

# Früher basischer Vulkanismus von Folegandros (Kykladen, Griechenland)

Autor(en): **Davis, E.N.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen  
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **61 (1981)**

Heft 2-3

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-47138>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## **Früher basischer Vulkanismus von Folegandros (Kykladen, Griechenland)**

von *E. N. Davis\**

### **Abstract**

Relics of an early volcanism have been discovered on the Island of Folegandros, Cyclades, Greece (36°35' N, 24°55' E). Concordant, intercalated beds of metamorphic augitiferous schists may have derived from shoshonitic lavas of possibly mesozoic age.

### **Einleitung**

Während des Studiums des metamorphen Systems der Insel Thera wurde das Vorkommen eines älteren, bis jetzt unbekanntem submarinen Vulkanismus festgestellt. Es handelt sich um eingelagerte Vulkanite und Tuffe im Kristallin des Gebietes von Athenios und Thermia und zwar um normale bis basische Andesite, die in die ehemaligen Sedimente eingedrungen waren und später eine Metamorphose durchmachten (1978).

Auf Grund dieser Tatsache haben wir auch auf der Nachbarinsel gesucht, um eventuell einen weiteren Bereich älteren Vulkanismus festzustellen. So wurde ein früherer basischer Vulkanismus auch im Kristallin der Insel Folegandros nachgewiesen.

### **Ergebnisse früherer Untersuchungen**

Mit der Geologie von Folegandros befasste sich zuerst FIEDLER (1840–41). Er schreibt, dass die Insel aus Glimmerschiefern und kristallinen Kalken besteht,

---

\* Institut für Mineralogie und Geologie, Landwirtschaftshochschule zu Athen, Iera Odos 75, Athen.

dass Vulkangesteine dort aber fehlen, obwohl die Nachbarinseln (Milos, Santorin) vulkanisch sind.

LACROIX (1897), der Folegandros ausführlicher untersucht hat, erwähnt drei Horizonte auf der Insel:

1. Glimmerschiefer
2. Chloritschiefer
3. Kalkschiefer, die mit zunehmendem Calcitgehalt allmählich in Marmore übergehen.

Auch Lacroix erwähnt das Fehlen von Vulkaniten.

Später gibt PHILIPPSON (1901) eine allgemeine Übersicht der Geologie von Folegandros und nimmt wieder drei petrographische Horizonte an:

1. Unterer Horizont aus Marmor bestehend
2. Schiefer, die den Westteil der Insel bedecken
3. Oberer Marmorhorizont, der auf dem Ostteil der Insel verbreitet ist.

MARINOS (1947), der die Petrologie der Insel Ios untersucht hat, erwähnt, dass das obere Schiefersystem von Ios, welches aus Glimmerschiefer mit Epidot- und Hornblende-Schiefer besteht, seine Fortsetzung in den Inseln Folegandros und Sikinos findet.

MARAKIS (1970), der sich mit dem Alter der Sulfiderze der Kykladen befasst hat, erwähnt ebenfalls, dass Folegandros und Sikinos ausschliesslich aus kristallinen Gesteinen bestehen.

VERGINIS (1973), der vor einigen Jahren die Morphologie dieser Inseln bearbeitete, hat für seine Doktorarbeit eine geologische Karte der Inseln (Massstab 1:25 000) gezeichnet.

Nach der Beschreibung von VERGINIS, dessen vereinfachte geologische Karte in Fig. 1 wiedergegeben ist, besteht die Insel aus folgenden Gesteinshorizonten:

1. Unterer Marmor
2. Kalk-Hellglimmer-Schiefer und Gneise  
Epidot-Hellglimmer-Schiefer  
Strahlstein-Chlorit-Epidot-Schiefer und Gneise
3. Oberer Marmor.

VERGINIS beschreibt auch metamorphe Ophiolite (Serpentinite) als Einschlüsse im Gneis und Schiefer des SE-Teils der Insel (Lage Katergo), ebenso gibt er ein Vorkommen von Neogen-Mergel in der Nähe von Chora an, das er als Süsswasserablagerung deutet (jedoch ohne Fossilien).

#### **Feldgeologische und mikroskopische Beobachtungen**

Während der Feldarbeit am Kristallin von Folegandros ist uns im Nordteil der Insel eine Linse von massivem, dichtem, dunklem Gestein aufgefallen

