

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. — Pfannenstiel Gedenkband —	67	S. 41—52	1 Abb.	3 Tab.	Freiburg, 1977
--	----	----------	--------	--------	----------------

Petrographie und Geochemie der Foidsyenit-Einschlüsse im Phonolith von Niederrotweil im Kaiserstuhl

von

Wolfgang Czygan, Freiburg i. Br.

Zusammenfassung

Im Phonolith von Niederrotweil im Kaiserstuhl kommen Einschlüsse vor, die als Tiefengesteinsäquivalente des Phonoliths zur Gruppe der Foidsyenite gehören. Nach dem modalen Mineralbestand sind sie als Sodalithsyenite zu bezeichnen. Die primären Minerale sind mehr oder weniger stark von Umwandlungen erfaßt worden (z. B. Natrolith- und Calcit-Bildung). Ein Teil des Calcits, der in den Einschlüssen in größerer Menge als im Phonolith enthalten ist, scheint primär, d. h. spätmagmatisch zu sein. Die chemische Zusammensetzung der Einschlüsse weist die für plutonische Foidsyenite charakteristischen Elementanreicherungen auf. Ungewöhnlich ist jedoch der hohe Ca-Gehalt und die extreme Anreicherung an Sr und Ba. Als Ursache dafür könnte der Einfluß eines Carbonatit-Magmas auf das Foidsyenit-Magma angesehen werden.

Abstract

In the phonolite of Niederrotweil, Kaiserstuhl (SW-Germany), there occur inclusions of rocks which represent the plutonic equivalents of the phonolite. According to their modal mineral content they belong to the group of foid syenites and must be named sodalite syenites. The original minerals partly show more or less intensive hydrothermal alterations, for instance formation of natrolite and calcite. The foid syenite inclusions contain much more calcite than the phonolite. Part of the calcite seems to be of primary origin. The chemical composition of the inclusions is characterized by the typical element enrichment of the plutonic foid syenites. Unusual however for these rocks is a high content of Ca and an extreme enrichment of Sr and Ba. This might be caused by the influence of a carbonatitic magma on the formation of the foid syenite magma.

Einleitung

In den phonolithischen Gesteinen des Kaiserstuhls treten verschiedene Arten von Einschlüssen auf, die von FISCHER (1864, 1865), KNOP (1888), GRAEFF (1893), CHUDOBA (1929), WIMMENAUER (1954, 1962) und EIGENFELD (1954) beschrieben wurden. Nach WIMMENAUER (1962) lassen sich folgende Einschlusarten unterscheiden:

Anschrift des Verfassers:

Dr. habil. W. CZYGAN, Mineralogisches Inst. d. Univ. Hebelstr. 40, D-7800 Freiburg i. Br.

1. den Phonolithen verwandte Tiefengesteine,
2. Anhäufungen von früh ausgeschiedenen Mineralen,
3. magmatische und sedimentäre Nebengesteine,
4. Gesteine des Grundgebirges.

Während sich die oben genannten Autoren im wesentlichen mit den Einschlüssen 2. bis 4. befaßten, sollen in dieser Arbeit die nach ihrem Mineralbestand den Phonolithen verwandten Tiefengesteins-Einschlüsse näher untersucht werden. Diese Gesteine können allgemein als Foidsyenite bezeichnet werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß abgesehen von der Ähnlichkeit im Mineralbestand mit den Phonolithen eine Verwechslung von primär magmatischen Foidsyeniten mit metasomatisch umgewandelten Gesteinen möglich ist. Durch Fenitisierungsprozesse können Grundgebirgsgesteine (Granite, Gneise) weitgehend den Charakter von Foidsyeniten annehmen.

Obgleich Foidsyenit-Einschlüsse von den beiden größeren Phonolithstöcken sowie einigen Phonolithgängen des Kaiserstuhls bekannt sind, stand für eine petrographische und geochemische Untersuchung mengenmäßig ausreichendes Probenmaterial nur aus dem Phonolith von Niederrotweil zur Verfügung. Die Proben sind mit den Nummern 108/1 bis 108/5 bezeichnet. Zum Vergleich des Chemismus sind zwei makroskopisch etwas unterschiedliche Proben des Phonoliths mit den Nummern 106 und 107 mitanalysiert worden.

Vorkommen der Einschlüsse

Die hier untersuchten Einschlüsse treten als scharf begrenzte, eckige Gesteinsbruchstücke mit mittleren Durchmessern von 5 bis 20 cm im Phonolith vom Kirchberg bei Niederrotweil auf. Der Phonolith bildet am W-Rand des Kaiserstuhls eine 430 x 200 m große kuppelförmige Intrusion in Tephriten und ist durch einen großen, seit einigen Jahren aufgelassenen Steinbruch erschlossen. Die Einschlüsse wurden im Grenzbereich zwischen dem westlichen und dem östlichen Teil des Steinbruchs gefunden, also etwa im Zentrum des Phonolithstockes.

Der Phonolith selbst, der von WIMMENAUER (1954, 1959, 1962) eingehend beschrieben wurde, soll hier nur kurz erwähnt werden, um einen Vergleich mit den Foidsyenit-Einschlüssen zu ermöglichen. Das bräunlich- oder grünlichgraue, porphyrische Gestein besitzt bis zu ca. 2 mm große Einsprenglinge von Feldspäten, Sodalith, Ägirinaugit und Melanit. Bei den Feldspäten handelt es sich um vorwiegend Alkalifeldspat (Anorthoklas) und etwas Plagioklas (An 30–40). Die als Einsprenglinge genannten Minerale bilden auch die feinkörnige Grundmasse, in der außerdem Magnetit, Titanit, Apatit und Götzenit vorhanden sind. Ferner treten als Umwandlungsminerale — vor allem aus Sodalith — Natrolith und Calcit auf. Der modale Mineralbestand des Phonoliths, der eine Farbzahl von 7,5 hat, ist aus der Lage des Punktes Ph im APF-Diagramm nach STRECKEISEN (1973) ersichtlich (Abb. 1).

