. 40.
42. Serpentinkontakt, wie No. 40.
43. Serpentinkontakt, Zermatt, HINTZE, p. 93. **11**.
44. Kalk mit Vesuvian, Glen Glairn, HINTZE, p. 61. **17**.
45. Kalk mit Vesuvian und Datholith, St. Clara, HINTZE, p. 61. **33**.
46. Serpentin, Zöblitz, HINTZE, p. 60. **8**.
47. Serpentin, Greifendorf, HINTZE, p. 66. **9**.
48. Granitgang in Gneis, Glen Skiagh, HINTZE, p. 70. **8**.
49. Granulitischer Gneis, Dalarne, HINTZE, p. 70. **12**.
50. Kalk, Rancho di San Juan, HINTZE, p. 61. **34**.
51. Glimmerschiefer, in Kupfer- und Eisenkieslagern, Garpenberg, HINTZE, p. 77. **27**.
52. Eklogit, Stambach, HINTZE, p. 77. **5**.
53. Granitgang, Schreiberhau, HINTZE, p. 77. **1**.
54. Granit, Haddam, HINTZE, p. 70. **19**.
55. Granit, Haddam, HINTZE, p. 70. **18**.
56. Kalk, Telemarken, HINTZE, p. 61. **19**.
57. Serpentinkontakt, Zermatt, HINTZE, p. 93. **10**.
58. Serpentinkontakt, Alatal, HINTZE, p. 93. **15**.
59. Kalk, Wakefield, HINTZE, p. 61. **29**.
60. Asbest, Binnental, DOELTER, p. 894. No. 18.
61. Melanit aus Fumarolen, Black River, DOELTER, p. 896. No. 46.
62. Glaukophanglimmerschiefer, Balade Mine, DOELTER, p. 364. No. 15.
63. Kontakt, Carmen bei Concepcion del Oro, DOELTER, p. 896. No. 42.
64. Aus zersetztem Augitporphyr, Cipital bei Ratzes, DOELTER, p. 900. No. 80.
65. Kontakt mit Wollastonit und Calcit, Cziklova, DOELTER, p. 884. No. 19.
66. Kontakt mit Wollastonit und Calcit, Cziklova, DOELTER, p. 882. No. 1.
67. Kontakt Dognacska, DOELTER, p. 895. No. 32.
68. Kontakt Dognacska, DOELTER, p. 895. No. 31.
69. Auflösung von Kalk am Kontakt mit Gabbro, Dun Mountains, DOELTER, p. 882. No. 3.
70. Granatvesuvianfels, Kadebek, DOELTER, p. 899. No. 69.
71. Granatvesuvianfels, Kadebek, DOELTER, p. 899. No. 70.
72. Quarzgang in Gneis, Leiperville, DOELTER, p. 884. No. 23.
73. Quarzgang in Gneis, Leiperville, DOELTER, p. 886. No. 42.
74. Serpentin, Meronitz, DOELTER, p. 604. No. 12.
75. Marmor, Malsjö, DOELTER, p. 885. No. 24.
76. Serpentinkontakt, Val Malenco, DOELTER, p. 892. No. 3.

77. Granatfels am Kontakt von Kalk und Quarzporphyr, Kupferlagerstätte von Mackay, DOELTER, p. 901. No. 92.  
 78. Wie 77, p. 901. No. 93.  
 79. Kontakt, Monzoni, HINTZE, p. 61. 7.  
 80. Serpentincontact, Mussaalpe, HINTZE, p. 61. 9.  
 81. Serpentincontact, Mussaalpe, DOELTER, p. 886. No. 38.  
 82. Rand eines Wollastonitfelsens, Santa Fé, Mine Chiapas, DOELTER, p. 901. No. 95.  
 83. Granathornfels, La Topa, DOELTER, p. 883. No. 14.  
 84. Granitkontakt, mit Wollastonit, DOELTER, p. 886. No. 39.  
 85. Traversella, DOELTER, p. 886. No. 35.  
 86. Vesuv, HINTZE, p. 61. 15.  
 87. Colorado River, DOELTER, p. 605. No. 23.  
 88. Ceylon, DOELTER, p. 366. No. 40.  
 89. Xalostoc, DOELTER, p. 883. No. 7.  
 90. Xalostoc, DOELTER, p. 883. No. 5.  
 91. Xalostoc, DOELTER, p. 883. No. 6.  
 92. Demantoid, Polewskoi, DOELTER, p. 895. No. 30.  
 93. Demantoid, Polewskoi, DOELTER, p. 895. No. 29.  
 94. Vesuv, HINTZE, p. 61. 16.  
 95. Kalk, Craig Moor, DOELTER, p. 899. No. 75.

Die Berechnung der angeführten Analysen auf die eingangs genannten Silikate hatte folgendes Ergebnis:

Analyse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spess. . . . .	11,8	—	1,0	1,8	1,0	2,6	0,5	—	1,4	—
Gross. . . . .	—	—	24,9	8,8	30,5	41,4	57,8	35,7	63,4	38,6
Pyr. . . . .	11,8	13,6	14,4	0,6	—	20,7	—	—	—	—
Almand. . . . .	73,5	66,7	59,7	72,2	4,5	35,3	4,2	—	9,9	—
Andrad. . . . .	2,9	19,7	—	16,6	64,0	—	37,5	64,3	25,3	61,4
Analyse	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Spess. . . . .	—	0,5	—	—	2,0	2,4	—	—	—	—
Gross. . . . .	21,0	18,1	10,0	12,4	9,0	8,0	2,0	2,6	34,1	14,6
Pyr. . . . .	37,0	15,1	81,9	30,9	34,5	27,4	32,9	10,9	—	—
Almand. . . . .	39,0	59,5	—	56,7	34,0	62,2	64,2	86,5	—	—
Andrad. . . . .	3,0	7,8	8,1	—	20,5	—	—	—	65,9	85,6
Analyse	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Spess. . . . .	2,2	0,6	—	0,5	0,5	—	1,0	—	—	71,0
Gross. . . . .	10,6	10,3	13,3	36,0	91,7	92,5	89,0	12,5	12,6	—
Pyr. . . . .	8,8	—	85,4	50,9	3,4	—	10,0	87,5	81,5	—
Almand. . . . .	78,4	—	—	12,6	4,4	—	—	—	5,9	20,0
Andrad. . . . .	—	89,1	1,3	—	—	7,5	—	—	—	—

Analyse	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Spess. . . . .	41,5	1,9	0,9	1,0	54,0	61,3	64,0	4,4	1,4	—
Gross. . . . .	12,6	38,8	5,2	16,0	—	2,6	1,0	—	15,7	70,8
Pyr. . . . .	5,8	26,2	71,6	83,0	6,5	0,5	—	16,6	29,0	—
Almand. . . . .	20,5	33,1	14,7	—	34,5	35,6	31,0	74,1	53,9	—
Andrad. . . . .	19,6	—	7,6	—	5,0	—	4,0	4,9	—	29,2
Analyse	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Spess. . . . .	—	—	—	0,9	0,8	—	—	4,8	39,5	2,4
Gross. . . . .	39,5	65,2	—	88,4	72,2	13,0	14,8	4,0	12,7	94,7
Pyr. . . . .	—	—	5,7	2,3	6,7	87,0	85,2	11,3	—	2,9
Almand. . . . .	—	—	—	8,4	20,1	—	—	79,9	47,8	—
Andrad. . . . .	60,5	34,8	94,3	—	—	—	—	—	—	—
Analyse	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Spess. . . . .	18,0	2,3	21,7	66,9	78,4	—	—	5,8	—	0,1
Gross. . . . .	8,0	31,8	2,6	0,5	1,5	98,6	—	—	97,2	1,0
Pyr. . . . .	16,0	19,1	—	—	1,0	1,4	—	—	2,8	1,0
Almand. . . . .	58,0	46,8	75,7	32,6	19,1	—	—	—	—	—
Andrad. . . . .	—	—	—	—	—	—	100,0	94,2	—	97,9
Analyse	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Spess. . . . .	0,5	12,4	1,0	—	0,6	—	0,2	0,5	3,2	0,1
Gross. . . . .	15,3	21,9	9,3	29,8	83,2	97,6	2,6	6,2	96,8	47,1
Pyr. . . . .	2,6	19,0	0,5	7,3	2,7	2,4	3,6	3,1	—	0,1
Almand. . . . .	—	46,7	0,5	—	13,5	—	—	—	—	—
Andrad. . . . .	81,6	—	88,7	62,9	—	—	93,6	90,2	—	52,7
Analyse	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Spess. . . . .	—	3,8	17,1	0,4	—	—	1,9	0,5	—	0,5
Gross. . . . .	46,2	85,3	81,0	—	99,2	—	78,9	52,4	84,4	84,3
Pyr. . . . .	—	—	—	76,6	0,8	—	—	1,5	6,8	0,1
Almand. . . . .	—	1,4	1,9	15,1	—	—	1,4	2,9	—	—
Andrad. . . . .	53,8	9,5	—	7,9	—	100,0	17,8	42,7	8,8	15,1
Analyse	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Spess. . . . .	1,4	1,5	—	1,5	—	1,0	1,5	3,2	—	2,8
Gross. . . . .	77,4	59,0	85,5	72,9	70,9	95,0	13,7	7,4	94,4	94,4
Pyr. . . . .	1,4	—	7,7	6,0	10,6	4,0	84,1	5,3	2,8	1,4
Almand. . . . .	—	—	—	—	—	—	10,7	84,1	—	0,9
Andrad. . . . .	19,8	39,5	6,8	19,6	18,5	—	—	—	2,8	0,5
Analyse	91	92	93	94	95					
Spess. . . . .	1,9	1,0	0,5	3,5	1,0					
Gross. . . . .	95,7	5,1	6,0	54,5	44,3					
Pyr. . . . .	1,9	1,0	—	—	4,2					
Almand. . . . .	0,5	—	1,0	8,0	0,5					
Andrad. . . . .	—	92,9	92,5	34,0	50,0					