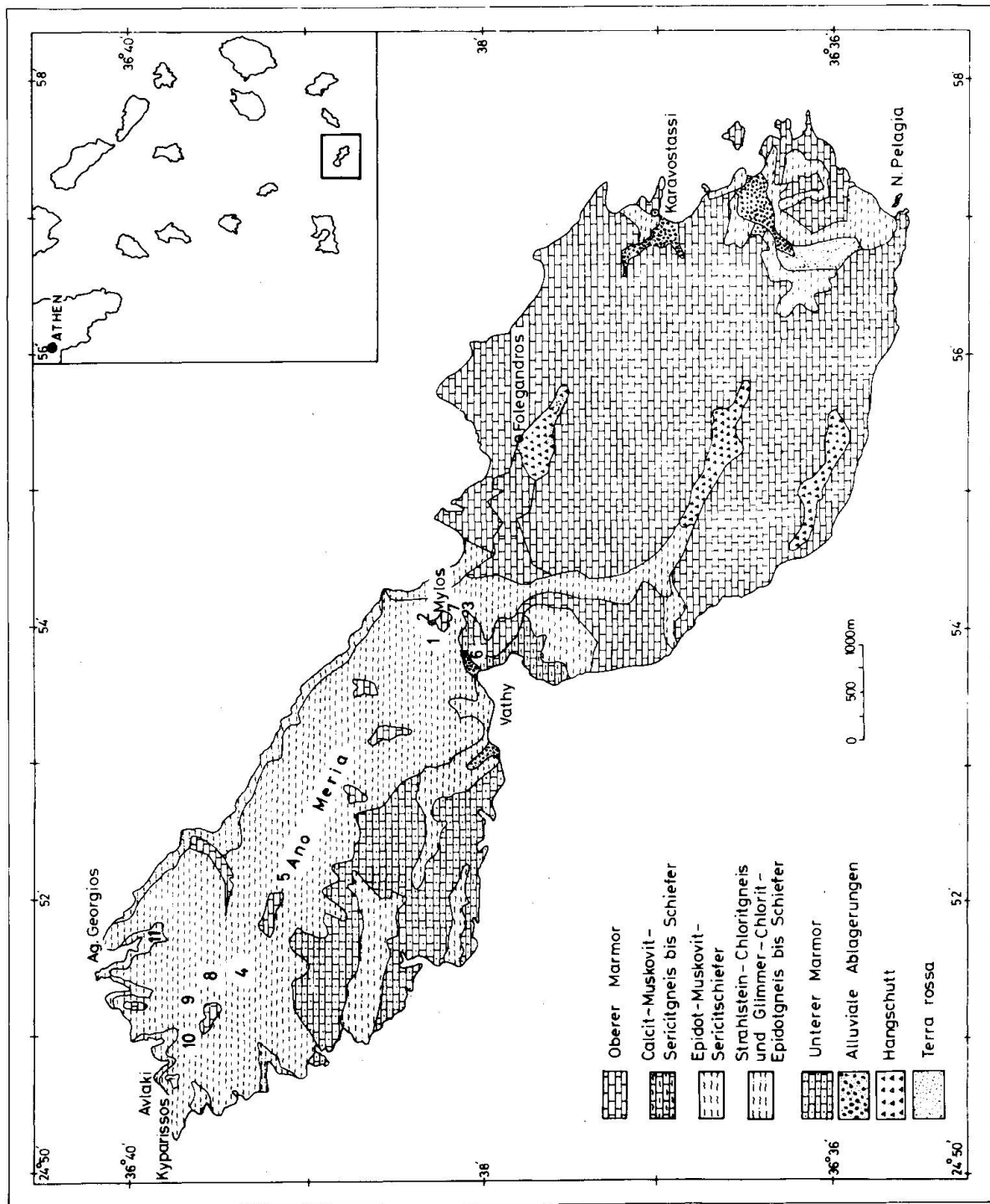


Fig. 1 Geologische Karte der Insel Folegandros (Kykladen, Griechenland) nach S. VERGINIS, vereinfacht. Die Nummern entsprechen den Fundorten der Handstücke.

(200 m ü. M.) Dieses Vorkommen setzt sich in Kiparissi-Kalamies fort sowie nach NE bis Avlaki. Es liegt konkordant im Kristallin (Streichen W-E, Fallen 30° N).

Im Mikroskop erkennt man reichlich Pyroxen neben Chlorit, Hellglimmer, Aktinolit und Epidot. Die Pyroxenkristalle haben eine Grösse bis 2 mm, während die Matrix feinkörnig ist (Fig. 2, 3). Es handelt sich um Klinopyroxen. Die Kristalle sind kataklastisch, verbogen und deformiert. Öfters erscheinen sie in Relikten, und in der Regel haben sie einen Reaktionsrand, welcher aus Glaukophan, grünem Amphibol oder seltener Biotit besteht.

An anderen Orten (z.B. über der Bucht von Agios Georgios, 40 m ü. M.), wechseln eingelagerte pyroxenreiche Vulkanite mit Streifen von Biotit-Aktinolith-Schiefer ab. Anderswo treten Metatuffite auf, so bei Porta über der Bucht von Vathy. Da diese Vulkanite öfters in den ehemaligen Sedimenten eingelagert erscheinen, könnte man annehmen, dass es sich um einen subaquatischen Vulkanismus handelt.

Abgesehen von den Vorkommen 1 und 2, haben die untersuchten Proben ein schiefriges Gefüge. Es handelt sich um Hellglimmer-Schiefer (Probe 2) und Hellglimmer-Chlorit-Schiefer (Proben 1, 9, 10) mit  $\pm$  Aktinolith oder Epidot (Proben 3, 4, 7, 8). Seltener sind Epidot-Chlorit-Aktinolith-Schiefer (5, 6) und Hellglimmer-Stilpnomelan-Schiefer bzw. -Gneise (11).

Einige Proben führen spärliche Kristalle von Glaukophan, der nicht aus Pyroxen entstanden sein kann. Fast alle Proben haben Albit und Chlorit in wechselnden Mengen, einige auch Titanit. Sehr spärliche Granatkristalle sind bei einigen Proben zu beobachten.

Sehr selten erscheint Glaukophan in idiomorph ausgebildeten Prismen, die meist sehr klein sind, so dass eine Analyse nicht möglich ist. Aus Umwandlung des Pyroxens entstanden, umrahmt Glaukophan manchmal einen Pyroxenkern. Dabei erscheint der Glaukophan oft zonar (innen tiefblau, aussen heller).

Die untersuchten Albite haben keinen Anorthit-Anteil. Es sind meist klare, unverzwillingte oder seltener verzwillingte Kristalle, die in einigen Fällen feine, unregelmässige, nicht identifizierbare Einschlüsse enthalten.

Chlorit zeigt von Probe zu Probe grosse Variabilität. Ob den wechselnden optischen Merkmalen (hellgrün/dunkelgrün, positiv/negativ) auch deutliche chemische Unterschiede entsprechen, wurde nicht geprüft.

Epidot kommt in verschiedenen Gesteinstypen und oft in grossen Porphyroblasten vor. Einige Mineralanalysen von Epidot sind in der Tabelle 1 wiedergegeben. Die Kristalle weisen einen leichten Pleochroismus mit  $n_{\alpha}$  = zitronengelb,  $n_{\beta}$  = grünlichgelb und  $n_{\gamma}$  = hellgelblichgrün auf. Der optische Achsenwinkel mit U-Tisch gemessen ergibt  $(-)\ 2V = 67^{\circ}$  und  $a/n_{\gamma} = 27^{\circ}$  (Pistazit).

Der Pyroxen tritt in grossen, idiomorphen Kristallen auf. Er ist oft verzwillingt und enthält Quarzeinschlüsse. Meistens ist er deformiert und kataklastisch. Oft ist er in Chlorit umgewandelt, der in feinen Rissen der Kristalle er-

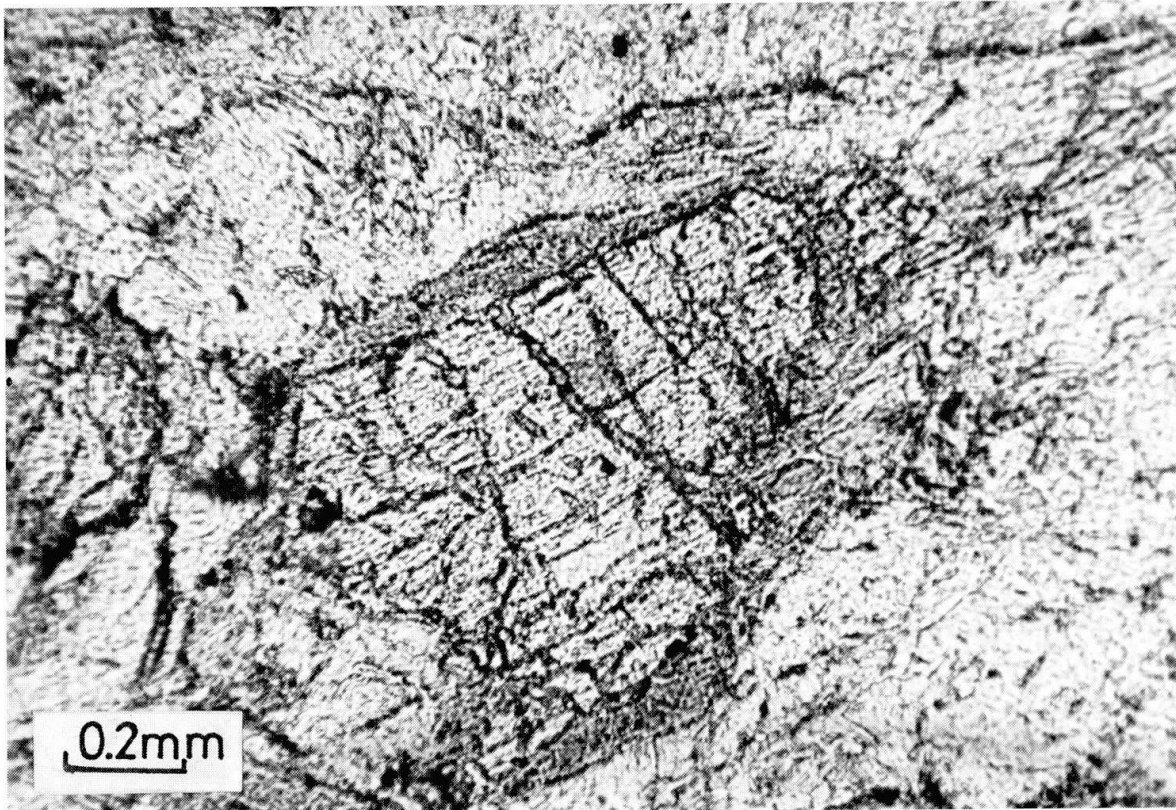


Fig. 2 Pyroxenkristall mit Reaktionsrand aus Glaukophan, in Sericit-Chlorit-Schiefer.