Petrographie der Einschlüsse

Das Gestein der Foidsyenit-Einschlüsse ist von grauer (108/1), gelblichgrauer (108/5) oder bräunlichgrauer (108/2-4) Farbe. Der gelbliche oder bräunliche Farnton wird von sehr kleinen gelbbraunen Partikeln hervorgerufen, mit denen die Umwandlungsminerale des Sodaliths durchstäubt sind. Möglicherweise handelt es sich um Goethit. Die Einschlüsse bestehen in der Regel aus richtungslos körnigen Gesteinen. Eine Ausnahme bildet die Probe 108/3 mit fluidal geregelten Feldspattafeln. In bezug auf die Korngröße der Feldspäte sind die Gesteine als mittel- bis grobkörnig zu bezeichnen (ca. 2-10 mm). Folgende, z. T. schon makroskopisch erkennbaren Minerale sind am Aufbau der Gesteine beteiligt: Alkalifeldspat, Sodalith, Pyroxen, Granat, Calcit, Magnetit, Apatit, Titanit und ein nicht näher bestimmbarer Ti-Zr-Silikat. An sekundären Mineralen sind Natrolith und ein weiterer unidentifizierter Zeolith, Calcit, Skapolith (?) und Goethit (?) zu nennen.

Der **Alkalifeldspat** ist hypidiomorph und erscheint im Dünnschliff homogen, jedoch mit fleckiger, undulöser Auslöschung. Meistens ist Verzwillingung nach dem Karlsbader Gesetz und z. T. Zonarbau zu beobachten. Die Bestimmung der Triklinität nach **GOLDSMITH & LAVES** (1954) ergab folgende Werte: für 108/1 $\Delta = 0,69$; für 108/2 $\Delta = 0,74$; für 108/3 $\Delta = 0,67$; für 108/5 $\Delta = 0,68$. Es liegen also Alkalifeldspäte vor, deren Ordnungsgrad noch als intermediär zu bezeichnen ist, die jedoch schon eine deutliche Tendenz zu maximaler Triklinität ($\Delta = 1$) zeigen. Chemische Teilanalysen der Feldspäte, die jedoch wegen nicht abtrennbarer Einschlüsse von Sodalith, Natrolith und Calcit keine eindeutige Aussage über die Zusammensetzung erlauben, weisen auf einen Ortreichen Alkalifeldspat hin.

Der **Sodalith** stellt neben dem Feldspat eine wesentliche primäre Komponente dar, ist aber in einem Teil der Proben mehr oder weniger stark in sekundäre Minerale umgewandelt. Nahezu ohne Umwandlung und Trübung liegt er nur in den Proben 108/1 und 108/4 vor. Er tritt vorwiegend als xenomorpher Gemengteil zwischen den Feldspattafeln auf. Gelegentlich sind aber auch hypidiomorphe bis idiomorphe Sodalithe zu beobachten. Eine Diffraktometeraufnahme des Sodaliths der Probe 108/1 ergab d-Werte, die in Richtung des Noseans bzw. des Hauyns verschoben waren. Die Bestimmung des Sulfatgehaltes zeigte jedoch, daß der SO_3 -Gehalt mit 0,83 Gew.-% nur unwesentlich über den üblichen Werten von 0,1-0,5 % für Sodalith liegt. Die Analyse weiterer Komponenten des Sodaliths ergab: $\text{Na}_2\text{O} = 21,45$, $\text{CaO} = 2,03$, $\text{K}_2\text{O} = 0,47$ Gew.-%. Während die Gehalte an Na und K die übliche Größenordnung aufweisen, läßt der relativ hohe Ca-Gehalt auf eine gewisse (vgl. SO_3 -Gehalt) Beteiligung der Hauyn-Komponente an der Zusammensetzung des Sodaliths schließen. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß für diesen Ca-Gehalt geringe Mengen von Calcit mitverantwortlich sind, die mit dem Sodalith verwachsen sind.

Der **Pyroxen** weist die für die Ägirinaugit-Reihe typischen grünen und grünlichbraunen Farben mit relativ kräftigem Pleochroismus auf. Er liegt in hypidio-morphen bis xenomorphen, z. T. verzwilligten Körnern vor, von denen die größeren einen Zonarbau erkennen lassen. Hellgrüne Kerne und dunkelgrüne Ränder zeigen die Zunahme des Akmitgehaltes vom Kern zum Rand an.

Der **Granat** bildet xenomorphe bis skelettartige Körner. Dunklere, mittelbraune Kerne sind von schmalen helleren, fast farblosen Säumen umgeben, die z. T. Kristallflächen aufweisen. Während die Kerne in Analogie zum Granat der Phonolithstöcke und -gänge der Melanit-Zusammensetzung entsprechen, also Ti-reich sind, bestehen die Randzonen sicher aus Andradit. Auffallend ist, daß in einigen größeren Melanitkörnern ein offensichtlich reliktischer Pyroxen vorhanden ist. Ferner zeigen einige Pyroxene sowie Magnetite in der Nachbarschaft von Calcit idiomorphe Aufwachsungen eines hellen, andraditischen Granats. Sowohl dieser Granat als auch die hellen Granatsäume um den Melanit sind fast stets anomal doppelbrechend.