Außer den 95 Analysen wurden noch die folgenden berechnet, aber wegen allzugroßer und auch bei der Anwendung der früher genannten minder wichtigen Silikate nicht zu behobender Reste nicht weiter verwendet:

Aus DOELTER. p. 356, Nr. 4. p. 357, Nr. 8, 13, 15, 17. p. 360, Nr. 37, 38. p. 364, Nr. 11. p. 365, Nr. 20, 23, 31. p. 367, Nr. 47, 48. p. 603, Nr. 11. p. 604, Nr. 10, 14, 15, 21. p. 605, Nr. 13, 24. p. 882, Nr. 2. p. 883, Nr. 8. p. 884, Nr. 20, 22, 26. p. 885, Nr. 30, 31. p. 886, Nr. 43. p. 893, Nr. 12. p. 895, Nr. 26, 27, 33. p. 897, Nr. 50. p. 899, Nr. 73. p. 901, Nr. 94. p. 902, Nr. 99, 100. Sp. 903, Nr. 106.

Aus HINTZE. p. 60, II, V, VI. p. 61, XXX. p. 66, XIII. p. 70, III, VII, IX, X, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XX, XXI. p. 77, XVII, XXIII. p. 78, XVII, XXVIII. p. 79, XVI, XIX, XXI, XXII.

Aus ROSEBUSCH. Elemente der Gesteinskunde, p. 667, Granat von Dobschau.

Aus Zeitschrift f. Krystallographie, **22**. p. 410.

Es wurden also im ganzen 158 Analysen berechnet.

Für das Folgende wurde, da eine fixe Definition, was Spessartin, Grossular usw. ist, fehlt, zuerst die allerdings nur als ein Hilfsmittel minderer Güte anzusehende Annahme gemacht, Spessartin, Grossular usw. seien jene Granaten, die von dem betreffenden Silikat wenigstens 50 % enthalten. Auf diese Weise ergab sich die Gliederung der Granaten in 5 Abteilungen bzw. in Untergruppen.

### Spessartine.

DOELTER (Handbuch, p. 356) teilt die Spessartine nach ihrem Fe O-Gehalt in 4 Untergruppen ein, nämlich in Spessartine ohne Eisenoxydulbestimmung, in solche mit wenig Fe O, in solche mit 11—17 % Fe O, in solche über 17 % Fe O.

Diese Einteilung der Spessartine ist nur nach den reinen Analysenzahlen gemacht. Wenn man aber die Granatsilikate ausrechnet, so zeigt sich, daß diese Einteilung infolge der möglichen anderen Bindung des Fe O — z. B. im Magnetit — nicht haltbar ist. Das zeigen die Analysen 35, 36, 37, die fast den gleichen Almandingehalt haben, bei DOELTER aber zwei verschiedenen Gruppen angehören.

Nach dem Eisenoxydulgehalt, d. h. nach dem Prozentsatz an Almandin, geordnet, ergibt sich die folgende Aufstellung:

Nr. 30	hat 29 %	Almandin	— aus HINTZE
„ 35	„ 34,5 %	„	aus DOELTER, in seiner Gr. mit 11—17 % Fe O
„ 36	„ 35,6	„	„ „ „ „ „ „ „ 11—17 Fe O
„ 37	„ 35,6	„	„ „ „ „ „ „ „ wenig „
„ 54	„ 32,6	„	„ HINTZE
„ 55	„ 19,1	„	„ „

Zu Nr. 36 und 37 sei bemerkt — der Vergleich der Analysenzahlen und der Ausrechnung der Silikate nach den Molekularquotienten zeigt, wie wenig man auf die direkten Analysenzahlen geben darf; die beiden Granaten, die DOELTER in verschiedene Gruppen der Spessartine stellt, haben dieselbe Molekularzahl des Almandinmoleküls.

Sehr deutlich heben sich unter den von mir berechneten Analysen die Spessartine mit über 50 % Spessartinsilikat heraus. Alle enthalten daneben überwiegend Almandin. Andradit, Grossular und Pyrop sind nur in geringer Menge vorhanden oder fehlen ganz. Hierher gehören folgende Analysen:

Nr. 30,	aus glimmerarmem Granit,
„ 35,	„ Pegmatit,
„ 36,	„ „
„ 37,	„ glimmerarmem Granit,
„ 54,	„ Granit,
„ 55,	„ „

#### Grossulare.

DOELTER (Handbuch, p. 882) teilt die Grossulare in die folgenden 5 Gruppen ein: a) eisenfreie, b) mit unbedeutendem Fe-Gehalt, c) mit geringem Fe-Gehalt, d) mit hohem Fe-Gehalt, e) Mn-reiche Granaten.

DOELTER'S Gruppen a und b gehören in meine Gruppe 2. Allerdings darf man den unbedeutenden Andraditgehalt nicht berücksichtigen. Die in DOELTER'S Gruppe c stehende Analyse gehört auch hierher, aber sie hat weder Almandin noch Andradit.

DOELTER'S Gruppe c teilt sich auf meine Gruppen 4 und 5 auf. In meine Gruppe 5 gehören die bei DOELTER unter d stehenden Analysen 81, 84, 85. Auch stimmt die DOELTER'SCHE Gruppe nur, wenn man den Andradit mitrechnet.

Unter den von mir berechneten Granaten war nur einer mit einem nennenswerten Spessartingehalt (No. 73); er steht bei DOELTER in der Gruppe e.



Ich habe die Grossulare in 5 Gruppen gebracht.

1. Gruppe. Nur No. 73 aus Quarzgang in einem Granit — hat einen beträchtlichen Gehalt an Spessartin. Das wäre also die an Spessartin reiche Gruppe.

2. Gruppe. Mit mehr als 90 % Grossular, Andradit fehlend oder nur Spuren; daneben in ganz verschwindender Menge die anderen Silikate, Pyrop am konstantesten; am wenigsten ist Almandin vertreten. Dazu gehören folgende Granaten:

Nr. 56 aus Kalk,

„ 75 „ Marmor,

„ 66 „ Kontakt mit Wollastonit und Calcit,

„ 59 „ Kalk,

„ 69 „ Kontakt an Kalk,

„ 91 „ Gestein unbekannt,

„ 50 „ Kalk,

„ 86 „ Vesuv,

„ 90 „ Gestein unbekannt,

„ 89 „ Gestein unbekannt,

„ 25 „ Marmor.

3. Gruppe. Mit 85 % Grossular und 10 % Pyrop; Spur von Spessartin. Dazu No. 27 — Gang in Granit mit Calcit, Quarz, Epidot, auch eingewachsen in Calcit.

4. Gruppe. Mit 90—72 % Grossular und 5—20 % Almandin. Hierher gehören:

No. 44 aus Kalk mit Vesuvian,

„ 65 „ Kontakt mit Wollastonit und Calcit,

„ 45 „ Kalk mit Vesuvian.

5. Gruppe. Grossular von 85—50%, Andradit von 6—45%. Hinsichtlich von Grossular und Andradit ist es eine gleichmäßig auf- bzw. absteigende Reihe. Es sind entweder überhaupt nur diese beiden Silikate vorhanden oder es sind die anderen Silikate teilweise da, aber nie mehr als 10 % ausmachend. Hierher gehören:

No. 83 aus Granathornfels,

„ 79 „ Kontakt, Monzoni,

„ 26 „ Serpentinkontakt,

„ 72 „ Quarzgang in glimmerschieferartigem Gneis, mit fast 5 % Spessartin,

„ 80 „ Serpentinkontakt,

„ 77 „ Granatfels am Kontakt von Quarzporphyr und Kalk,

„ 81 „ Serpentinkontakt,

„ 84 „ Granit und Wollastonit,

No. 85	aus Traversella,
„ 40	„ Serpentincontact,
„ 42	„ „
„ 94	„ Vesuv,
„ 9	„ Serpentincontact,
„ 7	„ „
„ 82	„ Wollastonitfels, wo dieser randlich in Erz übergeht,
„ 78	„ Granatfels am Contact von Quarzporphyr und Kalk.

### Pyrope.

Die Gliederung DOELTER's in Fe O-arme und Fe O-reiche Pyrope kommt für die von mir berechneten Analysen nicht in Betracht. Ich habe die Pyrope in 3 Gruppen gebracht:

1. G r u p p e. Weit über 80 % Pyrop; dazu meist nur Grossular; in geringer Menge manchmal Andradit, Almandin und Spessartin. Hierher gehören:

No. 28	aus Serpentin	}	nur mit Grossular,
„ 46	„ „		
„ 47	„ „	}	— mit Grossular und etwas Spessartin,
„ 34	„ „		
„ 23	„ „	}	mit Grossular und Andradit,
„ 13	„ „		
„ 29	„ „	—	mit Grossular und Almandin.

2. G r u p p e. Um 75 % Pyrop; von den anderen Silikaten tritt nur Almandin konstant auf. Hierher gehören:

No. 33	aus Peridotit,
„ 74	„ Serpentin,
„ 87	„ Gerölle.