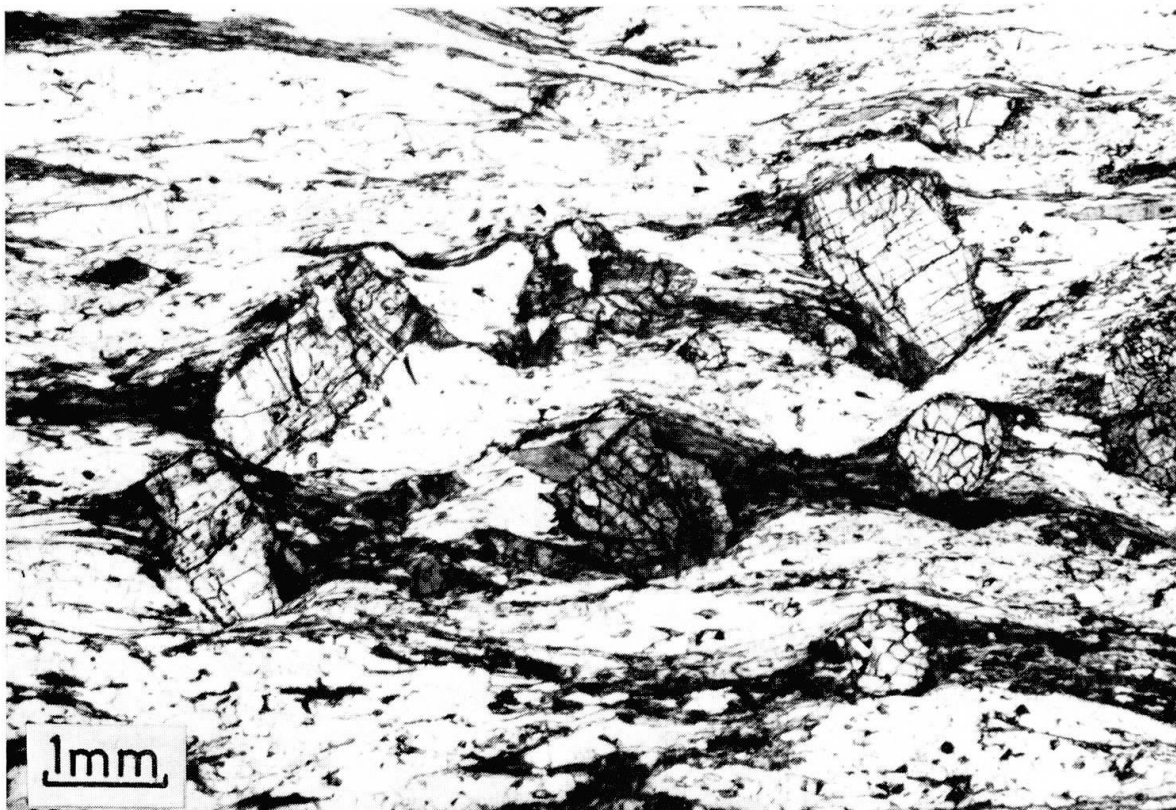


Fig. 3 Pyroxenkristalle in Hellglimmer-Chlorit-Aktinolith-Schiefer.



Tab. 1 Mineralanalysen, Metavulkanite von Folegandros.

Mineral	P y r o x e n							
	1	1	1	1	3	3	3	3
Gesteinsprobe	1	1	1	1	3	3	3	3
SiO <sub>2</sub>	53.81	52.01	49.99	53.89	54.22	53.00	52.61	52.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.17	2.00	4.20	0.80	1.11	1.67	1.55	1.45
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.52	0.95	0.19	0.23	0.36	0.38	0.44
FeO	5.86	9.38	9.59	4.39	5.74	9.24	9.31	10.03
MnO	0.14	0.37	0.21	0.16	0.18	0.39	0.41	0.45
MgO	16.66	13.97	13.52	15.73	15.63	14.37	14.28	14.40
CaO	23.14	21.89	22.14	24.68	23.51	21.25	21.04	20.21
Na <sub>2</sub> O	0.23	0.30	0.37	0.35	0.13	0.27	0.27	0.29
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
	101.31	100.43	100.96	100.18	100.76	100.53	99.85	99.76
Basis O:	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.96	1.94	1.86	1.98	1.99	1.96	1.96	1.97
Al	0.04	0.06	0.14	0.02	0.01	0.04	0.04	0.03
Al	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03
Ti	0.01	0.02	0.03	-	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	0.18	0.29	0.30	0.11	0.18	0.29	0.29	0.31
Mn	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.90	0.78	0.75	0.70	0.85	0.79	0.79	0.80
Ca	0.90	0.88	0.88	0.79	0.92	0.84	0.84	0.81
Na	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
K	-	-	-	-	-	-	-	-

Mikrosonde-Analysen von M. KOONS (ETH Zürich). Alles Eisen zweiwertig berechnet.

scheint. Er ist immer von einem Reaktionsrand umgeben. Diese Pyroxenkristalle sind prämetamorphe Reste. Mineralbestand und Chemismus weisen auf basische Andesite, bzw. Basalte als Ausgangsgesteine.

Aus den chemischen Analysen dieser Kristalle ergibt sich, dass es sich um Klinopyroxene handelt (Tabelle 1). Die optischen Daten mit U-Tisch gemessen sind folgende:

$$c/n\gamma = 45^\circ. (+) 2V = 57-60^\circ.$$

### Chemische Untersuchungen

Elf repräsentative Gesteinsproben wurden für Gesteinsvollanalysen und für die Bestimmung der Spurenelemente gewählt (siehe Tabelle 2 und 5). Die Gesteine sind im K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> Diagramm nach PECCERILLO und TAYLOR (1976) auf-