Ein vergleichsweise kleiner Teil des vorhandenen **Calcits** gehört anscheinend zum primären Mineralbestand, wie bereits WIMMENAUER (1962) angedeutet hat. Es handelt sich dabei um die relativ großen Calcitkörner, die allein oder zusammen mit Sodalith die Zwickel zwischen den Feldspäten ausfüllen. Man kann annehmen, daß dieser Calcit in der Schlußphase der magmatischen Kristallisation noch vor der Zeolithisierungsphase gebildet worden ist. Im Zusammenhang mit diesem Calcit stehen auch die beim Granat beschriebenen Andradit-Bildungen.

Von den weiteren Akzessorien ist in allen Proben **Magnetit** vorhanden; **Apatit** und **Titanit** sind nur in einigen Proben in sehr geringer Menge erkennbar. Magnetit und Apatit treten meist zusammen mit Pyroxen, z. T. als Einschluß in letzterem auf. Ferner enthält die Probe 108/1 sowie eine Probe, von der nur ein Dünnschliff zur Verfügung stand, einige xenomorphe, farblose bis hell gelbliche Körner eines nicht näher bestimmmbaren Minerals. Die optischen Eigenschaften deuten auf ein Mineral aus der Gruppe der Ti-Zr-Silikate hin. In Analogie zu einem entsprechenden Mineral im Phonolith könnte es sich um Götzenit handeln (CZYGAN, 1973).

Unter den Umwandlungsmineralen steht der **Natrolith** an erster Stelle. Er bildet radialstrahlige, büschelige Aggregate, die von winzigen gelbbraunen Partikeln von Goethit (?) durchsetzt sind. Außerdem ist der Natrolith oft mit sehr feinkörnigem, z. T. zu größeren Aggregaten zusammengelagertem Calcit und mit einem anderen, nicht zu identifizierenden Zeolith verwachsen.

Aufgrund sehr oft zu beobachtender hexagonaler Begrenzungen der Natrolithaggregate ist mit Sicherheit anzunehmen, daß der Natrolith ein Umwandlungsprodukt von primär gebildetem Sodalith darstellt. In einem Teil der Proben sind neben Natrolith auch noch Relikte von Sodalith vorhanden (s. o.). Es haben also Mineralumwandlungen im autohydrothermalen Stadium stattgefunden, wie sie für viele Foidsyenite charakteristisch sind (CZYGAN, 1969, 1976).

In dem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß in einer Probe (108/3) rechteckige und sechseckige Querschnitte eines in Sodalith und Natrolith umgewandelten Minerals als Einschlüsse im Feldspat zu beobachten sind. Sehr wahrscheinlich handelt es sich dabei um primär gebildeten Nephelin. Auch bei dem übrigen, nicht im Feldspat eingeschlossenen Sodalith und Natrolith aller Proben ist nicht auszuschließen, daß primär Nephelin bzw. Sodalith und Nephelin nebeneinander vorgelegen haben.

Als weiteres sekundäres Mineral ist der Teil des Calcits aufzufassen, der, wie schon erwähnt, im Zusammenhang mit Natrolith auftritt. Außerdem durchziehen dünne Calcitadern die Foidsyenit-Einschlüsse und verdrängen die primären Minerale bzw. geben Anlaß zu Mineralneubildungen.

Besonders auffallend ist ein sekundäres Mineral mit hoher Doppelbrechung, das sich auf schmalen, z.T. fleckenartig erweiternden Rissen im Feldspat und Sodalith findet. Es kommt meistens zusammen mit Calcit vor bzw. bildet die Fortsetzung von Calcitadern und -flecken in den genannten Mineralen. Aufgrund der optischen Eigenschaften und der Reaktion mit Salzsäure scheint es sich um Mejonit-reichen Skapolith zu handeln.

Durch Integrationsanalysen wurde der quantitative Mineralbestand der Foidsyenit-Einschlüsse bestimmt (Tabelle 1). Dabei wurden Magnetit, Apatit und Titanit zum Melanit dazugerechnet, der aber immer 90–95 % der angegebenen Werte ausmacht. Der Calcit wurde bei der Integration nicht in primär und sekundär gebildeten unterschieden. Da ein großer Teil des Calcits als sekundär aufzufassen ist, wurde er nicht in die Berechnung der Farbzahl einbezogen. Aufgrund des aktuellen Mineralbestandes sind die zur Gruppe der Foidsyenite gehörenden Einschlüsse als Sodalithsyenite zu bezeichnen.

Tab. 1:

Modaler Mineralbestand der Foidsyenit-Einschlüsse (in Vol.-%) (Wi 62: Mittelwert von 5 Foidsyenit-Einschlüssen nach WIMMENAUER 1962)

Froben-Nr.	108/1	108/2	108/3	108/4	108/5	Ø 108	Wi 62
Alkalifeldspat	59,6	57,4	64,4	48,5	49,1	55,8	56,8
Sodalith, Natrolith	26,9	28,1	25,7	39,1	44,6	32,9	32,3
Ägirinaugit	2,3	2,0	1,7	1,4	3,1	2,1	2,0
Melanit u.a. Akz.	5,9	6,2	5,2	4,2	1,8	4,7	~5,1
Calcit	5,3	6,3	3,0	6,8	1,4	4,6	3,8
	8	8	7	6	5	7	7

In Tabelle 1 ist der Modus der fünf untersuchten Proben zusammen mit dem Mittelwert angegeben. Außerdem enthält die Tabelle den Mittelwert von fünf Sodalithsyenit-Einschlüssen vom gleichen Fundort und vom Hochbuck bei Ach-

karren nach WIMMENAUER (1962). Während die beiden Mittelwerte recht gut übereinstimmen, ist bei den Einzelanalysen doch eine gewisse Variation im Mineralbestand zu erkennen. Aufgrund einiger Unterschiede lassen sich die Einschlüsse in zwei Gruppen teilen: 108/1-3 und 108/4+5. Die zweite Gruppe ist vor allem durch fast gleiche Anteile an Feldspat und Sodalith/Natrolith charakterisiert. Deutlich treten die Unterschiede auch im APF-Diagramm nach STRECKEISEN (1973) hervor (Abb. 1). Aus dem Diagramm ist eine größere Ähnlichkeit der Proben 108/1-3 mit dem die Einschlüsse umgebenden Phonolith ersichtlich. Der Punkt Ph repräsentiert einen Durchschnittswert für den Mineralbestand des Phonoliths vom Kirchberg nach WIMMENAUER (1962).