3. G r u p p e. Knapp über 50 % Pyrop, mit beträchtlichem Grossulargehalt, über 10 % Almandin, ohne Andradit. Hierher kommt zu stehen

Nr. 24 aus Eklogit von Kimberley.

### Almandine.

In diesen Granaten geht der Almandingehalt von knapp über 50 % bis etwas über 85 %. Ich habe 4 Gruppen ausgeschieden.

1. G r u p p e. Almandin von 70—87 %; Pyrop von 8—11 %; Grossular von 2—11 %. Spessartin fehlt oder bleibt unter 5 %. Kein Andradit. Hierher gehören:

No. 21	aus Chloritschiefer,
„ 88	vielleicht aus einem Schietergestein,
„ 18	aus Glimmerschiefer.

2. Gruppe. Kein Andradit; Spessartin von 0,0—2,5 %; Grossular von 2,5—25,0 %; Pyrop von 12—35 %; Almandin von 50—65 %. Hierher gehören die Granaten:

- No. 3 aus Marmor,
- „ 16 „ Granulit,
- „ 17 „ Kinzingit,
- „ 39 „ Pegmatit,
- „ 14 „ Eklogit, mit 30,9 % Pyrop.

3. Gruppe. Mit mehr als 4 % Spessartingehalt. Spessartin von 4—22 %; Pyrop von 0,0—17,0 %; Grossular von 0,0—10,0 %; Andradit von 0,0—5,0 %; Almandin von 50,0—80,0 %. Hierher gehören:

- No. 1 aus Pegmatit,
- „ 51 „ Glimmerschiefer,
- „ 53 „ Granitgang,
- „ 38 „ Pegmatit,
- „ 48 „ Granitgang in Gneis.

4. Gruppe. Mit mehr als 5,0 % Andradit. Spessartin von 0,0—2,0 %; Grossular von 0,0—18,0 %; Pyrop von 0,0—16,0 %; Almandin von 55,0—75,0 %; Andradit von 5,0—20,0 %. Hierher gehören:

- No. 2 aus Glimmerschiefer,
- „ 4 „ „
- „ 12 „ Amphibolit.

#### Andradite.

DOELTER hat eine größere Anzahl von Gruppen aufgestellt, welche nur z. T. für diese Erörterung in Betracht kommen. Er unterscheidet: a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -freie; b) mit geringem Gehalt an  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; c) mit 2—5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; d) mit 5—10 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; e) mit über 10 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; f) Mischungen von Ca-Fe-Granaten mit Ca-Al-Granaten; g) mit hohem Mn-Gehalt.

Es entsprechen einander DOELTER's und meine Gruppen auf folgende Weise:

Gruppe a bei DOELTER	ist gleich	meiner	Gruppe	8
„ b „	„	„	„	6
„ c „	„	„	„	5
„ d „	„	„	meinen	Gruppen 1, 2, 4.

Ich habe die Andradite in die folgenden 8 Gruppen gebracht:

1. Gruppe. Nur Grossular und Andradit. Grossular von 30—50 %; Andradit von 50—70 %; hierher gehören:

- No. 8 aus Serpentinkontakt,
- „ 10 „ „
- „ 19 „ Gneis,
- „ 41 „ Serpentinkontakt,
- „ 71 „ Granatvesuvianfels.

2. Gruppe. Mit sehr geringen Mengen von Pyrop und Spessartin. Grossular von 30—50%, Andradit von 50—70%. Hierher gehören:

- No. 70 aus Granatvesuvianfels,
- „ 95 „ Kalk.

3. Gruppe. Andradit mit viel Grossular und etwas Almandin und Spessartin. Hierher gehört No. 5 aus Serpentinkontakt.

4. Gruppe. Andradit überwiegend, Grossular fast so viel wie in der 2. Gruppe; dazu Pyrop. Hierher No. 64 aus einem zersetzten Augitporphyr.

5. Gruppe. Andradit überwiegend, zu dem etwas Spessartin, Pyrop und Almandin kommen. Andradit von 80—90%, Grossular von 9—16%. Hierher gehören:

- No. 20 aus Kontakt von Granit an Kalk,
- „ 22 „ Gneis,
- „ 61 Melanit aus Fumarolen,
- „ 63 Kontakt von Granodiorit an Kalk.

6. Gruppe. Andradit ganz überwiegend. Die anderen Silikate in geringer Menge und immer nur teilweise vertreten, nur Pyrop und Grossular stellenweise über 5%. Andradit über 90%. Zu dieser Gruppe gehören:

- No. 43 aus Serpentinkontakt,
- „ 60 „ Asbest,
- „ 67 „ Kontakt,
- „ 68 „ „
- „ 92 „ Demantoid, Polewskoi,
- „ 93 „ „ „

7. Gruppe. Andradit ganz überwiegend, dazu nur Spessartin. Dazu ist zu stellen:

- No. 58 aus Serpentinkontakt.

8. Gruppe. Reine Andradite. Dazu gehören:

- Nr. 76 aus Serpentinkontakt,
- „ 57 „ „

**Granaten, in denen kein Silikat 50% erreicht.**

Hier können, je nach der Vormacht, 5 Gruppen unterschieden werden.

1. G r u p p e. Spessartinreiche Granaten. Spessartin von 35—45 %, Almandin von 20—50 %, Andradit von 0,0—20,0 %. Zu dieser Gruppe ist No. 31 aus Pegmatit zu stellen.

2. G r u p p e. Grossular vorwiegend; daneben viel Almandin und Pyrop; Spessartin tritt zurück und Andradit fehlt. Almandin von 30—36 %, Pyrop von 20—27 %, Grossular von 35—45 %. Hierher gehören:

No. 32 aus Eklogit,

„ 6 „ „

„ 49 „ granulitischem Gneis, aber mit sehr hohem Spessartingehalt.

3. G r u p p e. Pyrop etwas vorwiegend, sehr viel Almandin. Dazu gehört No. 15 aus Eklogit.

4. G r u p p e. Almandin etwas vorwiegend, mit sehr viel Spessartin. Hier ist Nr. 62 aus Glaukophanglimmerschiefer anzuführen.

5. G r u p p e. Almandin leicht im Übergewicht. Grossular von 21—32 %, Pyrop von 15—37 %, Almandin von 39—47 %, Andradit von 0,0—3 %. Dazu gehören:

No. 11 aus Eklogit,

„ 52 „ „

**Die Granaten und die Gesteine.**

Wir betrachten die Beziehungen der Granaten zu dem sie beherbergenden Gestein. In den meisten Fällen war es möglich, aus der Literatur mit hinreichender Genauigkeit das Gestein festzustellen. Es ergab sich eine recht gute Gliederung der Granaten in unterschiedliche Gesteinsgruppen.

**I. Pegmatitgranaten.**

Diese Granaten sind im wesentlichen Spessartine und an Spessartin reiche Granaten. Spessartin (DOELTER, Handbuch, p. 362) kommt besonders in granitischen Gesteinen und im Pegmatit vor. DOELTER sagt aber auch, daß er in kristallinen Schiefen auftrete — es sind da wohl in erster Linie geschieferte Pegmatite und das gleich anzuführende Vorkommen in den Chloritoidschiefern der Ardennen gemeint.

Es kommen hinsichtlich der letzteren in Betracht die Analysen von Ourt (HINTZE, p. 70, No. 5) und von Salm Chateau (HINTZE, p. 70, No. 4), deren Ausrechnung folgendes ergeben hat:

	Ourt	Salm Chateau
Spessartin . . .	34 %	89 %
Grossular . . .	32 %	—
Pyrop . . . . .	3 %	—
Almandin . . .	21 %	11 %
Andradit . . .	10 %	—

Bei diesen Mangangranaten liegt deshalb ein Sonderfall vor, weil die umhüllenden Gesteine, wie die Mineralisation zeigt, sehr reich an Mangan sind.

Die reinen Spessartine — das sind die schon früher aufgezählten (No. 30, 35, 36, 37, 54, 55) Granaten mit über 50 % Spessartingehalt — stammen aus Pegmatiten und glimmerarmen Graniten.

Daran schließen sich Granaten aus anderen Gruppen mit einem beträchtlichen Spessartingehalt:

aus den Grossularen	No. 73, Quarzgang in Granit,
	„ 72, Quarzgang,
aus den Almandinen	„ 1, Pegmatit,
	„ 38, „
	„ 53, Granitgang,
	„ 48, „
Granaten aus der Gruppe ohne	„ 31, Pegmatit,
vorwiegendes Silikat	„ 49, granulitischer Gneis.

Hierher gehört wohl auch No. 51, die aus einer in Glimmerschiefer liegenden Kupferkieslagerstätte stammt. No. 72 und 73 fallen aus den Pegmatitgranaten heraus; sie gehören wohl auch nicht zu dieser Gruppe wegen ihrer Paragenese und geologischen Stellung.

Man kann also zwei Abteilungen unterscheiden: reine Spessartine, das sind die Nr. 30, 35, 36, 37, 54, 55 und dazu noch die No. 49 und 31 (beide mit sehr hohem Spessartingehalt) und als zweite Abteilung die No. 1, 48, 38, 53, 51. Gemeinsam ist beiden Abteilungen der geringe Gehalt an Grossular und Andradit, ferner die Tatsache, daß in beiden Almandin und Spessartin eine aufsteigende Reihe bilden.

Folgende Prozentsätze ergeben sich in den Pegmatitgranaten für die einzelnen Silikate:

	rein Spessartine	zweite Abteilung
Spessartin . . . . .	39—79 %	4—22 %
Grossular . . . . .	0—13 %	0— 8 %
Pyrop . . . . .	0— 7 %	0—17 %
Almandin . . . . .	19—48 %	58—80 %
Andradit . . . . .	0—20 %	0— 5 %.