Mineral			E p i d o t			A l b i t		
	Gesteinsprobe	9	9	1	7	9	9	10
SiO <sub>2</sub>		52.31	53.45	38.21	38.04	38.02	71.51	72.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.67	1.46	23.29	23.23	24.27	19.23	19.66
TiO <sub>2</sub>		0.66	0.50	0.06	0.07	0.06	0.04	-
FeO		10.78	7.63	11.47	11.60	12.87	0.26	0.15
MnO		0.45	0.24	0.16	0.14	0.10	-	-
MgO		14.44	15.23	-	-	-	-	-
CaO		19.99	22.20	23.70	23.61	22.81	0.14	0.07
Na <sub>2</sub> O		0.29	0.16	-	-	-	11.07	10.61
K <sub>2</sub> O		-	-	-	-	0.02	0.04	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		-	-	-	0.04	-	-	-
		100.58	100.87	96.87	96.73	95.59	102.29	102.62
Basis O:		6	6	12	12	12	8	8
Si		1.95	1.97	3.00	3.00	2.96	3.05	3.05
Al		0.05	0.03	-	3.00	0.04	0.97	0.98
Al		0.02	0.03	2.16	2.19	2.19	-	-
Ti		0.02	0.01	-	-	-	-	-
Fe		0.34	0.23	0.75	0.75	0.75	0.84	0.84
Mn		0.01	0.01	-	-	-	-	-
Mg		0.80	0.83	-	-	-	-	-
Ca		0.80	0.87	2.00	2.00	1.90	-	-
Na		0.02	0.01	-	-	-	0.91	0.87
K		-	-	-	-	-	-	-

getragen. Die meisten der Projektionspunkte im Diagramm K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> fallen in das Feld der Shoshonite (Nr. 4, 8, 9, 10) und K-reichen Andesite (11). Ein Punkt liegt im Feld der Absarokite (5), zwei im Feld der Banakite (1, 2), zwei im Latitfeld (3, 6) schliesslich eine Probe (7) im Feld der K-armen Andesite (Fig. 4).

Das gleiche Resultat ergibt sich aus dem AFM-Dreieck nach JAKES und WHITE, (1972) (Fig. 5), wobei die meisten Punkte in den Bereich der shoshonitischen Assoziation fallen. Die shoshonitische Serie ist durch einen hohen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt (14,5 bis 20,0%) und einen beträchtlichen Gesamtalkali-Gehalt (> 5%) charakterisiert. Gleichzeitig ist das K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-Verhältnis hoch (ungefähr gleich 1) und das FeO/MgO-Verhältnis konstant.

Der normative Mineralbestand (Tabelle 3) ist im Ne-Ol-Di-Hy-Q-Diagramm veranschaulicht (Fig. 6).

Es erhebt sich die Frage, ob dieser Chemismus auf die Metamorphose zurückgeht. Kalium könnte aus dem Nebengestein zugewandert sein. Ein weiterer



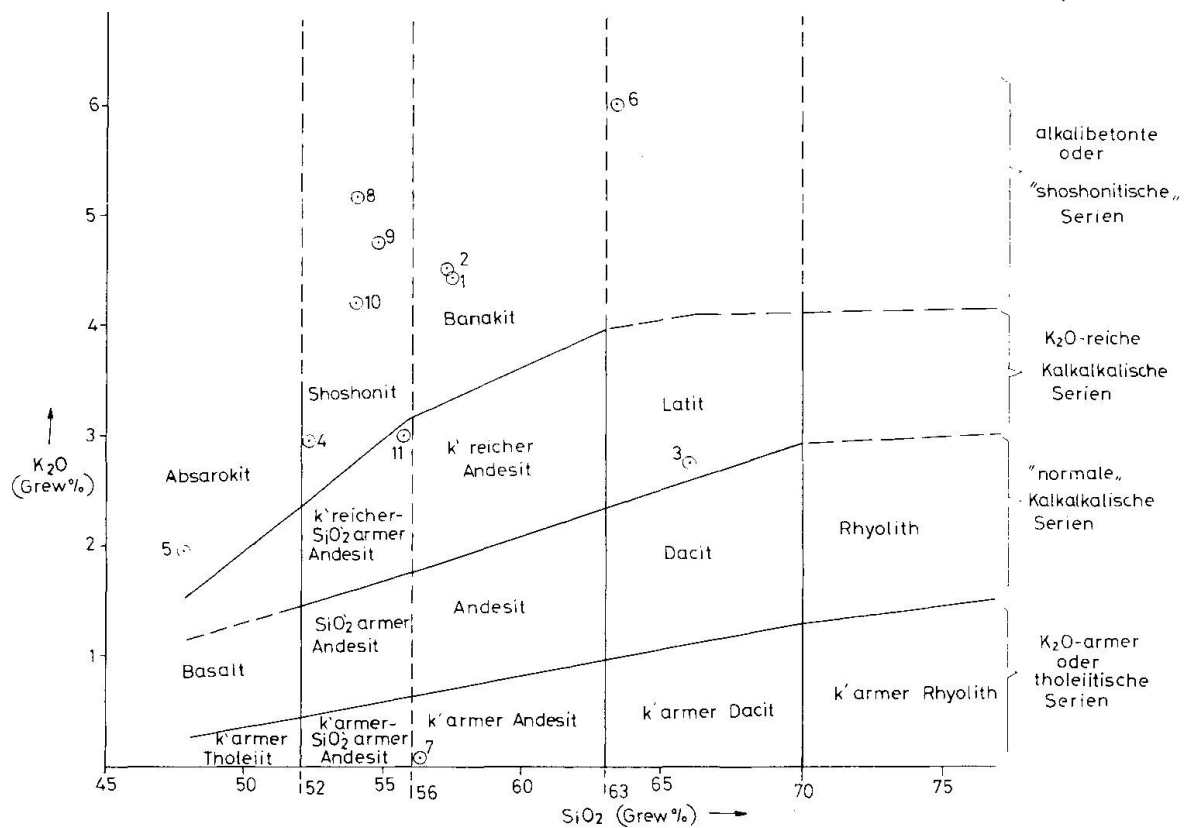


Fig. 4 Die Metavulkanite von Folegandros im  $K_2O$ - $SiO_2$ -Diagramm nach PECCERILLO und TAYLOR (1976). Es wurden die «normierten» Werte, d. h. die Anhydrid-Werte ( $H_2O$ - und  $CO_2$ -frei) benützt.

Hinweis auf weitgehend intakten, primären Chemismus sind die Spurenelement-Analysen (Tabelle Nr. 5). Zur Charakterisierung der magmatischen Serie und des Differentiationsgrades wurden die Diagramme nach FLOYD und WINCHESTER (1978) auf Grund der Spurenelemente, die bei der Metamorphose nicht verändert wurden (Fig. 7, 8), aufgezeichnet. Nach dieser Methode können geochemische Daten von Metavulkaniten der Grünschiefer-, Amphibolit- und Granulitfacies zur weiteren Charakterisierung der Gesteine benützt werden. Daraus ergibt sich, dass die Metavulkanite von Folegandros den basischen Andesiten bzw. Basalten, zum Teil auch den Trachyandesiten, zuzuordnen sind.

Eine Frage stellt sich für den Chemismus der Probe 7. Die Analyse der Probe Nr. 7 fällt völlig aus dem Rahmen. Man fragt sich, ob der Chemismus tatsächlich primärmagmatisch ist. Die Alkaliarmut (fast völliges Fehlen von Natrium und Kalium), sprechen nicht dafür. Parallel mit den niederen Alkaligehalten gehen in der Probe 7 niedere Gehalte von P, Nb, Zr, Sr, Rb und Ba einher. Cr und Ni dagegen sind höher als bei den übrigen Gesteinen. Derartige Zusammensetzungen sind von der Literatur her bekannt und zwar bei kieselsäurereichen Differentiaten aus Ophiolithen (JUNG D. et al., 1982).