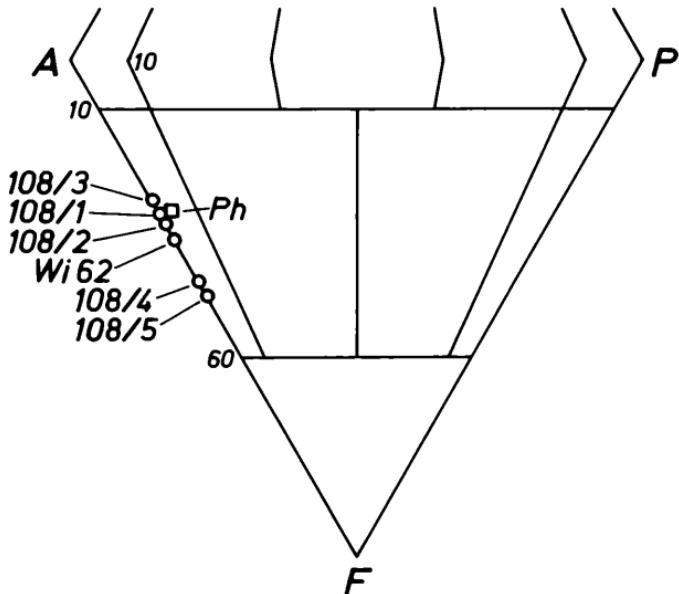


Abb. 1:
Darstellung der Modalanalysen der Foidsyenit-Einschlüsse zusammen mit einem Durchschnittswert für den Phonolith (Ph, nach WIMMENAUER, 1962) im APF-Diagramm nach STRECKEISEN.

Chemische Zusammensetzung der Einschlüsse

Einen Einblick in den Chemismus der Foidsyenit-Einschlüsse gibt Tabelle 2. Den Einzelanalysen der Einschlüsse und dem daraus gebildeten Mittelwert (\varnothing 108) sind die Analysen von zwei Proben des umgebenden Phonoliths gegenübergestellt. Neben den Haupt- und Spurenelementen (in Gew.-% bzw. ppm) sind in der Tabelle auch CIPW-Norm, NIGGLI-Werte, Differenzationsindex und Agpait-Koeffizient aufgeführt.

Tabelle 2: Chemische Analysen, CIPW-Norm, NIGGLI-Werte, Differentiationsindex und Agpait-Koeffizient der Foidsyenit-Einschlüsse und des Phonoliths⁺

Proben-Nr.	108/1	108/2	108/3	108/4	108/5	Ø 108	106 ⁺	107 ⁺
SiO ₂	52,5	50,8	53,3	48,3	48,5	50,7	54,1	53,5
TiO ₂	0,22	0,19	0,24	0,16	0,10	0,18	0,29	0,29
Al ₂ O ₃	18,44	18,17	19,41	18,23	19,48	18,75	19,62	19,17
Fe ₂ O ₃	2,20	1,97	2,23	1,94	1,75	2,02	2,51	2,50
FeO	0,41	0,43	0,51	0,21	0,41	0,39	0,82	0,83
MnO	0,16	0,15	0,17	0,13	0,18	0,16	0,18	0,20
MgO	0,16	0,28	0,14	0,43	0,42	0,29	0,92	1,20
CaO	7,64	9,99	7,20	10,20	9,06	8,82	4,25	4,86
Na ₂ O	7,45	5,18	5,19	6,24	4,03	5,62	6,01	6,16
K ₂ O	5,46	4,80	5,29	4,87	5,34	5,15	5,51	5,31
P ₂ O ₅	0,02	0,06	0,08	0,07	0,31	0,11	0,05	0,08
CO ₂	2,91	3,82	1,16	4,92	3,34	3,23	1,12	1,84
F	0,076	0,15	0,084	0,24	0,11	0,13	0,29	0,19
Cl	0,34	0,29	0,057	0,35	0,080	0,22	0,49	0,51
H ₂ O ⁺	1,28	3,03	4,24	3,02	6,24	3,56	3,42	3,07
-O=F, Cl	0,11	0,13	0,05	0,18	0,06		0,23	0,19
Summe	99,16	99,18	99,25	99,13	99,29		99,35	99,52
Li	23	31	13	53	24	29	41	75
Be	4,2	4,2	5,0	5,0	4,2	4,5	5,9	5,0
Zn	115	84	105	83	94	96	125	135
Rb	170	180	155	185	185	175	195	200
Sr	3370	3970	3540	4240	2120	3450	2810	2630
Y	15	15	10	15	15	14	20	20
Zr	440	320	370	310	290	350	560	570
Nb	175	130	135	205	175	165	205	220
Ba	2250	2770	2950	2950	4620	3110	1860	1860
K/Rb	267	221	283	219	240	246	235	220
CIPW-Norm								
Z	0,09	0,06	0,07	0,06	0,06		0,12	0,12
or	32,27	28,33	31,23	28,73	31,51		32,50	31,28
ab	27,13	30,01	28,99	24,41	22,78		34,28	34,63
an	2,08	13,27	14,26	2,71	19,58		12,18	10,94
ne	18,10	6,29	7,83	12,93	5,78		6,96	7,35
hl	0,56	0,48	0,10	0,58	0,13		0,81	0,84
wo	8,00	5,66	6,56	4,87	1,58		0,58	0,65
en	0,40	0,70	0,35	1,07	1,04		0,50	0,56
fo							1,25	1,69
mt	1,21	1,32	1,50	0,64	1,62		2,39	2,48
il	0,42	0,36	0,46	0,30	0,19		0,55	0,55
hm	1,37	1,06	1,19	1,50	0,63		0,86	0,78
ap	0,05	0,14	0,19	0,17	0,73		0,12	0,19
fr	0,16	0,30	0,15	0,48	0,17		0,59	0,38
cc	6,62	8,68	2,64	11,17	7,58		2,54	4,17
NIGGLI-Werte								
si	161	156	174	143	154		180	174
al	33,3	32,9	37,4	31,7	36,6		38,6	36,7
fm	7,3	7,3	8,0	7,0	7,8		13,7	14,7
c	26,7	34,9	27,1	34,2	32,4		16,6	18,3
alk	32,8	24,9	27,5	27,0	23,3		31,2	30,4
k	0,33	0,38	0,40	0,34	0,47		0,38	0,36
mg	0,10	0,17	0,08	0,27	0,26		0,33	0,39
ti	0,51	0,44	0,59	0,36	0,24		0,73	0,71
p	0,03	0,08	0,11	0,09	0,42		0,07	0,11
h	13,1	31,1	46,2	29,7	66,3		38,0	33,2
qz	-70,4	-13,2	-35,7	-65,5	-38,7		-44,2	-47,9
D.I.	77,5	64,6	68,0	67,1	60,1		73,7	73,3
Agpait-K.	0,99	0,75	0,73	0,85	0,64		0,81	0,83