Dazu sei bemerkt, daß die nicht gut mit den Pegmatitgranaten übereinstimmende No. 39 nicht in die statistische Übersicht aufgenommen ist.

## II. Glimmerschiefergranaten.

Hierher gehören in erster Linie die Granaten aus den Glimmerschiefern, ferner die nicht weit davon abstehenden aus den Kinzingiten und einzelnen granulitischen Gesteinen; ferner sind dazu die Granaten aus den Chloritschiefern und Amphiboliten zu stellen. Alle sind *Almandine*.

Die Almandine verteilen sich, wie die früheren Auseinandersetzungen ergeben, auf verschiedene Gesteine:

1. Glimmerschiefer, dazu die No. 18, 2, 4. Eine fragliche Stellung nimmt die No. 62 (aus einem Glaukophanglimmerschiefer) ein, mit viel Spessartin; es ist aber nicht herauszubringen, in welcher Mineralgesellschaft der Granat auftritt. No. 3 nimmt eine Ausnahmestellung ein. Aber nur scheinbar, denn HERITSCH hat gezeigt, daß er in den Marmor eingequetscht ist und einem Hornblendegestein oder einem Glimmerschiefer entstammt. Dagegen hat No. 39 die Zusammensetzung eines Glimmerschiefergranaten, stammt aber aus einem Pegmatit.

2. Chloritschiefer und Amphibolit, dazu die No. 21 und 12, die beide den Glimmerschiefergranaten sehr nahe stehen.

3. Die No. 16 — aus Granulit — und 17 — aus Kinzingit — stehen zwischen den Granaten der Glimmerschiefer und der Pegmatite.

Für die drei genannten Abteilungen ergeben sich folgende Prozentverhältnisse:

	1. Abteilung	2. Abteilung	3. Abteilung
Spessartin . . . . .	0— 2 %	0— 3 %	0— 3 %
Grossular . . . . .	0— 8 %	10—18 %	3— 8 %
Pyrop . . . . .	0—14 %	8—16 %	27—33 %
Almandin . . . . .	66—87 %	59—79 %	62—65 %
Andradit . . . . .	0—20 %.	0— 8 %.	0— 0 %.

### III. Eklogitgranaten.

In dieser Gruppe steht die zu den Almandinen gehörende No. 14. Ferner gehören dazu aus der Gruppe der Granaten ohne bestimmte Silikatvormacht die Nummern 32 und 6 (aus der 2. Abteilung — mit Almandinvormacht), 15 (aus der 3. Abteilung — mit knapper Pyropvormacht), ferner 11 und 52 (aus der 5. Abteilung — mit leichtem Übergewicht von Almandin).

Die prozentuelle Verteilung der einzelnen Silikate zeigt die folgende Übersicht:

Spessartin . . . . .	0—3%
Grossular . . . . .	9—42%
Pyrop . . . . .	19—37%
Almandin . . . . .	33—57%
Andradit . . . . .	0—21%

### IV. Serpentinegranaten.

Diese Granaten sind Pyrope. In DOELTER's Handbuch (p. 613) findet sich die Feststellung, daß Pyrope häufig in peridotitischen Gesteinen und deren Abkömmlingen vorkommen. Nach LEMBERG findet er sich auch im Eklogit von Greifendorf, doch handelt es sich da wahrscheinlich um Einschlüsse, die aus dem benachbarten Serpentin stammen. Pyrop bildet sich nach DOELTER häufig in hohen Temperaturen. DOELTER's Bemerkung, Pyrop sei kein Bestandteil der kristallinen Schiefer, ist nur dann berechtigt, wenn man die massigen Serpentine, obwohl sie im Verbande mit kristallinen Schiefen vorkommen, nicht zu diesen rechnet. Aber nach der modernen petrotektonischen Auffassung muß man auch ungeschieferte Serpentine zu den kristallinen Schiefen stellen — nach der Definition der kristallinen Schiefer in textueller Hinsicht als von einem s und einem Aufbau aus Gefügeelementen beherrschten Gestein —, weil dann ungeschieferte Serpentine nicht aus kleinen Gefügeelementen bestehen, sondern ein solches Vorkommen ein einziges großes Gefügeelement sein kann — ferner in mineralogischer Hinsicht, weil auch massige Serpentine nicht mehr aus der Mineralgesellschaft des Ausgangsgesteines bestehen.

Die Einreihung der Pyrope in die Serpentinegesteine ist sehr klar ausgesprochen. Die früher ausgeschiedene 1. Gruppe der Pyrope



stammt ganz aus Serpentin. Von diesen führen neben dem ganz überwiegenden Pyrop die No. 28, 46, 47 überhaupt nur Grossular, 34 dazu noch Spessartin, 23 und 13 Grossular und Andradit, 29 Grossular und Almandin. No. 29 wird zwar aus Eklogit angegeben, dabei aber bemerkt, daß es sich um dieselben Granaten wie im benachbarten Serpentin handle und daß sie wahrscheinlich aus dem letzteren stammen.

An die erste Gruppe der Pyrope schließt sich ganz klar die zweite an mit den No. 33 und 74. No. 24 stammt aus dem sogenannten Eklogit von Kimberley, fällt aber aus der Gruppe der Eklogitgranaten durch seinen hohen Pyropgehalt heraus und nicht in die Gruppe der Serpentingranaten hinein wegen seines hohen Grossulargehaltes. Ich habe diese Analyse mit Vorsicht behandelt, weil es mir leider unbekannt ist, ob das Gestein wirklich ein unseren Eklogiten vergleichbares ist.

Die Serpentingranaten sind durch die nachstehenden Prozentverhältnisse charakterisiert:

Spessartin . . . . .	0— 1 %
Grossular . . . . .	0—36 %
Pyrop . . . . .	71—88 %
Almandin . . . . .	0—16 %
Andradit . . . . .	0— 9 %

### V. Marmorgranaten.

Diese Granaten sind Grossulare. Nach DOELTER's Handbuch (p. 882) kommen die Grossulare in den Kalken der kristallinen Schiefer vor, ferner, wie er sagt, als Kontaktprodukte (Bildung bei höherer Temperatur, aber nicht im Schmelzfluß), in Granatfels, Paragneisen und Kalksilikathornfelsen an Tiefengesteinskontakten.

Hier sind zuerst zu nennen die Granaten aus der 2.—4. Gruppe der Grossulare; No. 27, 56, 75, 59, 50, 25. Knapp an der Grenze von Grossular und Andradit steht No. 95 (2. Gruppe der Andradite).

Die Prozentverhältnisse dieser Gruppe stellen sich in folgender Weise dar:

Spessartin . . . . .	0— 3 %
Grossular . . . . .	89—100 %
Pyrop . . . . .	0— 10 %
Almandin . . . . .	0— 5 %
Andradit . . . . .	0— 0 %.

### VI. Marmorkontaktgranaten.

Auch diese Granaten sind Grossulare. Sie sind aber nicht, wie DOELTER meint, an Tiefengesteinskontakte gebunden. Zum Teil sind es aber auch Andradite. Daher werden zwei Abteilungen unterschieden werden müssen.

In die erste Abteilung gehören Granaten von Kontakten an Kalken; sie stammen aus der 2.—4. Gruppe der Grossulare (No. 44, 45, 65, 66, 69, dann No. 86 aus einem Sommablock, dazu aus der 5. Gruppe der Grossulare die No. 77, 79, 84).

Für diese Abteilung ergibt sich folgende Anordnung der Prozentverhältnisse:

Spessartin . . . . .	0—4 %
Grossular . . . . .	72—98 %
Pyrop . . . . .	0—7 %
Almandin . . . . .	0—21 %
Andradit . . . . .	0—20 %.

Von den hierher gehörigen Granaten stammen 44 und 45 aus Kalk mit Vesuvian, 65 und 66 von Cziklova, 69 von einem Gabbrokontakt, 77 von Kontakt an Quarzporphyr, 79 von Monzoni, 84 aus Granit, 86 aus einem Sommablock. Geologisch sind die Abteilungen 1 und 2 kaum verschieden. Immer sind es Kontakte an massigen Gesteinen. Verschieden ist nur der Gehalt an Andradit.

In der 2. Abteilung stehen Grossulare und Andradite. Von den Andraditen sagt DOELTER, daß sie in manchen Eruptivgesteinen, auch in Ergußgesteinen vorkommen und wahrscheinlich nicht aus einer Schmelze gebildet worden sind, sondern daß sie in der Tiefe im vulkanischen Herd entstanden, denn sie zersetzen sich in der Schmelze.

In die 2. Abteilung gehören die No. 79, 78, 82 (aus einem Wollastonitfels), 94 (vom Vesuv) — alle diese gehören in die 5. Gruppe der Grossulare. In dieser 5. Gruppe bleibt überhaupt nur No. 85 (von Traversella) übrig, der wegen ungenügender Literaturangabe nicht in ein Gestein einzureihen ist. Dazu kommt noch die aus einem zersetzten Augitporphyr stammende No. 64 (4. Gruppe der Andradite). Ferner sind aus der 5. Gruppe der Andradite die No. 20 und 63, aus der 6. Gruppe der Andradite die No. 67 und 68 hierher zu stellen. Bezüglich der No. 63 sei besonders auf die Ausführungen von A. BERGEAT (Dies. Jahrb. Beil.-Bd. XXVIII) und E. BERGEAT (dieselbe Zeitschrift, Beil.-Bd. XXX) verwiesen.

