

## 1. TEIL

VON

WOLFGANG WETZENSTEIN \*\*

Milos bildet zusammen mit Kimolos, Poliegos und Antimilos die südlichste Inselgruppe der westlichen Kykladen und gehört mit seinen im wesentlichen jungtertiären vulkanischen Bildungen dem griechischen Vulkanbogen an, den ehemaligen Südrand des Kykladenmassives darstellt.

Am Aufbau der Insel sind neben grösstenteils pliozänen Effusiva, Tuffen und Tuffiten nur untergeordnet und lokal ausgebildet kretazisch-eozäne Kalkmergelserien beteiligt. Epi- bis schwach mesozonale Metamorphite bilden den kristallinen Sockel der Insel. Die spärlichen Aufschlüsse der letzteren Serien sind aus den geologischen Karten von SONDER (1924/25) und WETZENSTEIN (1969) ersichtlich.

Milos beherbergt neben wohl grössten Perlitvorkommen Europas noch eine Vielzahl von Kaolin-, Alunit- und Bentonitlagerstätten, die sich derzeit im Abbau befinden. Ausser den zur Zeit wirtschaftlich interessanteren Steine- und Erde-Rohstoffen sollen im Rahmen dieser Arbeit die Mangan-, Blei-, Zink-, Kupfer- und Barytvererzungen berücksichtigt werden, da sie eine ungleich deutlichere Bindung an tektonische Strukturen aufweisen. Eine detaillierte Besprechung der sulfidischen Vererzung der Insel erfolgt im 2. Teil dieser Arbeit.

### 1. Tektonik des kristallinen Sockels.

Relikte des kristallinen Sockels der Insel treten ausschliesslich im Südteil von Milos auf. Sericitphyllite und Sericitschiefer mit Marmorlagen sind die häufigsten Vertreter. Die makroskopischen Gefügeuntersuchungen werden nicht nur durch die dürftigen und meist schwer zugänglichen Aufschlüsse erschwert, sondern auch durch postvulkanische Umwandlungen (im wesentlichen Kaolinisierung, Alunitisierung und Silifizierung) innerhalb dieser Serien oft unmöglich gemacht.

Generell zeigen die Metamorphite einen relativ weit gespannten

---

\* WOLFGANG WETZENSTEIN.— Τεκτονική και Μεταλλογένεσις τῆς νήσου Μήλου (Κυκλάδες). Μέρος I.

\*\* Anschrift des Verfassers: Dr. Wolfgang Wetzenstein, Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Stuttgart, D 7000 Stuttgart, Böblingerstr. 72.

und flachwelligen (im Meter bis 10-Meter Bereich) Faltenbau zweier sich kreuzender «Wellblechmuster», deren Achsen unter einem Winkel von ca. 80° stehen (vgl. Abb. 1, Diagramm DB).

Die 1250 gemessenen Faltenachsen sind in Diagramm DB (Abb. 1) zusammengefasst (Besetzungsdichte  $> 4\%$   $> 6\%$   $> 8\%$   $> 10\%$ ) und wurden den Einzelbereichsdiagrammen D3B (Paläorema, D4B (zwischen Paläorema und Kap Spati), und D5B (Kap Spati) und D6B (Lulo) entnommen.

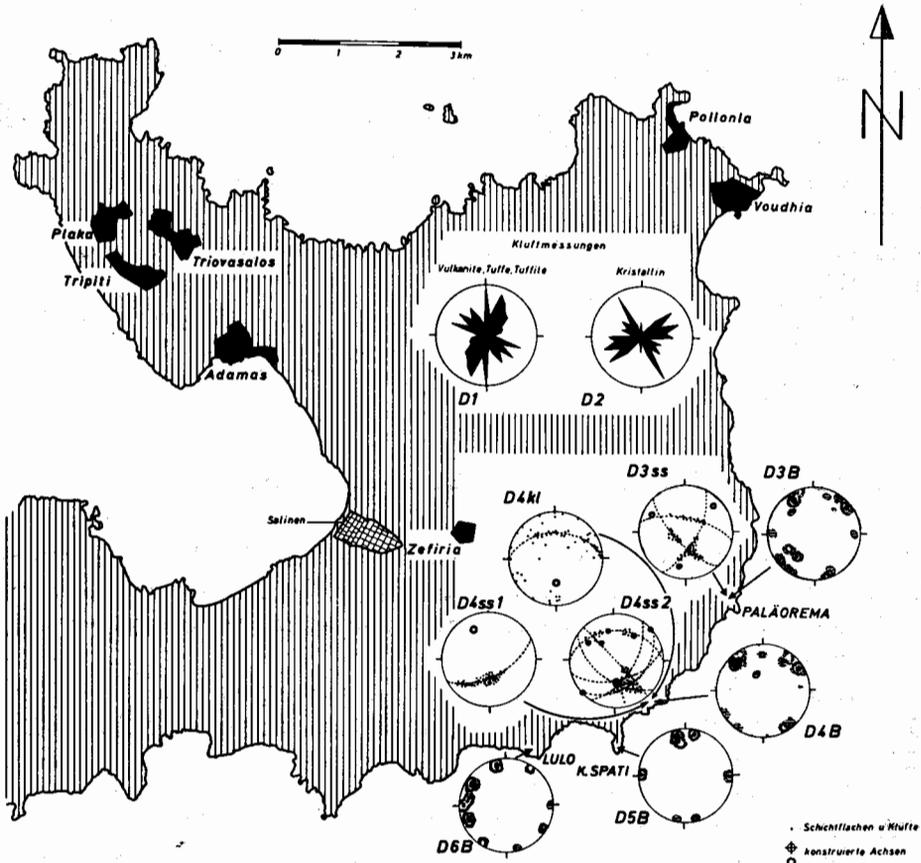
Aus ss-Flächenmessungen konnten folgende Faltenachsen konstruiert werden :