Die beim Mineralbestand beobachtete Variation äußert sich auch in der chemischen Zusammensetzung. Die Einschlüsse, die relativ viel Sodalith bzw. Natrolith enthalten, weisen naturgemäß einen niedrigen SiO_2 -Gehalt auf. Sie sind außerdem ärmer an TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , Zn und Zr , was wahrscheinlich auf die geringeren Gehalte an Melanit und anderen Akzessorien zurückzuführen ist. Dagegen zeigen sie etwas höhere Werte für MgO , CaO und Ba . Die erhöhten MgO - und CaO -Gehalte gehen sicher auf die größere Calcitmenge im Gestein zurück. Die Diskrepanz, die sich bei der Probe 108/5 zwischen dem modalen Calcitgehalt einerseits und dem Gehalt an CaO und CO_2 andererseits ergibt, ist dadurch zu erklären, daß bei der Integration größere, mit Calcit gefüllte Adern nicht mitgemessen wurden.

Ein Vergleich des Chemismus der Einschlüsse mit dem des Phonoliths zeigt im wesentlichen die zu erwartende Ähnlichkeit beider Gesteine. Unterschiede werden von den in ihrer Zusammensetzung etwas abweichenden Proben 108/4 und 5 hervorgerufen. Während die Phonolithproben etwas reicher an Si , Ti , Fe , Mg , F , Cl , Li , Zn , Rb , Zr und Nb sind, fallen bei den Einschlüssen die relativ hohen Werte für Ca , Sr und Ba auf.

Der höhere Ca -Gehalt der Einschlüsse ist auf die größere Calcitmenge in ihnen zurückzuführen. Die hohen Sr - und Ba -Gehalte sind anscheinend an die Feldspäte gebunden, in denen sie aufgrund ähnlicher Ionenradien für das K eintreten. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß ein Teil des Sr und Ba auch das Ca im Calcit ersetzt. Allerdings wird durch Analysen von Feldspatfraktionen aus zwei Proben bestätigt, daß zumindest ein großer Teil des Sr und Ba im Feldspat enthalten ist:

	Sr	Ba
108/3/F	4300	5200 ppm
108/5/F	2420	7990

In der Tabelle 3 sind die Analysen-Mittelwerte der Foidsyenit-Einschlüsse und des Phonoliths vom Kirchberg der mittleren Zusammensetzung von plutonischen Foidsyeniten der Erde, von Alkalisyeniten des Kaiserstuhls und von Phonolithen der Erde sowie der gesamten Erdkruste gegenübergestellt. Es zeigt sich, daß die Foidsyenit-Einschlüsse im Vergleich zur mittleren Zusammensetzung der Erdkruste in ähnlicher Weise wie andere plutonische Foidsyenite die für diese Gesteine typischen Anreicherungen und Verarmungen an Elementen aufweisen. Allerdings besitzen sie nicht so weitgehende Differentiationsmerkmale wie die normalen Foidsyenite, wie es auch in den relativ niedrigen Werten für den Differentiationsindex und den Agpait-Koeffizienten zum Ausdruck kommt. Im wesentlichen dürfte der hohe Calcitgehalt eine Modifizierung des Chemismus bewirkt haben. Die gleichen Unterschiede, die bei den Einschlüssen auftreten, sind auch beim Phonolith festzustellen. Bei beiden fällt auch in dieser Tabelle die extreme Anreicherung an Sr und Ba auf.

Tab. 3:

Gegenüberstellung der Mittelwerte von Foidsyeniten, Alkalisyeniten, Phonolithen und der mittleren Zusammensetzung der Erde. 1: Mittelwerte der Foidsyenit-Einschlüsse vom Kirchberg (108/1-5); 2: M.-W. der plutonischen Foidsyenite der Erde (nach CZYGAN, 1976); 3: M.-W. der Alkalisyenite des Kaiserstuhls (nach BAKHASHWIN, 1975); 4: M.-W. des Phonoliths vom Kirchberg (106,107); 5: M.-W. der Phonolithe der Erde (nach NOCKOLDS, 1954); 6: Mittlere Zusammensetzung der Erdkruste (nach TAYLOR, 1964).