Die prozentuale Verteilung der Silikate ist in der zweiten Abteilung die nachstehende:

Spessartin . . . . .	0—4 %
Grossular . . . . .	2—59 %
Pyrop . . . . .	0—8 %
Almandin . . . . .	0—8 %
Andradit . . . . .	34—94 %.

An die Marmorkontaktgranaten schließen sich die anderen Kontaktgranaten an, nämlich:

No. 83 aus Granathornfels (5. Gruppe der Grossulare),
„ 71 „ Granatvesuvianfels (1. Gruppe der Andradite),
„ 70 „ „ (2. „ „ „).

Von diesen stimmen No. 83 mit der ersten, No. 70 und 71 mit der zweiten Abteilung der Marmorkontaktgranaten überein.

### VII. Serpentinkontaktgranaten.

Die geologischen Vorkommnisse dieser Granaten gehen, soweit wenigstens die von mir zu überschauenden alpinen Verhältnisse in Betracht kommen, zwar unter dem Namen Serpentinkontakt, aber es handelt sich da sicher nicht um echte Kontakte, sondern um Bildungen am Rande von Serpentin, die in irgend einer noch genauer zu untersuchenden Art und Weise mit der Metamorphose, die ja auch die Umformung der peridotischen Gesteine zu Serpentin bewirkte, zusammenhängt.

Die sogenannten Serpentinkontaktgranaten sind Grossulare mit einem zum Teil sehr beträchtlichen Andraditgehalt. Hierher gehören aus der 5. Gruppe der Grossulare die No. 26, 80, 81, 40, 42, 9, 7.

Wie die Analysen zeigen, überschreiten die sogenannten Serpentinkontaktgranaten die Grenze von Grossular zu Andradit, denn wir finden sie wieder in der 1. Gruppe der Andradite — No. 8, 10, 41 —, in der 2. Gruppe der Andradite — No. 5 —, in der 6. Gruppe der Andradite — No. 43 —, in der 7. Gruppe der Andradite — No. 58 —, in der 8. Gruppe der Andradite — No. 57 (dazu wohl auch No. 76).

Die Granaten der sogenannten Serpentinkontakte reichen daher tief in die Andradite hinein. Die Verteilung der prozentualen Verhältnisse ist folgende:

Spessartin . . . . .	0— 6%
Grossular . . . . .	0— 93%
Pyrop . . . . .	0— 6%
Almandin . . . . .	0— 10%
Andradit . . . . .	8—100%

### VIII. Restliche Granaten.

Unbestimmbar oder unsicher nach dem Gestein blieben die No. 89, 90, 91, 85, 87, 88, 19, 22, 62.

### Schluß.

In der beistehenden Tabelle ist eine zusammenfassende Übersicht der Verteilung der Granatsilikate in den einzelnen Gruppen gegeben. Klar und wohl umgrenzt heben sich die beiden Gruppen der Pegmatitgranaten heraus. Dasselbe ist der Fall bei den Glimmerschiefergranaten, die sich nur durch den wesentlich geringeren Spessartingehalt von der zweiten Gruppe der Pegmatitgranaten unterscheiden. Die Eklogitgranaten sind durch das Zurücktreten des Almandins und die höheren Werte für Pyrop und Grossular von den Glimmerschiefergranaten getrennt. Eine ausgezeichnete Gruppe sind die Serpentinegranaten, wohl charakterisiert durch die hohe Pyropzahl. Die Marmorgranaten sind durch die bedeutende Menge von Grossular ausgezeichnet. Von ihnen unterscheiden sich die Marmorkontaktgranaten meist nur durch die höhere Andraditzahl; in dieser Gruppe gibt es Glieder, die den Marmorgranaten sehr nahe stehen, doch ist meist der Grossulargehalt geringer als bei den Marmorgranaten. Dasselbe ist hinsichtlich des Grossulars bei der Gruppe der Serpentinekontaktgranaten der Fall, die von Granaten mit hohem Grossulargehalt bis zu reinen Andraditen gehen. Diese Gruppe ist überhaupt die weiteste unter allen ausgeschiedenen Gruppen.

	Pegmatitgranaten		Glimmerschiefergranaten			Eklogitgranaten
	reine Spessartine	2. Abt.	1. Abt.	2. Abt.	3. Abt.	
Spessartin . . . . .	33—79	4—22	0— 2	0— 3	0— 3	0— 3
Grossular . . . . .	0—13	0— 8	0— 9	10—18	3— 8	9—42
Pyrop . . . . .	0— 7	0—17	0—14	8—10	27—33	19—37
Almandin . . . . .	19—48	58—80	66—87	59—79	62—65	33—57
Andradit . . . . .	0—20	0— 5	0—20	0— 8	0— 0	0—21

	Serpentin- granaten	Marmor- granaten	Marmorkontakt- granaten		Serpentin- kontakt- granaten
			1. Abt.	2. Abt.	
Spessartin . . . . .	0— 1	0— 3	0— 4	0— 4	0— 6
Grossular . . . . .	0—36	89—100	72—98	2—59	0— 93
Pyrop . . . . .	71—88	0— 10	0— 7	0— 8	0— 6
Almandin . . . . .	0—16	0— 5	0—21	0— 8	0— 10
Andradit . . . . .	0— 9	0— 0	0—20	34—94	8—100

## B. Die Beziehungen der Granatsilikate zueinander.

Die im ersten Teil angeführten Molekularquotienten (p. 63) der Granatanalysen wurden zur Erörterung der Frage verwendet, ob sich, berechnet nach einer Methode mit Dreiecksprojektionen, direkte Übergangsreihen zwischen je zwei Silikaten ergeben. Diese Untersuchung wurde rein statistisch durchgeführt, ohne daß chemisch-physikalische Schlüsse gezogen werden.

Mit der Frage nach der isomorphen Mischbarkeit der Granatsilikate hat sich bekanntlich БОЕКЕ beschäftigt. Meine im folgenden dargestellte, rein statistische Untersuchung mag ihre Berechtigung darin haben, daß eine neue Methode angewendet wurde.

Die für die nun folgende Untersuchung verwendete Methode beruht darin, daß je drei von den Granatsilikaten auf 100 umgerechnet und in Dreiecke projiziert wurden. Die ausgerechneten Zahlen werden hier nicht angeführt, weil sie ja sowieso leicht nachzurechnen sind. Um die Projektionen nicht allzu groß machen zu müssen, wurden die einzelnen Projektionspunkte der Analysen nicht numeriert.

Bei dieser Methode sind die folgenden 60 Kombinationen möglich:

1. Grossular-Spessartin-Pyrop Fig. 2 c.
2. „ „ Almandin, Fig. 3 a.
3. „ „ Andradit, s. 10.
4. „ Pyrop-Spessartin, s. 1.
5. „ „ Almandin, Fig. 3 b.
6. „ „ Andradit, s. 12.
7. „ Almandin-Spessartin, s. 2.
8. „ „ Pyrop, s. 5.
9. „ „ Andradit, s. 11.
10. „ Andradit-Spessartin, Fig. 1 a.
11. „ „ Almandin, Fig. 1 c.
12. „ „ Pyrop, Fig. 1 b.
13. Pyrop - Almandin-Spessartin, Fig. 2 b.

14. Pyrop - Almandin-Grossular, s. 5.
15. „ „ Andradit, Fig. 2 a.
16. „ Grossular-Spessartin, s. 1.
17. „ „ Almandin, s. 5.
18. „ „ Andradit, s. 12.
19. „ Spessartin-Grossular, s. 1.
20. „ „ Almandin, s. 13.
21. „ „ Andradit, Fig. 3 c.
22. „ Andradit-Spessartin, s. 21.
23. „ „ Grossular, s. 12.
24. „ „ Almandin, s. 15.
25. Almandin-Spessartin-Grossular, s. 2.
26. „ „ Pyrop, s. 13.
27. „ „ Andradit, Fig. 4 a.
28. „ Grossular-Spessartin, s. 2.
29. „ „ Pyrop, s. 5.
30. „ „ Andradit, s. 11.
31. „ Pyrop - Spessartin, s. 13.
32. „ „ Grossular, s. 5.
33. „ „ Andradit, s. 15.
34. „ Andradit - Spessartin, s. 27.
35. „ „ Grossular- s. 11.
36. „ „ Pyrop, s. 15.
37. Spessartin -Almandin-Grossular, s. 2.
38. „ „ Pyrop, s. 13.
39. „ „ Andradit, s. 27.
40. „ Grossular -Pyrop, s. 1.
41. „ „ Almandin, s. 2.
42. „ „ Andradit, s. 10.
43. „ Pyrop- Grossular, s. 1.
44. „ „ Almandin, s. 13.
45. „ „ Andradit, s. 21.
46. „ Andradit - Grossular, s. 10.
47. „ „ Almandin, s. 27.
48. „ „ Pyrop, s. 21.
49. Andradit - Spessartin-Grossular, s. 10.
50. „ „ Pyrop, s. 21.
51. „ „ Almandin, s. 27.
52. „ Grossular- Spessartin, s. 10.
53. „ „ Pyrop, s. 12.
54. „ „ Almandin, s. 11.
55. „ Pyrop- Spessartin, s. 21.
56. „ „ Grossular, s. 12.
57. „ „ Almandin, s. 15.
58. „ Almandin-Spessartin, s. 27.
59. „ „ Spessartin, s. 11.
60. „ „ Pyrop, s. 15.