Diagramm	Gebiet	Achsen
D3ss	Paläorema	120°/20° NW 45°/20° NE 10°/25° S
D4ss <sub>1</sub> D4ss <sub>2</sub>	Zwischen Paläorema und Kap Spati	150°/30° NW 175°/55° S 160°/35° N 140°/50° NW 120°/30° NW 40°/ 0° 30°/35° NE
Dss	Zusammen- fassung der obgenannten Gebiete	150°/30° NW 150°/45° NW 80°/ 5° W 65°/25° NE 40°/30° NE 10°/20° S

Die gemessenen Faltenachsen decken sich weitgehend mit den konstruierten. Lediglich die mehr oder weniger Nord-Süd streichenden und flach bis mittelsteil nach S abtauchenden konstruierten Achsenlagen konnten vom Verfasser im Gelände nicht gemessen werden.

Bei den in sich schwachen verbogenen 130° bis 150° - Achsen handelt es sich wohl um Bildungen prämesozoisch angelegter Beanspruchungspläne zu denen auch die Anlage der 30° bis ca. 60° streichenden Achsen zu stellen ist. Die 130° bis 150° flach nach NW abtauchenden Achsen (vgl. Abb. 1, Diagramm DB) zeigen in den dazugehörigen Falten

Schichtflächen-, Kluff- und Faltenachsenmessungen im Kristallin der Insel Milos (Ostteil)



Zusammenfassende Darstellung der Messungen

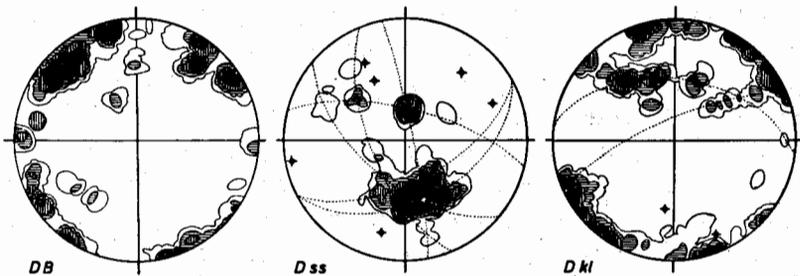


Abb. 1. Schichtflächen-, Kluff- und Faltenachsenmessungen im Kristallin der Insel Milos (Ostteil).

gegenüber den 30° bis max. 60° streichenden und im wesentlichen flach nach NE eintauchenden Achsen einen weitspannigeren Bau.

Dieser wahrscheinlich prämesozoischen, sicher präoberkretazisch-eozänen Einengungstektonik steht eine jüngere Beanspruchungsphase gegenüber, die zeitlich am ehesten in das Intervall zwischen Eozän und Pliozän einzuordnen ist und sich in mehr oder weniger horizontal liegenden 90° - Achsen manifestiert (vgl. Abb. 1, Diagramme D3B, D5B, D6B und DB). Postoberpliozäne Kippungen einzelner Kristallinschollen um «scharnierartige» E-W-Störungen äussern sich u. a. auch in den konstruierten  $\pm$ N-S-streichenden und flach bis mittelsteil nach S abtauchenden Achsen (vgl. Abb. 1, Diagramme D3ss, D4kl, D4ss2, Dss und Dkl).