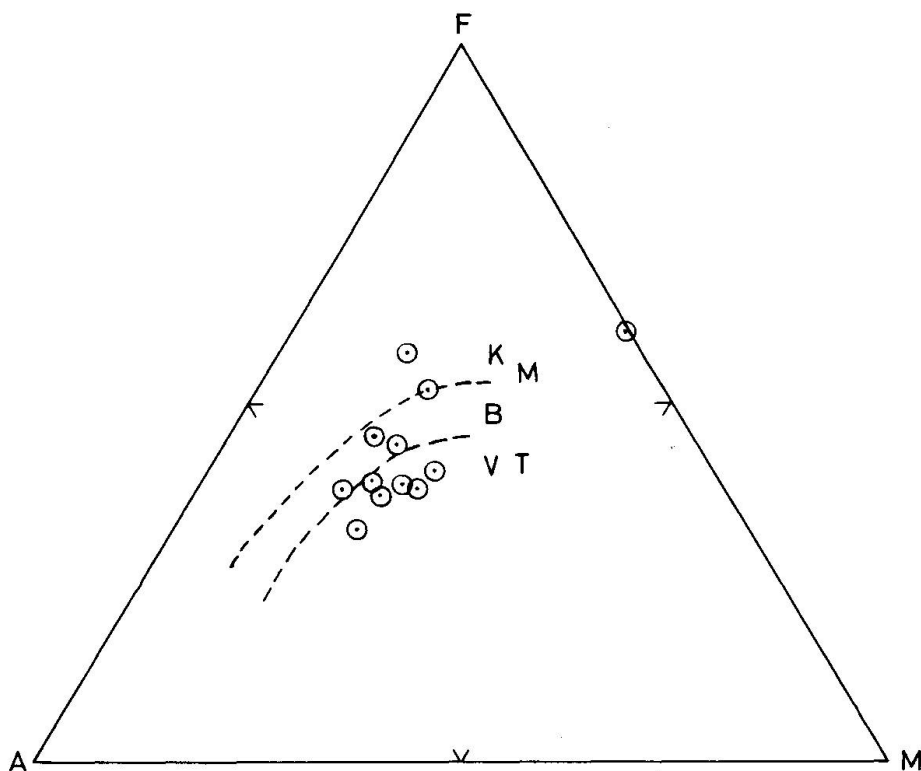


Fig. 5 A ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ), M (MgO), F ( $\text{FeO}+9\text{Fe}_2\text{O}_3$ )-Dreieck für die Diskriminierung des Magmentyps der Vulkangesteine von Inselbogen (JAKES und WHITE, 1972).

KM = tholeiitische Assoziation (Karkar, Manam Insel), B = Kalkalkali-Assoziation (Bougainville), VT = shoshonitische Assoziation (Mt Victory und Trafalgar).

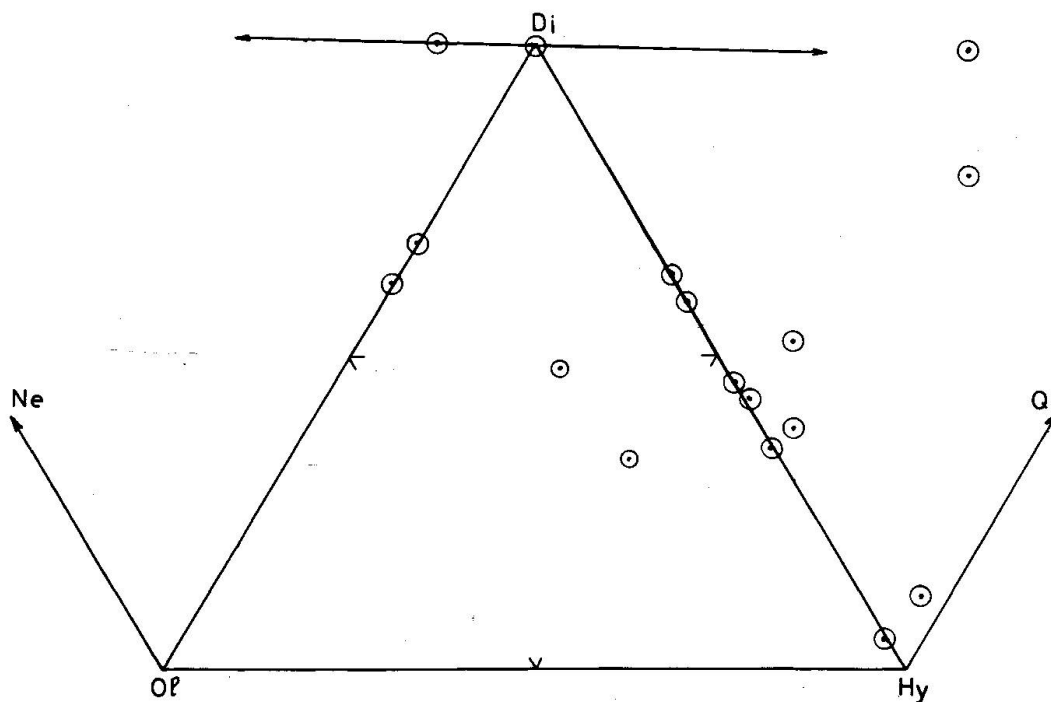


Fig. 6 Der normative Mineralbestand im Ne-Of-Di-Hy-Q-Diagramm (THOMPSON et al., 1972a).

Tab. 2 Chemische Analysen der Metamorphiten von Folegandros.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	56.40	55.72	64.60	41.58	43.13	52.88	53.30	52.59	53.13	53.02	53.99
TiO <sub>2</sub>	.61	.68	.44	1.56	.83	.55	.44	.67	.85	.75	.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.96	16.54	12.26	14.70	16.47	14.74	15.12	15.64	16.50	15.73	15.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.72	3.67	1.35	6.20	8.90	2.20	4.17	3.69	4.31	5.33	4.21
FeO	4.05	4.10	3.50	4.15	1.05	3.70	4.40	4.80	3.95	3.55	4.75
MnO	.14	.13	.10	.11	.13	.11	.15	.14	.13	.13	.17
MgO	4.32	3.39	2.09	3.73	2.36	3.97	4.96	5.42	3.97	5.05	5.59
CaO	5.26	3.59	9.55	11.42	14.77	4.38	11.86	5.75	5.73	5.67	4.11
Na <sub>2</sub> O	3.82	4.42	1.09	2.92	2.60	3.38	.05	2.81	3.27	3.95	4.02
K <sub>2</sub> O	4.31	4.37	2.67	2.30	1.74	4.95	.06	4.99	4.64	4.12	2.92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.64	.73	.28	.20	.08	.60	.05	.71	.75	.77	.78
H <sub>2</sub> O +	2.31	2.40	2.41	2.81	6.14	2.40	4.20	2.52	2.66	1.87	3.38
CO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	7.28	1.62	6.27	.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.54	99.74	100.34	98.96	99.82	100.13	98.79	99.73	99. <sup>89</sup>	99.94	100.29

Röntgenfluoreszenz-Analysen von V. DIETRICH (ETH Zürich). Methode nach DIETRICH et al., (1976).