Da sich jede Kombination sechsmal wiederholt, ergeben sich 10 Dreiecke. Ferner wurden die Analysen in weiteren 10 Dreiecken derart kombiniert, daß immer zwei Silikate der Summe der drei anderen gegenübergestellt wurden. Es werden im folgenden die 20 möglichen Kombinationen aufgeführt:

1. Almandin - Andradit - Rest, Fig. 4 b.
2. „ Grossular- „ „ 5 a.
3. „ Pyrop- „ „ 6 a.
4. „ Spessartin- „ „ 6 b.
5. Spessartin-Almandin - „ s. 4.
6. „ Pyrop- „ Fig. 6 c.
7. „ Grossular- „ „ 7 a.
8. „ Andradit - „ „ 4 c.
9. Pyrop- Spessartin- „ s. 6.
10. „ Almandin- „ s. 3.
11. „ Grossular- „ Fig. 7 b.
12. „ Andradit - „ „ 5 c.
13. Grossular- Spessartin- „ s. 7.
14. „ Almandin - „ s. 2.
15. „ Pyrop- „ s. 11.
16. „ Andradit - „ Fig. 5 b.
17. Andradit - Spessartin- „ s. 8.
18. „ Almandin- „ s. 1.
19. „ Pyrop- „ s. 12.
20. „ Grossular- „ s. 16.

Die Betrachtung der Projektionen ergibt nun die im folgenden gemachten Feststellungen.

I. **S p e s s a r t i n**. Bezeichnend ist bei allen diesen Projektionen die geringe Beteiligung des Mittelfeldes der Dreiecke.

1. Das Verhalten zum Grossular ist verschieden je nach der Art der dritten Komponente. Zwischen Spessartin und Grossular beobachtet man einen dürtigen Übergang, wenn Andradit, eine große Lücke, wenn Pyrop, eine Lücke von mehr als 80 %, wenn Almandin die dritte Komponente ist.

Bei der Projektion Spessartin - Grossular - Rest sieht man konform den obigen Ergebnissen kein Übergangsglied. Damit steht die Feststellung von BOEKE (Zeitschrift f. Kristallographie, **53**. und Grundlagen d. chem. Petrographie) im Einklang, daß Grossular den Spessartin nur in geringer Menge aufnimmt.

2. Zwischen Spessartin und Almandin hat man bei Anwesenheit von Andradit eine ziemlich geschlossene Übergangsreihe,

bei Anwesenheit von Grossular zwei große Lücken, bei Anwesenheit von Pyrop eine recht geschlossene Übergangsreihe.

In der Projektion Spessartin-Almandin-Rest sieht man zwischen den beiden erstgenannten zwei große Lücken und eine nicht unbeträchtliche Besetzung des Mittelfeldes gegen die Ecke „Rest“ zu.

Nach BOEKE besteht zwischen Spessartin und Almandin eine lückenlose Reihe von Mischkristallen. Das stimmt insoweit mit meinem Befund überein, als wenigstens z. T. ein recht geschlossener Übergang vorhanden ist.

3. Zwischen Spessartin und Pyrop hat man keinen Übergang, wenn Almandin, eine sehr lückenhafte Übergangsreihe, wenn Grossular, eine große Lücke von 53 % bis 95 % Pyrop, wenn Andradit als dritte Komponente vorhanden ist.

In der Projektion Spessartin - Pyrop - Rest ist die Strecke zwischen den beiden ersteren so schwach besetzt, daß man von keinem Übergang reden kann.

Auch BOEKE findet ausgedehnte Mischungslücken zwischen Pyrop und Spessartin, die weit in das Innere seines Dreieckes gehen.

4. In der Projektion Spessartin-Andradit fehlt jedes Übergangsglied, wenn Almandin, es sind zwei große, fast das ganze Dreieck einnehmende Lücken zu sehen, wenn Grossular, und es sind zwei große Lücken zwischen 10 bis 35 % Pyrop und 11 bis 40 % Andradit da, wenn Pyrop die dritte Komponente ist.

In der Projektion Spessartin - Andradit - Rest ergibt sich zwischen den beiden ersteren kein Übergangsglied.

II. Almandin. Nur bei Anwesenheit von Pyrop tritt eine stärkere Besetzung des Mittelfeldes ein.

1. Hinsichtlich der Beziehung von Almandin zu Spessartin siehe bei dem letzteren unter 2.

2. In den Dreiecken mit Zutritt von Pyrop ergibt sich eine Besetzung des Mittelfeldes der Dreiecke. In den Dreiecken Almandin - Pyrop hat man bei Anwesenheit von Spessartin als dritter Komponente einen recht geschlossenen Übergang, der nur zwischen 60 % und 80 % Pyrop eine Lücke hat, bei Anwesenheit von Grossular gibt es eine Lücke zwischen 30 und 80 % Almandin, bei Anwesenheit von Andradit eine Lücke zwischen 25 und 55 % Almandin. In der Projektion mit dem Rest als dritte Ecke ergibt sich zwischen Almandin und Pyrop eine Lücke von 0 bis 65 %, eventuell 85 % Almandin, bei einer starken Besetzung des Mittelfeldes.



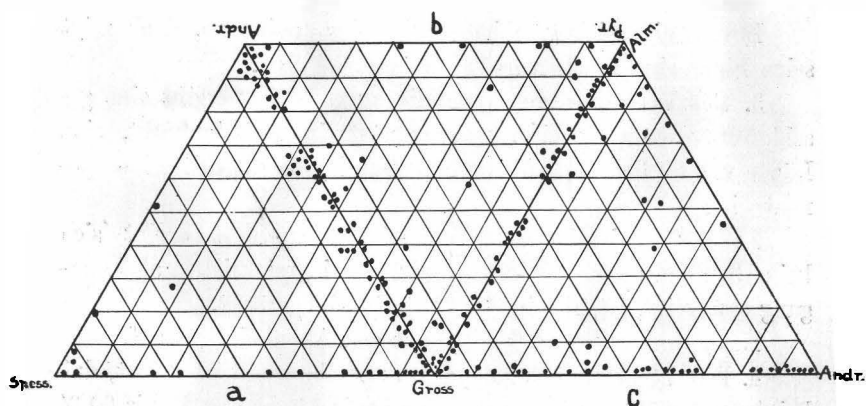


Fig. 1.

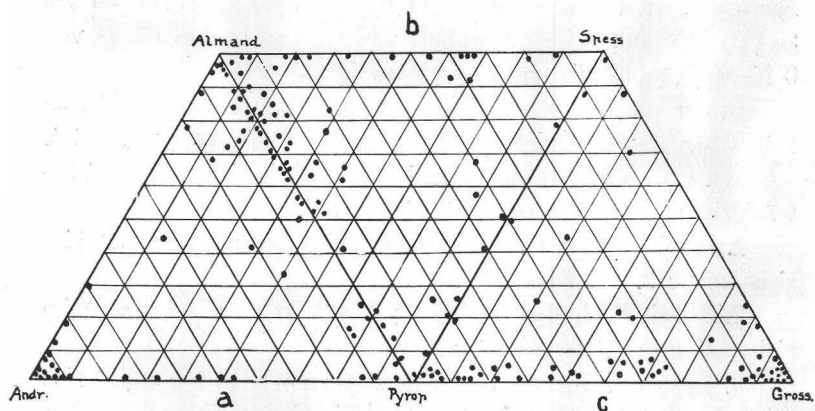


Fig. 2.

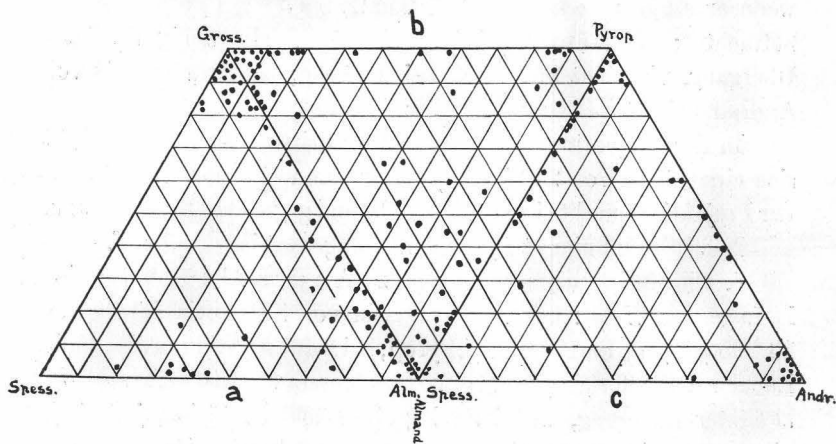


Fig. 3.

BOEKE gibt eine geschlossene Mischungsreihe an, doch zeigt seine Figur eine Lücke von 75 bis 100 % Pyrop.

3. Das Verhalten von Almandin zu Grossular ergibt eine geschlossene Übergangsreihe, wenn Spessartin und Andradit, eine Lücke von 22 bis 82 % Almandin, wenn Pyrop die dritte Komponente ist.

In der Projektion Almandin - Grossular - Rest ergibt sich kein Übergang; das, was in den obigen drei Projektionen als Übergang sich zeigt, ist hier in das Mittelfeld eingerückt.

Nach BOEKE nimmt Kalkgranat den Almandin gut auf.

4. Das Verhalten des Almandins zum Andradit ist derart, daß bei Anwesenheit von Spessartin eine große Lücke von 13 bis 60 % Almandin, bei Vorhandensein von Pyrop eine Lücke von 30 bis 80 % Almandin, bei Anwesenheit von Grossular eine Lücke von 0 bis 65 % Almandin zu beobachten ist.