Die Hauptmaxima der Kluftrichtungen in den kristallinen Serien der Insel Milos liegen bei 150°, 50°, 70° und 90° (vgl. Abb. 1 Diagramme D2 und Dkl).

## 2. Bruchtektonik im nichtkristallinen Oberbau

Die heutige Form der Insel wurde postdiluvial herausmodelliert. Diese rezent anhaltende Bruchphase zeigt sich in Grabenbrüchen längs 160° - bis 180° - Störungen sowie in syn- und antithetischen 70° - bis 90° - Verwürfen.

Das Aufreissen von Spalten und Brüchen ist auf postorogene Dehnungstektonik ab Pliozän zurückzuführen. Im wesentlichen kam es längs NE-SW-Störungen zu gangförmigen Eruptionen andesitischer Gesteine. Eine postoberpliozäne Hebungs- und Abtragungsphase zeigt sich in einer schollenartigen Zerstückelung der Insel, die sich vorwiegend an 130° bis 150° streichenden Grabenbrüchen abspielt. An jenen Störungen, deren Anlage bereits prämesozoisch ist, erfolgten die häufigsten und stärksten bruchhaften Bewegungen (vgl. Lage der Kluftrichtungsmaxima in Abb. 2, Diagramm D2 und D7).

Die jüngsten bruchtektonischen Ereignisse verlaufen längs 0° bis 20° sowie 60° bis 90° streichenden Störungen. Deutlich zeichnet sich dies auch in der Verteilung der Kluftrichtungsmaxima in den Diagrammen D1 und D7 in Abb. 2 ab. Geländetechnisch sind die beiden letztgenannten Störungsrichtungen schwerer erfassbar als beispielsweise die NE-SW und NW-SE-Richtungen, da sie sich in den allermeisten Fällen aus einer Vielzahl geringfügiger Versetzungsbeträge addieren.

Die derzeit auf Milos noch anhaltende Fumarolen- und Thermen-tätigkeit liegt zum einen auf im wesentlichen 130° bis 150° und zum anderen 60° bis 90° streichenden Störungszonen.