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	50,7	55,15	51,23	53,8	56,9	60,3
TiO ₂	0,18	0,61	0,27	0,29	0,59	1,0
Al ₂ O ₃	18,75	20,39	16,50	19,40	20,17	15,6
Fe ₂ O ₃	2,02	2,76	2,91	2,51	2,26	8,1
FeO	0,39	2,05	1,09	0,83	1,85	
MnO	0,16	0,23	0,19	0,19	0,19	0,12
MgO	0,29	0,83	0,70	1,06	0,58	3,9
CaO	8,82	2,23	6,43	4,56	1,88	5,8
Na ₂ O	5,62	8,32	1,39	6,09	8,72	3,2
K ₂ O	5,15	5,78	9,96	5,41	5,42	2,5
P ₂ O ₅	0,11	0,22	0,31	0,07	0,17	0,24
CO ₂	3,23	0,60	5,04	1,48		
F	0,13	0,22		0,24		0,063
Cl	0,22	0,37		0,50	0,23	0,013
Li	29	66		58		20
Be	4,5	14		5,5		2,8
Zn	96	187		130		70
Rb	175	262	330	200		90
Sr	3450	802	2200	2720		375
Y	14	52		20		33
Zr	350	2033		570		165
Nb	165	449	770	215		20
Ba	3110	1106	4130	1860		425

Aus der Tabelle 3 ist ferner zu ersehen, daß zwischen den Foidsyenit-Einschlüssen und den von BAKHASHWIN (1975) untersuchten Alkalisyeniten des Kaiserstuhls bei einigen Elementen (Al, Ca, Na, K, Rb, Nb) relativ große Unterschiede bestehen.

Schlußfolgerungen

Die Foidsyenit-Einschlüsse im Phonolith vom Kirchberg können aufgrund ihrer Form und Struktur sowie aufgrund ihres Mineralbestandes und ihres Che-

Die beim Mineralbestand beobachtete Variation äußert sich auch in der chemischen Zusammensetzung. Die Einschlüsse, die relativ viel Sodalith bzw. Natrolith enthalten, weisen naturgemäß einen niedrigen SiO_2 -Gehalt auf. Sie sind außerdem ärmer an TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , Zn und Zr, was wahrscheinlich auf die geringeren Gehalte an Melanit und anderen Akzessorien zurückzuführen ist. Dagegen zeigen sie etwas höhere Werte für MgO , CaO und Ba. Die erhöhten MgO - und CaO -Gehalte gehen sicher auf die größere Calcitmenge im Gestein zurück. Die Diskrepanz, die sich bei der Probe 108/5 zwischen dem modalen Calcitgehalt einerseits und dem Gehalt an CaO und CO_2 andererseits ergibt, ist dadurch zu erklären, daß bei der Integration größere, mit Calcit gefüllte Adern nicht mitgemessen wurden.

Ein Vergleich des Chemismus der Einschlüsse mit dem des Phonoliths zeigt im wesentlichen die zu erwartende Ähnlichkeit beider Gesteine. Unterschiede werden von den in ihrer Zusammensetzung etwas abweichenden Proben 108/4 und 5 hervorgerufen. Während die Phonolithproben etwas reicher an Si, Ti, Fe, Mg, F, Cl, Li, Zn, Rb, Zr und Nb sind, fallen bei den Einschlüssen die relativ hohen Werte für Ca, Sr und Ba auf.

Der höhere Ca-Gehalt der Einschlüsse ist auf die größere Calcitmenge in ihnen zurückzuführen. Die hohen Sr- und Ba-Gehalte sind anscheinend an die Feldspäte gebunden, in denen sie aufgrund ähnlicher Ionenradien für das K eintreten. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß ein Teil des Sr und Ba auch das Ca im Calcit ersetzt. Allerdings wird durch Analysen von Feldspatfraktionen aus zwei Proben bestätigt, daß zumindest ein großer Teil des Sr und Ba im Feldspat enthalten ist:

	Sr	Ba
108/3/F	4300	5200 ppm
108/5/F	2420	7990

In der Tabelle 3 sind die Analysen-Mittelwerte der Foidsyenit-Einschlüsse und des Phonoliths vom Kirchberg der mittleren Zusammensetzung von plutonischen Foidsyeniten der Erde, von Alkalisyeniten des Kaiserstuhls und von Phonolithen der Erde sowie der gesamten Erdkruste gegenübergestellt. Es zeigt sich, daß die Foidsyenit-Einschlüsse im Vergleich zur mittleren Zusammensetzung der Erdkruste in ähnlicher Weise wie andere plutonische Foidsyenite die für diese Gesteine typischen Anreicherungen und Verarmungen an Elementen aufweisen. Allerdings besitzen sie nicht so weitgehende Differentiationsmerkmale wie die normalen Foidsyenite, wie es auch in den relativ niedrigen Werten für den Differentiationsindex und den Agpait-Koeffizienten zum Ausdruck kommt. Im wesentlichen dürfte der hohe Calcitgehalt eine Modifizierung des Chemismus bewirkt haben. Die gleichen Unterschiede, die bei den Einschlüssen auftreten, sind auch beim Phonolith festzustellen. Bei beiden fällt auch in dieser Tabelle die extreme Anreicherung an Sr und Ba auf.