In der Projektion mit dem Rest als dritten Punkt ergibt sich kein Übergang, dafür ist das Mittelfeld des Dreieckes gut besetzt.

III. P y r o p. Bei diesen Projektionen fällt die meist recht beträchtliche Besetzung des Mittelfeldes auf.

1. Hinsichtlich des Verhaltens von P y r o p zu S p e s s a r t i n siehe unter 3. bei Spessartin.

2. Hinsichtlich der Beziehung von P y r o p zu A l m a n d i n siehe bei dem letzteren unter 2.

3. In dem Verhalten von G r o s s u l a r zu Pyrop ergibt sich folgendes: bei Anwesenheit von Spessartin eine geschlossene Reihe, wenn man nicht die kleine Lücke von 20 bis 30 % Pyrop als solche betrachtet; bei Anwesenheit von Almandin ein wenig besetzter Übergang, vielleicht aber doch keine Lücke; bei Anwesenheit von Andradit ein lückenloser Übergang.

In der Projektion mit dem Rest als dritte Komponente ergibt sich eine Lücke von 25 bis 80 % Grossular wegen des Wegrückens der Projektionspunkte in das Mittelfeld und gegen den Restpunkt zu.

Nach BOEKE nimmt Pyrop den Kalkgranat isomorph auf.

4. Die Beziehungen von Pyrop zu A n d r a d i t gestalten sich in folgender Weise: bei Vorhandensein von Spessartin Lücke von 10–35 % Pyrop und 60–90 % Pyrop; bei Anwesenheit von Almandin Lücke von 15–35 % Pyrop; bei Vorhandensein von Grossular schlecht besetzter Übergang, wobei zwei große Lücken möglich, jedenfalls aber eine zwischen 10 und 40 % Pyrop vorhanden ist.

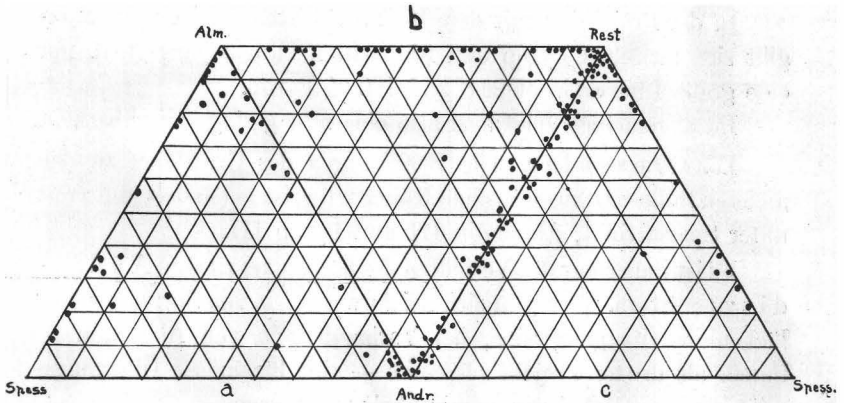


Fig. 4.

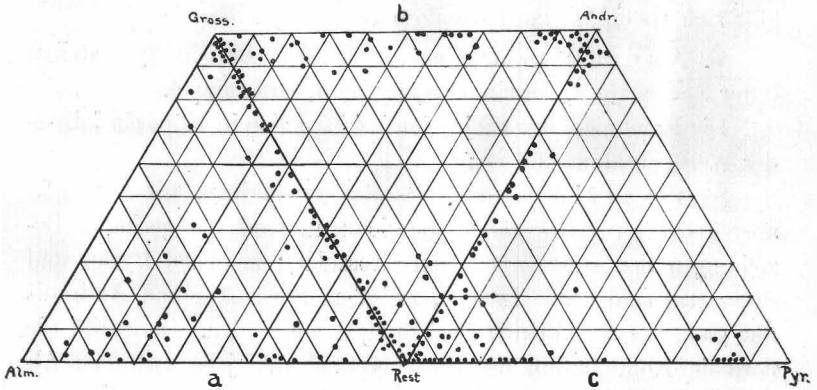


Fig. 5.

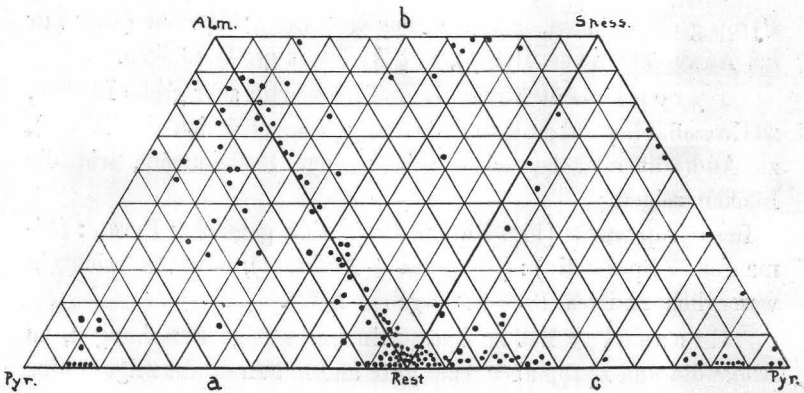


Fig. 6.

In der Projektion mit dem Rest als drittem Dreieckspunkt ergibt sich zwischen Pyrop und Andradit kein Übergangsglied, nur eine große Lücke zwischen 8 und 100 % Pyrop.

Im allgemeinen zeigt sich also eine sehr geringe Mischbarkeit.

IV. **Grossular**. Die Beziehungen des Grossulars zu den anderen Silikaten wurden schon früher teilweise behandelt und zwar unter Spessartin I, Almandin III und Pyrop III.

Es ist daher nur das Verhalten des Grossulars zu dem **Andradit** zu erörtern. Es ergibt sich bei Anwesenheit von Spessartin eine lückenlose Übergangsreihe, bei Vorhandensein von Almandin — immer als dritter Projektionspunkt — eine lückenlose Übergangsreihe ebenso wie bei der Anwesenheit von Pyrop.

In der Projektion mit dem Rest als drittem Projektionspunkt ergibt sich ebenfalls eine lückenlose Übergangsreihe.

V. **Andradit**. Die entsprechenden Beziehungen stehen unter Spessartin 4, Almandin 4, Pyrop 4, Grossular 4.

Die Ergebnisse der Projektionen lassen sich in Kürze in folgender Weise zusammenfassen:

**Spessartin** hat mit Grossular nur geringe, mit Almandin aber recht gute Übergänge (bezeichnend sind die geringen Beziehungen bei Anwesenheit von Grossular); zwischen Pyrop und Spessartin sind große Lücken, zwischen Spessartin und Andradit nur ganz verschwindende Beziehungen vorhanden. Daher ist die normale Kombination des Spessartinmoleküls jene mit dem Almandin.

**Almandin** hat mit Spessartin einen direkten Übergang, mit Pyrop große Lücken, mit Grossular eine Übergangsreihe (aber nur bei Anwesenheit von Pyrop), mit Andradit große Lücken.

**Pyrop** hat mit Almandin und Spessartin sehr große Lücken, zu Grossular besteht ein guter Übergang (wahrscheinlich ohne Lücke), zu Andradit aber herrschen sehr geringe Beziehungen, wie die Lücken zeigen.

Bei Pyrop wurde (Fig. 7 c) die Projektion gemacht: Pyrop : (Almandin + Spessartin) : (Grossular + Andradit), ohne daß sich ein wesentlich anderes Resultat ergeben hätte.

**Grossular** hat zu Spessartin nur wenige Beziehungen, zu Almandin und Pyrop aber recht gute und mit Andradit zeigt er eine vollständige Übergangsreihe.

Andradit hat zu Spessartin Beziehungen nur in verschwindendem Maße, zu Pyrop sehr wenige, zu Almandin Beziehungen mit großen Lücken und mit Grossular eine vollständige Übergangsreihe.

Ganz allgemein gilt es, daß das Mittelfeld der Dreiecke bei der Projektion von drei Silikaten nicht frei ist, wenn Pyrop in der Kombination liegt; da ist es z. T. stark besetzt, d. h. die Granaten mittlerer Zusammensetzung sind Pyrope.

Bei der Projektion von zwei Silikaten mit dem Rest ist das Mittelfeld nicht ganz frei, wenn bei lebhafter Spessartinbeteiligung der Almandin das zweite Silikat ist, wenn Pyrop und Almandin oder

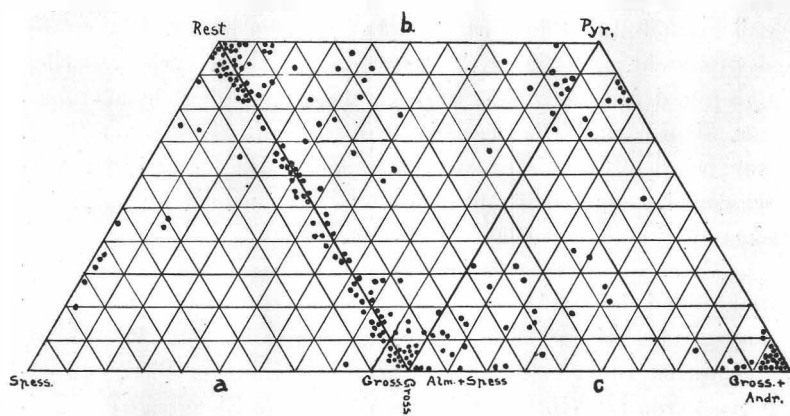


Fig. 7.