Tab. 3 C.I.P.W.-Norm der Gesteine von Folegandros.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Q	2.55	1.13	29.06	7.72	0.00	18.98	23.34	0.00	.63	0.00	2.59
C	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	14.16	0.00	0.00	0.00	0.00	.27
or	25.93	26.53	16.11	17.06	11.42	35.04	.37	30.33	28.20	24.82	17.80
ab	32.90	38.42	9.42	31.01	20.21	34.26	.45	24.46	28.45	34.08	35.09
an	11.14	12.72	21.11	11.70	31.24	26.14	43.21	15.76	17.11	13.28	15.78
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
di	8.95	.54	20.63	0.00	14.09	0.00	14.81	7.07	5.64	8.07	0.00
wo	0.00	0.00	.16	0.00	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ky	10.35	12.13	0.00	11.82	0.00	16.96	10.40	9.55	10.09	4.77	18.86
ol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.33	0.00	3.83	0.00
mt	5.49	5.47	2.00	11.28	1.56	3.82	6.39	5.50	6.43	7.88	6.30
il	1.18	1.33	.85	3.72	1.75	1.25	.88	1.31	1.66	1.45	1.43
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	1.54	1.78	.68	.59	.21	1.70	.13	1.73	1.83	1.86	1.91
Total	100.03	100.04	100.01	99.91	99.97	100.02	99.98	100.04	100.04	100.04	100.03
Differentiation- Index	61.38	66.07	54.58	55.78	33.92	88.27	24.16	54.79	57.28	58.90	55.49

Tab. 4

	A	F	M	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	FeO*	FeO*/MgO	FeO*/FeO*+MgO	100Mg(Mg+Fe)
1	40.97	37.27	21.77	.919	7.395	1.712	.631	64.76
2	44.89	37.80	17.31	.895	7.400	2.183	.686	58.82
3	35.59	44.62	19.78	.386	4.714	2.256	.693	50.85
4	27.95	52.08	19.97	1.494	9.726	2.607	.723	60.95
5	27.55	57.47	14.98	8.476	9.054	3.836	.793	78.07
6	46.33	31.58	22.08	.595	5.678	1.430	.589	65.00
7	.83	61.65	37.52	.948	8.150	1.643	.622	66.02
8	36.55	38.05	25.40	.769	8.118	1.498	.600	66.06
9	40.14	39.71	20.15	1.091	7.826	1.971	.663	63.42
10	37.60	38.87	23.53	1.501	8.343	1.652	.623	70.98
11	32.94	40.52	26.54	.886	8.536	1.527	.604	66.94

FeO\* umfasst Gesamteisen

Tab. 5 Spurenelemente (ppm)

	Spurenelemente (ppm)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nb	6	10	7	<3	<3	3	<3	5	6	5	5
Zr	163	236	254	123	65	91	28	173	171	178	160
Y	8	11	2	22	11	11	3	4	9	11	13
Sr	127	155	117	104	334	240	30	355	456	275	111
U	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.5	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6
Rb	190	207	333	33	44	81	<4	246	248	194	119
Th	19	30	41	<6	<6	<6	<6	22	15	20	14
Pb	4	4	5	<6	<6	4	<6	7	<6	6	6
Ga	11	13	13	11	12	7	10	16	15	13	12
Zn	76	90	52	132	100	61	66	84	81	82	82
Cu	50	53	38	10	3	24	121	55	46	87	67
Ni	14	14	36	187	62	15	44	8	12	9	27
Co	25	21	46	46	26	3	30	21	22	24	27
Cr	40	37	94	809	251	48	167	57	78	52	81
V	204	205	191	213	116	46	256	220	247	259	269
Ce	110	134	105	<23	<23	53	<23	39	57	61	64
Nd	42	52	48	<12	<12	17	<12	13	29	28	26
Ba	1335	1333	1548	100	234	650	11	1920	1960	2230	840
La	60	68	49	9	6	21	0	18	25	21	21
Sc	18	23	4	27	37	20	27	24	28	27	33
S	1308	1923	<16	<16	<16	<16	<16	548	1037	2797	624
K	36.446	37.276	22.664	23.993	16.023	49.231	498	42.589	39.601	34.868	24.989
Ti	3.720	4.200	2.700	11.760	5.520	3.960	2.820	4.140	5.220	4.560	4.500
Zr/TiO <sub>2</sub>	0.026	0.03	0.056	0.006	0.007	0.017	0.006	0.025	0.019	0.023	0.021
Nb/Y	0.75	0.9	3.5	0	0	0.27	0	1.25	0.666	0.45	0.38
Ca/Sc	0.61	0.57	3.25	0.41	0.32	0.35	0.37	0.666	0.535	0.48	0.36

Röntgenfluoreszenz-Analysen von V. DIETRICH (ETH Zürich).

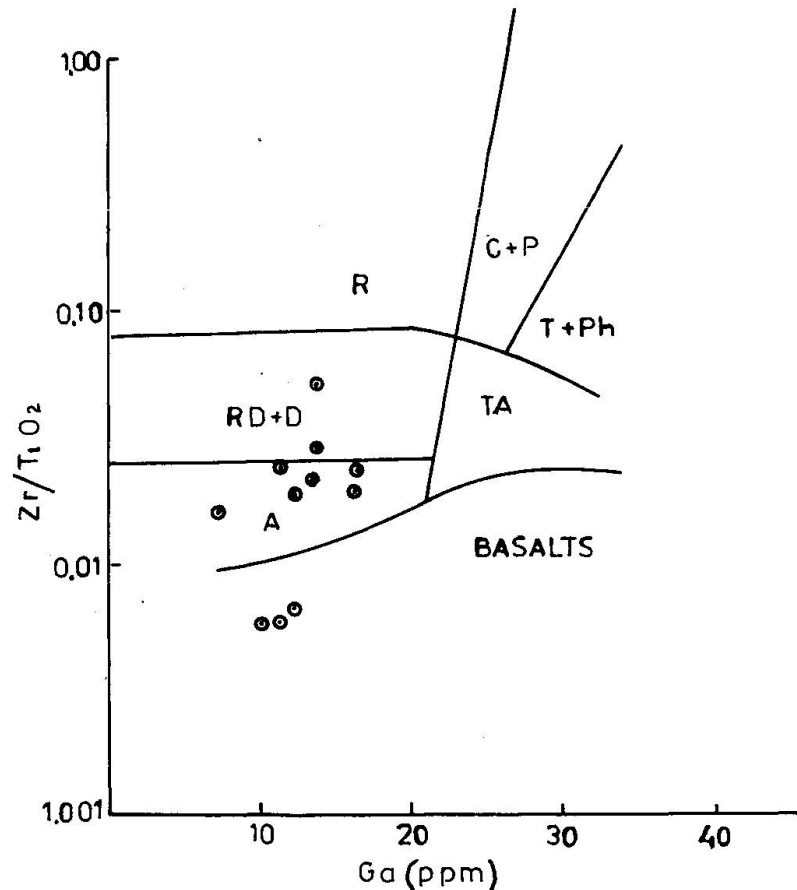


Fig. 7 Zr-TiO<sub>2</sub>-Ga-Diagramm für Identifikation und Diskriminierung der Metavulkanite von Folegandros, nach FLOYD und WINCHESTER (1978).  
 A = Andesite, RD = Rhyodacite, D = Dacite, R = Rhyolite, TA = Trachyandesite, T = Trachyte, Ph = Phonolite, C = Comendite, P = Pantellerite.