Tab. 3:

Gegenüberstellung der Mittelwerte von Foidsyeniten, Alkalisyeniten, Phonolithen und der mittleren Zusammensetzung der Erde. 1: Mittelwerte der Foidsyenit-Einschlüsse vom Kirchberg (108/1-5); 2: M.-W. der plutonischen Foidsyenite der Erde (nach CZYGAN, 1976); 3: M.-W. der Alkalisyenite des Kaiserstuhls (nach BAKHASHWIN, 1975); 4: M.-W. des Phonoliths vom Kirchberg (106,107); 5: M.-W. der Phonolithen der Erde (nach NOCKOLDS, 1954); 6: Mittlere Zusammensetzung der Erdkruste (nach TAYLOR, 1964).

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	50,7	55,15	51,23	53,8	56,9	60,3
TiO ₂	0,18	0,61	0,27	0,29	0,59	1,0
Al ₂ O ₃	18,75	20,39	16,50	19,40	20,17	15,6
Fe ₂ O ₃	2,02	2,76	2,91	2,51	2,26	8,1
FeO	0,39	2,05	1,09	0,83	1,85	
MnO	0,16	0,23	0,19	0,19	0,19	0,12
MgO	0,29	0,83	0,70	1,06	0,58	3,9
CaO	8,82	2,23	6,43	4,56	1,88	5,8
Na ₂ O	5,62	8,32	1,39	6,09	8,72	3,2
K ₂ O	5,15	5,78	9,96	5,41	5,42	2,5
P ₂ O ₅	0,11	0,22	0,31	0,07	0,17	0,24
CO ₂	3,23	0,60	5,04	1,48		
F	0,13	0,22		0,24		0,063
Cl	0,22	0,37		0,50	0,23	0,013
Li	29	66		58		20
Be	4,5	14		5,5		2,8
Zn	96	187		130		70
Rb	175	262	330	200		90
Sr	3450	802	2200	2720		375
Y	14	52		20		33
Zr	350	2033		570		165
Nb	165	449	770	215		20
Ba	3110	1106	4130	1860		425

Aus der Tabelle 3 ist ferner zu ersehen, daß zwischen den Foidsyenit-Einschlüssen und den von BAKHASHWIN (1975) untersuchten Alkalisyeniten des Kaiserstuhls bei einigen Elementen (Al, Ca, Na, K, Rb, Nb) relativ große Unterschiede bestehen.

Schlußfolgerungen

Die Foidsyenit-Einschlüsse im Phonolith vom Kirchberg können aufgrund ihrer Form und Struktur sowie aufgrund ihres Mineralbestandes und ihres Che-

mismus eindeutig als Tiefengesteinsäquivalente des Phonoliths angesehen werden. Es kann ausgeschlossen werden, daß es sich bei den untersuchten Proben um metasomatisch veränderte Grundgebirgs-Einschlüsse handelt. Die Strukturbeziehungen zwischen Feldspat und Sodalith (eventuell auch Nephelin) und der Mineralbestand sind typisch für Foidsyenite. Auch die Anreicherungen an Elementen wie Al, Na, K, F, Cl, Li, Be, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb und Ba sind charakteristisch. Hinsichtlich der Genese der Foidsyenite im allgemeinen und der phonolithischen Gesteine des Kaiserstuhls im besonderen sei auf die entsprechende Literatur verwiesen (SØRENSEN, 1974; WIMMENAUER, 1963, 1970; KELLER, 1965).

Schwierigkeiten in der Interpretation bereitet der hohe Ca- bzw. Calcitgehalt der Einschlüsse verglichen mit dem Phonolith. Mehr Calcit in den Einschlüssen als im Phonolith bedeutet, daß der Calcit in den Einschlüssen schon vorhanden war, bevor diese vom Phonolithmagma aufgenommen wurden. Dabei müssen die Einschlüsse bereits konsolidiert gewesen sein, wie aus ihrer Form und Struktur zu schließen ist.

Vor der Eruption des Magmas, das zur Bildung des Phonoliths führte, muß ein Teil desselben oder ein diesem sehr ähnliches foidsyenitisches Magma im Bereich des Grundgebirges nicht nur „individualisiert“ (WIMMENAUER, 1963), sondern kristallisiert gewesen sein. Daraus ergibt sich, daß die Bildung des Calcits in den Foidsyenit-Einschlüssen in direktem Zusammenhang mit dem Foidsyenit-Magma stehen muß. Dieses Magma muß selber relativ stark an Ca und CO₂ angereichert gewesen sein, so daß eventuell bereits im Endstadium der magmatischen Kristallisationsphase, auf jeden Fall aber während einer autohydrothermalen Phase, Calcit gebildet wurde.

Denkbar wäre auch, daß ein während oder kurz nach der Kristallisation des Foidsyenits in unmittelbarer Nachbarschaft vorhandenes Carbonatit-Magma für die Zufuhr von Calcit verantwortlich ist. Andererseits könnte angenommen werden, daß die Genese eines Carbonatit-Magmas auf die Ca-Anreicherung im Foidsyenit-Magma zurückzuführen ist. Hinweise darauf, daß das Auftreten eines Carbonatit-Magmas zeitlich und räumlich mit der Differentiation des Foidsyenit-Magmas verbunden ist, geben Einschlüsse und Gänge „karbonatitartiger Gesteine“ (WIMMENAUER, 1962) im Phonolith vom Kirchberg.

Eine Folge der Karbonatanreicherung und der Durchdringung des Foidsyenits mit einer hydrothermalen Gasphase sind die Reaktionen zwischen Calcit und den primären Mineralen. Dazu gehören die Andradit-Säume um Pyroxen, Magnetit und Melanit, die stellenweise Verdrängung von Feldspat durch Skapolith und die Umwandlung von Sodalith (eventuell auch Nephelin) in Natrolith und Calcit. Aus dem Phonolith, der weniger Calcit enthält, ist ein Teil des CO₂ wahrscheinlich entwichen. Dafür ist es im Phonolith zur Bildung von wenig, aber relativ An-reichem Plagioklas gekommen.