Almandin und Grossular oder Almandin und Pyrop mit den entsprechenden Resten projiziert werden. Dagegen ist in jeder Kombination mit Andradit das Mittelfeld frei, d. h. Andradit hat nur in der Richtung zum Grossular direkte Übergangsreihen, sonst aber ist das nicht der Fall.

Zu einem Vergleich der vorstehenden Ergebnisse mit den Feststellungen von BOEKE ist folgendes zu sagen:

Bezüglich des Spessartines stimmen meine Ergebnisse mit jenen von BOEKE vollkommen überein.

Hinsichtlich der Beziehungen von Pyrop zu Almandin ist eine kleine Divergenz vorhanden, da BOEKE eine geschlossene Mischungsreihe angibt. Der Unterschied mag an der von mir verwendeten Methode liegen, die gleichsam die in der Natur nicht verwirklichten

Idealfälle annimmt, nämlich den Fall, daß immer nur drei Silikate nebeneinander vorkommen.

BOEKE hat festgestellt, daß Pyrop den Kalkgranat isomorph aufnimmt.

In der Fig. 7 [Dreieck Pyrop : (Almandin + Sopedartin) : (Grossular + Andradit)] ist im wesentlichen dasselbe gegeben, was die Figur bei BOEKE (Zeitschr. f. Kristallographie, 53. p. 154) bringt. Aus der Figur BOEKE's geht hervor, daß Pyrop, Almandin und Spessartin einerseits und Grossular und Andradit andererseits durch eine breite Mischungslücke getrennt sind.

Dieser Mischungslücke entspricht die gewöhnliche Auffassung, daß Fe und Mg zueinander enge Beziehungen haben, während Ca abseits steht. Mit dieser Auffassung stimmt die Lücke zwischen Pyrop und Almandin nicht überein; diese Lücke besteht allerdings nur, wenn man die beiden Glieder direkt miteinander verbindet, was bei den natürlichen Granaten nicht der Fall ist. Sie verschwindet, wenn man die Granaten mit einem geringen Anteil einer dritten Komponente betrachtet.

Man sollte — von der Annahme einer engen Beziehung von Mg und Fe und einer viel loseren Beziehung von Mg und Ca zueinander ausgehend — eigentlich erwarten, daß Almandin und Pyrop durch eine dichte Übergangsreihe miteinander verbunden seien, daß dagegen Pyrop und Grossular eine weniger dichte Übergangsreihe aufweisen. Man sieht aber zwischen dem reinen Almandin und dem reinen Pyrop eine ununterbrochene Übergangsreihe, andererseits zwischen reinem Grossular und reinem Pyrop einen recht geschlossenen Übergang, wenn Spessartin und Andradit und auch wenn Almandin als dritte Komponente vorhanden ist.

Sollte in diesen Fällen das Gitter eine Rolle spielen?

Nach BOEKE besteht zwischen Pyrop und Almandin eine ununterbrochene Mischungsreihe. Wenn ich, wie das bei den ganzen Erörterungen geschehen ist, das Verhältnis der Granatsilikate nicht chemisch-physikalisch, sondern rein statistisch auffasse, so stellt sich das in folgender Weise dar:

Auf der direkten Linie Pyrop-Almandin ist bei Grossular als dritter Komponente zwar kein geschlossener Übergang vorhanden, der Übergang ist in das Mittelfeld gerückt, d. h. das Übergangsfeld ist vorhanden in den Granaten mit einem kleinen Grossulargehalt.

Dagegen ist bei Andradit als dritter Komponente eine Lücke

vorhanden, die z. T. durch die in das Mittelfeld eingerückten Projektionspunkte überbrückt wird.

Bei Spessartin als dritter Komponente ist eine z. T. dichte Besetzung der direkten Linie Almandin-Pyrop vorhanden und es kann vielleicht auf eine Lücke geschlossen werden (zwischen 60 und 80 % Pyrop), was aber durchaus nicht sicher ist.

So weichen die Ergebnisse nicht wesentlich von jenen BOEKE's ab.

Dasselbe gilt für das Verhältnis Pyrop-Grossular, zwischen welchen nach BOEKE isomorphe Mischungsverhältnisse bestehen.

Nun ist noch die Frage zu erörtern, welches Silikat sich als höchstzählendes anschließt, wenn ein anderes Silikat 60 % überschreitet. Damit kehrt die Untersuchung wieder in die Nähe der Gedankengänge des ersten Teiles dieser Auseinandersetzungen zurück.

Bei Spessartin liegt die Sache derart, daß sich an das Spessartinmolekül sich immer das Almandinmolekül in der Weise anschließt, daß die beiden zusammen fast 100 % ausmachen.

Beim Grossularmolekül ist die häufigste Verbindung jene mit dem Andraditmolekül, wobei eventuell nur dieses letztere auftritt (bei Granaten aus Serpentinkontakten); oder es tritt das Almandinmolekül in nicht unbeträchtlicher Menge dazu (Granaten aus Serpentinkontakten); oder es sind neben dem herrschenden Grossular und stark vertretenen Andradit die anderen Silikate wenigstens teilweise vorhanden (Granaten aus Granatfels im Kontakt, verschiedene andere Kontakte, aus Quarzgang in Gneis, dann etwas Spessartin).

Ganz überwiegenden Grossular mit etwas Pyrop und Almandin zeigen die Granaten aus Marmoren.

In Marmoren und auch in Kontakten mit Wollastonit ist die Kombination von überwiegendem Grossular nebst etwas Pyrop verbreitet, während die anderen Silikate entweder fehlen oder nur in sehr geringer Menge vorhanden sind.

Die Verbindung mit Pyrop könnte in Hinsicht auf die Gitter als wichtig angesehen werden. Sie findet sich auch in Granaten aus Granathornfelsen und aus Gängen in Graniten.

Grossular als überwiegendes Silikat, dazu Almandin in der Menge an zweiter Stelle, die anderen Silikate in geringer Menge findet sich in Kalk mit Vesuvian — darunter auch solche mit recht reichlichem Pyrop.

Ein Sonderfall ist die Verbindung des überwiegenden Grossulars mit Spessartin, aus einem Quarzgang in Gneis stammend. Ebenso ist die Verbindung von viel Grossular nur mit Spessartin eine Besonderheit, aus der Auflösung von Kalk an einem Gabbro stammend.

Bei Granaten mit mehr als 60 % Gehalt an Pyropsilikat kommt niemals Spessartin als Komponente des Aufbaues vor. Andradit tritt nur in 40 % der Fälle auf und dabei niemals als zweitgrößte Komponente nach dem Pyrop. Ähnliches gilt für den Almandin, der nur in zwei Fällen als zweitgrößte Komponente vorhanden ist.

Die normale Verbindung des Pyropes — in 90 % der Fälle realisiert — ist die mit dem Grossular, der in 80 % der Fälle die stärkste Prozentzahl des Moleküls nach dem Pyrop hat. Das ist bemerkenswert wegen der näheren Beziehungen von Mg zu Fe als zu Ca — vielleicht spielt doch das Gitter eine Rolle? Im übrigen sei bemerkt, daß alle Granaten mit mehr als 70 % Pyropmolekül aus Serpentin und ähnlichen Gesteinen stammen.

Die Granaten mit über 60 % Almandinmolekül kommen in Verbindung mit Spessartin in Pegmatiten und ähnlichem vor; dann ist Spessartin die zweitgrößte Komponente, der nur Pyrop gleichkommen kann.

Die Verbindung des überwiegenden Almandinmoleküls mit Grossular ist nur in Chloritschiefern gegeben, in denen sich aber nicht viel weniger Pyrop befindet.

Die Verbindung mit Pyrop als zweitgrößter Komponente hat man bei einem Almandin aus Pegmatit, ebenso bei einem Granaten aus einem Granitgang — beide mit einem relativ hohen Spessartingehalt, ferner ohne Spessartin, aber mit einem beträchtlichen Pyropgehalt in einem Granaten aus Kinzingit und mit etwas Spessartin bei einem Granaten aus Granulit.

Andradit als zweitgrößte Komponente hat man in einem Granaten aus Glimmerschiefer.

Es ergibt sich also bei den Almandinen keine so schöne und klare Anordnung wie bei den Pyropen.

Die Granaten mit mehr als 60 % Andraditmolekül zeigen nur bei einem Granaten aus Serpentinkontakt die Verbindung ausschließlich mit Spessartin; sonst ist immer nur ein geringer Spessartingehalt da.



Die Verbindung mit dem Pyropmolekül zeigt nur einen Granat aus einem Serpentinkontakt.

Die normale Verbindung der Granaten mit mehr als 60 % Andraditmolekül ist jene mit dem Grossular als zweite Komponente. Es gibt da mehrere Fälle: a) Verbindung nur mit Grossular in Granaten aus Serpentin und aus Granit. b) Verbindung mit Grossular und einer Spur von Spessartin bei einem Granaten aus Granit. c) Verbindung mit Grossular und sehr wenig Almandin in einem Granaten aus einem Serpentinkontakt. d) Verbindung mit Grossular und einer sehr geringen Beteiligung der anderen Silikate bei Granaten aus Kontakten. e) Verbindung mit viel Grossular und wenig Pyrop in einem Granaten als einem Augitporphyrit.

Bei einem Granaten, aus einem Kontakt mit Wollastonit stammend, fand sich die Verbindung mit Pyrop und etwas weniger Grossular, bei fast 94 % Andradit.

Klar geht aus dieser Aufstellung hervor, daß die normale Verbindung des Andradites jene mit dem Grossular ist.

---