VERGINIS erwähnt vom SE-Teil der Insel Serpentinite, die auch von uns festgestellt wurden. Da die Probe 7 bis jetzt das einzige derartige Gestein im N-Teil der Insel Folegandros ist, können wir diese Probe nicht ohne weiteres mit Ophiolithabkömmlingen gleichstellen.

### Schlussfolgerungen

Auf Grund des Chemismus der Metavulkanite von Folegandros und der geochemischen Berechnungen ist ersichtlich, dass es sich um kalireiche Gesteine hauptsächlich der shoshonitischen Assoziation, handelt. Solche Gesteine sind die letzten Bildungen in «reifen» Inselbögen, d. h. in Zonen, die am weitesten vom Tiefseegraben weg sind, am Kontinentalrand, oder gar schon auf dem Kontinent. «Shoshonite» entstehen aber auch bei Subduktionen, z. B. in Südamerika (DUPUY und LEFEVRE, 1974).

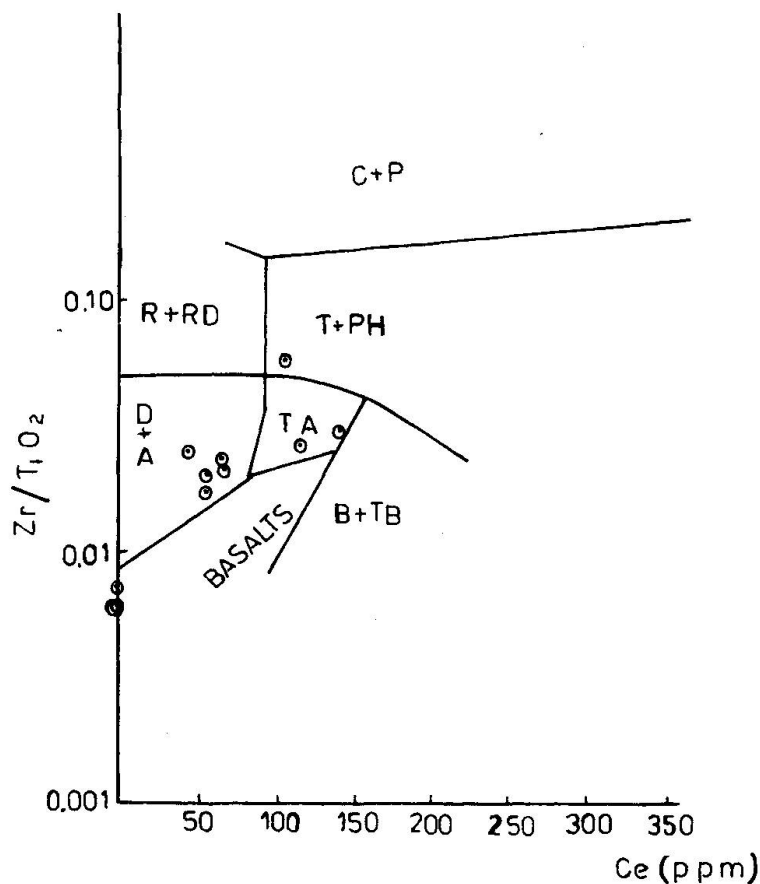


Fig. 8 Zr-TiO<sub>2</sub>-Ce-Diagramm für Identifikation und Diskriminierung der Metavulkanite von Folegandros, nach FLOYD und WINCHESTER (1978).

Der prämetamorphe Vulkanismus könnte präkretazisch sein. In der pelagischen Zone, zu welcher das untersuchte Gebiet gehört, ist eine vulkanische Tätigkeit schon aus der Mittel- bzw. Untertrias bekannt. Und zwar:

- a) In Thessalien (Mavrovouni, Kato Olympos, Pilion). Das Alter des Vulkanismus ist hier auf Grund von Conodonten festgestellt worden. Die Conodonten-Schichten bilden das Liegende der Vulkanite, während eine fossilführende Mittel- bis Obertrias stellenweise transgressiv ihr Hangendes bildet (DAVIS und JUNG 1979, KATSIKATSOS et al., im Druck).
- b) In Zentral-Euboea. Von KATSIKATSOS (1970) wurde in diesem Gebiet ein mittel- bzw. untertriadischer submariner Vulkanismus (hauptsächlich Spilitite) in Tonschiefern und Sandsteinen mit fossilführenden Kalkeinlagerungen untersucht.
- c) Im Bereich von Parnes. Hier ist der permische Vulkanismus mit Keratophyren und Tuffen vertreten (KTENAS, 1924). Nach Katsikatsos (unveröffentlicht, persönliche Mitteilung) handelt es sich auch in diesem Fall eher



um einen Vulkanismus triadischen Alters, da die Vulkangesteine die permischen Bildungen durchbrechen.

Auf Grund der oben erwähnten Tatsachen und Beobachtungen könnte man den Vulkanismus von Folegandros als mittel- bis untertriadisch betrachten, wie dies in anderen Gebieten der pelagonischen Zone der Fall ist.

#### Verdankungen

Die vorliegende Untersuchung wurde vom Forschungsinstitut von Athen (E.I.E.) unterstützt, wofür hier der verbindliche Dank ausgesprochen wird.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. V. Trommsdorff, Institut für Petrographie ETH Zürich, für die Gastfreundschaft und die Erlaubnis, an seinem Institut Analysen durchführen zu lassen.

Herrn Prof. Dr. V. Dietrich sei auch hier herzlich gedankt für die Gesteinsanalysen und Berechnungen. Ebenfalls besten Dank Herrn M. Koons für die Mineralanalysen mit Mikrosonde.