Möglicherweise steht auch die extreme Anreicherung an Sr und Ba der Foidsyenit-Einschlüsse und des Phonoliths im Zusammenhang mit dem Carbonatit, da nicht auszuschließen ist, daß auch der Calcit der vorgenannten Gesteine hohe Sr-

und Ba-Gehalte aufweist. Die verschiedenen Carbonatite des Kaiserstuhls enthalten nach WIMMENAUER (1963) 6350—9550 ppm Sr und nach v. WAMBEKE (1964) im Mittel 6800 ppm Sr und 2500 ppm Ba.

Danksagung

Ich danke den technischen Assistentinnen des Mineralogischen Instituts, Frl. Riedel, Frau Dewald und Frau Schlegel für die Ausführung der chemischen Analysen. Herrn Dr. MAUS, Geol. Landesamt Freiburg, danke ich für die Überlassung einer Probe.

Schriftenverzeichnis

- BAKHASHWIN, M. (1975): Petrographische und geochemische Untersuchung der silikatischen Gesteine aus der Forschungsbohrung Kaiserstuhl 1970. — Diss. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg i.Br., masch. — schr., 98 S., Freiburg.
- CHUDOBA, K. (1929): Der Phonolith von Oberschaffhausen und seine Einschlüsse. — Mitt. Bad. geol. Landesanst. 11, 1—59, Freiburg.
- CZYGAN, W. (1969): Petrographie und Alkali-Verteilung im Foyait der Serra de Monchique, Süd-Portugal. — N. Jb. Miner. Abh. 111, 32—73, Stuttgart.
- (1973): Götzenit, ein komplexes Ti-Zr-Silikat aus dem Kaiserstuhl. — Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br. 63, 5—12, Freiburg.
- (1976): Geochemische Charakteristik von Foidsyeniten aus Portugal, Indien und Norwegen. — Habil.-Schr. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg i.Br., masch. — schr., 169 S., Freiburg.
- EIGENFELD, R. (1954): Zur Genese der Alkaligesteine. — Ber. phys. — med. Ges. Würzburg 66, 95—114, Würzburg.
- FISCHER, H. (1864): Über angebliche Einschlüsse von Gneis, Granit in Phonolith, Trachyt usw. mit besonderer Rücksicht auf die Vorkommnisse des Kaiserstuhls. — Ber. Verh. Naturf. Ges. Freiburg i.Br. 3, H. 2, 1—22, Freiburg.
- (1865): Weitere Mittheilungen über angebliche Einschlüsse von Gneis u.s.w. in Phonolith und anderen Felsarten. — Ber. Verh. Naturf. Ges. Freiburg i.Br. 3, H. 3 + 4, 165—203, Freiburg.
- GOLDSMITH, J. R. & LAVES, F. (1954): The microline — sanidine stability relations. — Geochim. Cosmochim. Acta 5, 1—19, London.
- GRAEFF, F. (1893): Zur Geologie des Kaiserstuhlgebirges. — Mitt. grhzgl. Bad. geol. Landesanst. 2, 403—495, Heidelberg.
- KELLER, J. (1965): Eine Tuffbreccie vom Henkenberg bei Niederrotweil und ihre Bedeutung für die Magmatologie des Kaiserstuhls. — Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br. 55, 349—364, Freiburg.
- KNOP, A. (1888): Einschlüsse im Phonolith des Kaiserstuhls. — Ber. 21. Vers. oberrh. geol. Ver. 1888, 5—13, Stuttgart.
- NOCKOLDS, S. R. (1954): Average chemical composition of some igneous rocks. — Bull. geol. Soc. Amer. 65, 1007—1032, New York.

- SØRENSEN, H. (Edit.) (1974): *The alkaline rocks*. — 622 S., London, New York, Sydney, Toronto (J. Wiley & Sons).
- STRECKEISEN, A. (IUGS) (1973): Classification and nomenclature of plutonic rocks. Recommendations. — *N. Jb. Miner. Mh.* 1973, 149—164, Stuttgart.
- TAYLOR, S.R. (1964): Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1273—1285, Oxford, London, New York, Paris.
- WAMBEKE, L. van et al. (1964): Les roches alcalines et les carbonatites du Kaiserstuhl. — *Euratom Rapport No. 1827.d,f,e*, 232 S., Brüssel.
- WIMMENAUER, W. (1954): Die Phonolithen und Tinguaite des Kaiserstuhls. — *Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Natursch. N.F.* 6, 85—91, Freiburg.
- (1959): Die Eruptivgesteine. — in: Erläuterungen zur geologischen Exkursionskarte des Kaiserstuhls 1:25000. — Hrsg. v. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br.
- (1962): Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Teil IV: Die Gesteine der phonolithischen Familie. Teil V: Die subvulkanischen Breccien. — *N. Jb. Miner. Abh.* 98, 367—415, Stuttgart.
- (1963): Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Teil VI: Die Karbonatite. Teil VII: Zur Petrogenese des Kaiserstuhls. — *N. Jb. Miner. Abh.* 99, 231—276, Stuttgart.
- (1970): Zur Petrologie der Magmatite des Oberrheingrabens. — *Fortschr. Miner.* 47, 242—262, Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [67](#)

Autor(en)/Author(s): Czygan Wolfgang W.

Artikel/Article: [Petrographie und Geochemie der Foidsyenit-Einschlüsse im Phonolith von Niederrotweil im Kaiserstuhl 41-52](#)