#### Literatur

- ALTHERR, R., KELLER, J., HARRE, W., HÖHNDORF, A., KREUZER, H., LENZ, H., RASCHKA, H., and WENDT, J. (1976b): Geochronological data on granitic rocks of the Aegean Sea (preliminary results). 25th Congr. and Plen. Ass. C.I.E.S.M., Split.
- ALTHERR, R., HARRE, W., KREUZER, H., OKRUSCH, M. and SEIDEL, E. (1976c): On the age of the high-pressure metamorphism on Sifnos (Greece). Preliminary rapport. 25th Congr. and Plen., Assoc., C.I.E.S.M., Split.
- DAVIS, E. N. and BASTAS, C. (1978): Petrology and Geochemistry of the metamorphic system of Santorini island. Thera and the Aegean World I, London, p. 61-79.
- DAVIS, E. N. - JUNG, D. (1979): Metamorphe Facies und Geochemie der Glaukophangesteine von Pilion. Praktika Akademie Athen, 53, 537-553.
- DIETRICH, V., OBERHÄNSLI, R., und WALPEN, P. (1976): Röntgenfluoreszenzanalyse der Silikatgesteine. Institut für Kristallographie und Petrographie ETH Zürich.
- DIETRICH, V.J. and JONES, E.J.W. (1980): Volcanic rocks from Rosemary Bank (Rockall Trough NE Atlantic). Marine Geology, 35, 287-297.
- DUPUY, C., LEFEVRE, C. (1974): Fractionnement des éléments en trace Li, Rb, Ba, Sr, dans les séries andésitiques et shoshonitiques du Perou. Comparaison avec d'autres zones orogéniques. Contr. Min. and Petr. Heft 46, 147-157.
- DÜRR, ST., ALTHERR, R., KELLER, J., OKRUSCH, M. et SEIDEL, E. (1978): The median Aegean Crystalline Belt: Stratigraphy, Structure, Metamorphism, Magmatism. In: Alps, Apennines, Hellenides: Closs, H. et al. (Eds.): Mediterranean orogens. Inter-Union Commission on Geodynamics. Scientific Report No 38, Schweizerbart, Stuttgart 455-477.
- DÜRR, ST., SEIDEL, E., KREUZER, H., HARRE, W. (1978): Témoins d'un métamorphisme d'âge Crétacé supérieur dans l'Egée: datations radiométriques de minéraux provenant de l'île de Nikouria (Cyclades, Grèce). Bull. Soc. Geol. France, (7), t. XX, no 2, p. 209-213.
- FIEDLER, G., (1840-41): Reise durch alle Teile des Königreiches Griechenlands. Leipzig.

- FLOYD, P.A. and WINCHESTER, J.A. (1978): Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. *Chemical Geology*, 21, 291-306.
- JAKES, P., WHITE, A.J.R. (1972): Major and trace elements abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, p. 24-40.
- JUNG, D., MUSSALAM, K., BURGATH, K., KOCKEL, F., MOHR, G. and RASCHKA, H., (1980): Ultramafic and related rocks of Chalkidiki. Intern. Symposium on Metallogeny of mafic and ultramafic complexes: the Eastern Mediterranean Western Asia Area and its comparison with similar metallogenic environments in the world. Athens, Oktober 9-11.
- KATSIKATSOS, G., (1970): Les formations triassiques de l'Eubée centrale (note préliminaire). *Annales Geol. Pays. Hellen.* 22, 62-76.
- KATSIKATSOS, G., MIGIROS, G., VIDAKIS, M.: La structure géologique de la région de la Thessalie orientale (Grèce). 26<sup>e</sup> Congrès géol. internat., Paris 1980 (im Druck).
- KTENAS, K. (1924): L'âge des formations volcaniques du massif de Parnes (Attique). *C. R. Som. d. l. Soc. Geol. de France*, p. 206.
- LACROIX, A. (1897): Sur la constitution minéralogique de l'île Polykandros. *C. R. de l'Acad. des Sc., Paris*, 124, p. 628-630.
- MARAKIS, G. (1970): Remarks on the age of sulfide mineralization in Cyclades area. *Annales Geol. Pays. Hellén.* T. XIX, 1968 - A, p. 695-700.
- MARINOS, G. (1947): Contribution à la pétrologie du système cristallophylien du SE de la Grèce. L'île d'Ios. *Annales Geol. Pays Hellén.* I, p. 60-96.
- MARINOS, G. (1955): Das Alter der metamorphen Schichten Attikas. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 2, 1954, 1-3, Athen.
- MARKS, P. et SCHUILING, R.D. (1965): Sur la présence du Permien supérieur non métamorphique à Naxos. *Praktika Academie Athènes*, B. 40, p. 96-99.
- NICHOLLS, J.A. (1971): Petrology of Santorini Volcano, Cyclades, Greece. *Journal of Petrology*, Volume 12, Nr. 1, 67-121.
- NINKOVICH, D. and HAYS, J.D. (1972): Mediterranean island Arcs and origin of high potash volcanoes. *Earth and planetary Science Letters*, 16, 331-345.
- NISBET, E.G., DIETRICH, V.J., ESENWEIN, A. (1979): Routine trace element determination in silicate minerals and rocks by X-ray fluorescence. *Fortschr. Miner.* 57, 2, 264-279.
- PAPASTAMATIOU, J. (1956/58): Sur l'âge des calcaires cristallins de l'île de Théra (Santorin). *Bull. Geolog. Soc. Greece*, Tom. III, Nr. 1, 104-113.
- PAPASTAMATIOU, J. (1963): Sur la présence de roches sédimentaires d'âge prétriasique à Mykonos (archipel des Cyclades, Grèce). *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 256, p. 5167-5169.
- PEARCE, J.A. and CANN, J.R. (1973): Tectonic setting of basic rocks determined using trace element analyses. *Earth planet. Sci. Lett.* 19, 290-300.
- PEARCE, J.A. (1975): Basalt Geochemistry used to investigate past tectonic environment on Cyprus. *Tectonophysics*, 25, 41-67.
- PECCERILLO, A., TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contr. Min. and Petr.* Heft 58, 63-81.
- PHILIPPSON, A. (1901): Beiträge zur Kenntnis der griechischen Inselwelt. *Peterm. Mitt. Ergänzungsheft*, 134, 1-172, Gotha.
- RENZ, C. und REICHEL, M. (1945): Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie des ostmediterranean Jung-Paläozoikums und dessen Einordnung im griechischen Gebirgssystem. *Eclog. Geol. Helv.* 38, No 2, 211-313, Basel.
- ROUBANIS, B.S. (1961): Geological research on the Parnes mountain range. *Annales Geol. Pays. Hellen.*, 12, p. 18-104.
- SEIDEL, E., OKRUSCH, M., KREUZER, H., RASCHKA, H. and HARRE, W. (1976): Eo-Alpine metamorphism in the Uppermost Unit of the Cretan Nappe System. *Petrology and Geochronology. Contr. Min. and Petr.*, 57, 259-275.

- TATARIS, A. (1964–1965): The Eocene in the semi-metamorphosed basement of Thera island. Bulletin Geol. Soc. Greece, Tom. VI, Nr. 1, p. 232–238.
- TRIKKALINOS, J. (1938): Beiträge zur Erforschung des tektonischen Baues Griechenlands. Über das Vorkommen von karbonischen Schichten und Tuffen im Gebiet von Panaktos-Oinoi (Mazi) – Ossios Meletios im Parnes-Kithärongebirge, die diskordant auf dem kristallinen Grundgebirge liegen. Praktika Akademie Athen, 33.
- TRIKKALINOS, J. (1942): Beiträge zur Erforschung des tektonischen Baues Griechenlands. II. Über den tektonischen Bau der Insel Naxos. Annales. Geol. Pays Hellén., I, Athen.
- TRIKKALINOS, J. (1950): Über das Alter der kristallinen Gesteine Griechenlands. Praktika Akademie, Athen, 25.
- VERGINIS, S. (1973): Beiträge zur Geomorphologie der Inseln Folegandros und Sikinos. Athen, S. 1–100.
- WINCHESTER, J. A. and FLOYD, P. A. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 20, 325–343.

Manuskript eingegangen am 22. Oktober 1981