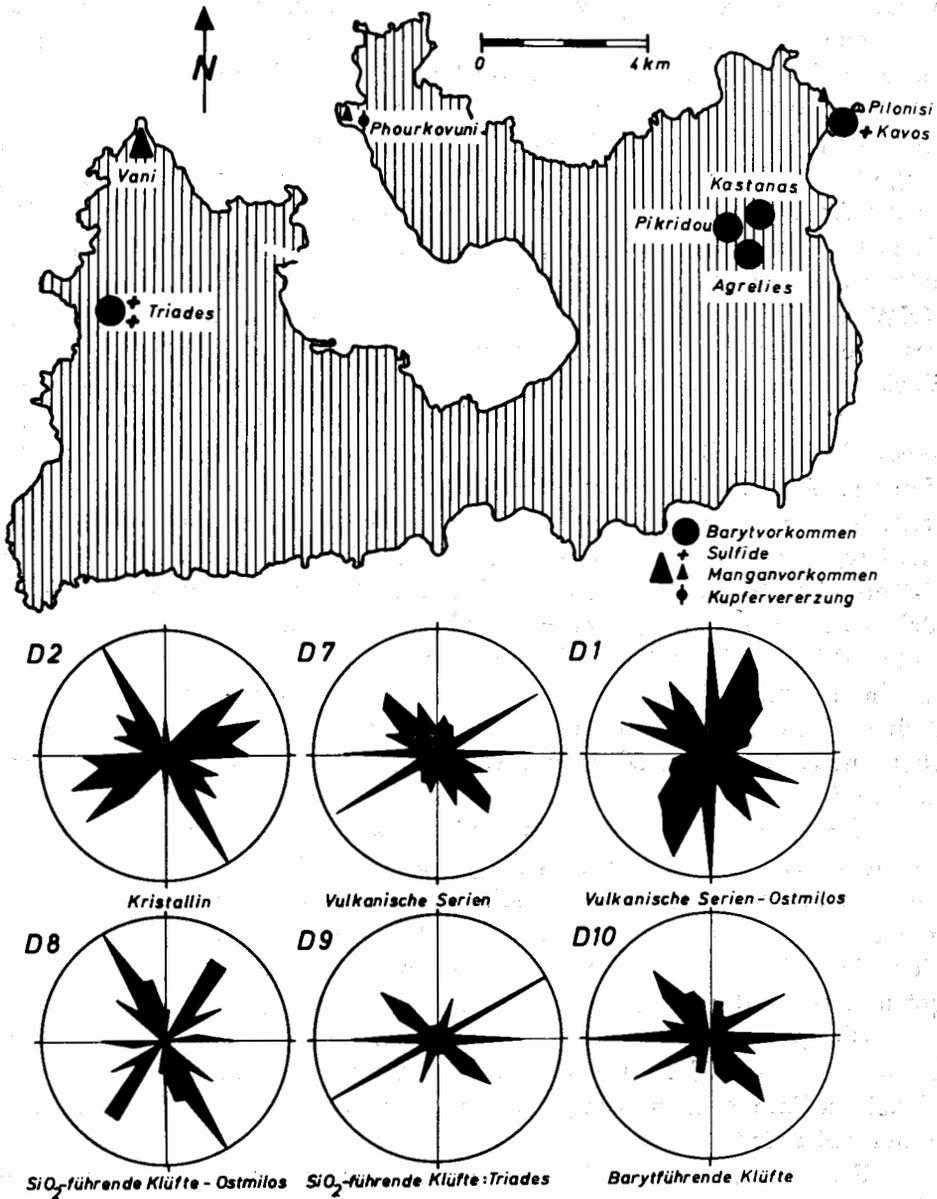


Abb. 2. Erzvorkommen und Klüftvichtungsmaxima.

### 3. Metallogenese.

Ihren Vorräten nach (ca. 5 Mio. t sichere bis wahrscheinliche Vorräte nach MACK 1967) verdienen die kieselsäurereichen Manganerze (röntgenographisch konnten im wesentlichen die Mineralphasen Kryptomelan und Pyrolusit festgestellt werden) von Kap Vani, an erster Stelle erwähnt zu werden (Lage s. Abb. 2). Der mikroskopische Befund der Erze deutet auf eine grösstenteils metasomatische Verdrängung der Plagioklase durch manganhaltige Lösungen in Tuffiten hin. Auffällig ist die Anreicherung der reichhaltigeren Manganerze in der NNW-SSE-Richtung in einer bereits präoberpliozän angelegten Syncline, die entsprechend dem älter vorgeprägten Beanspruchungsplan schwach nach NNW eintaucht. Längs einer Vielzahl von  $90^\circ$ -Störungen wird die gesamte Struktur nach N allmählich tiefer gesetzt. Auf die Genese des Vorkommens soll näher im 2. Teil dieser Arbeit eingegangen werden.

Stock- und lagerförmige Barytvorkommen befinden sich in tuffogenen Serien im Ostteil der Insel Milos während im Westteil bei Triades (Lage s. Abb. 2) der Baryt mehr in Ganglagerstätten in Erscheinung tritt. Ferner ist das gemeinsame Auftreten von Bleiglanz und Zinkblende mit Baryt bei Triades ein weiterer Unterschied zu den Vorkommen im Ostteil der Insel. Generell scheint jedoch die Barytvererzung über Triades nach Agrelies, Pikridou und Kastanas, auf einer grösser angelegten E-W streichenden Störungszone zu liegen. Detailuntersuchungen scheinen dem Recht zu geben. Von den 420 gemessenen barytführenden Klüften im Gebiet von Triades und Vani weist die Mehrzahl  $90^\circ$ -Streichen auf (vgl. Abb. 2, Diagramm D 10). Daneben heben sich noch die  $60^\circ$  und  $140^\circ$  bis  $160^\circ$  Richtungen als schwerspatvererzte Klüfte ab.

Zur gleichen Mineralisationsphase wie die Baryt-Bleiglanz-Zinkblendevererzung gehören noch  $\text{SiO}_2$ -führende Klüfte, die bei Triades gemeinsam und getrennt neben Schwerspat in den gleichen Kluftrichtungen auftreten (vgl. Abb. 2, Diagramm D9). Im Ostteil von Milos verteilt sich die  $\text{SiO}_2$ -Führung in Klüften schwerpunktmässig auf die  $30^\circ$  bis  $40^\circ$  und  $150^\circ$ -Richtungen (s. Abb. 2, Diagramm D8).

Die spurenhafte-imprägnative Bleiglanz-Fahlerzführung bei Phourkovuni (Lage s. Abb. 2) sei an dieser Stelle nur kurz erwähnt. Die einzelnen Paragenesen und Erzvorkommen werden im 2. Teil ausführlicher behandelt.

Fest steht, dass die Manganvererzung von Kap Vani älter ist als die Barytvererzung und in einer vorgegebenen NNW-SSE streichenden Syncline liegt, die ihrer Anlage nach wohl prämesozoisch ist und pliozän vererzt wurde. Eine jüngere, schwach sulfidisch-kieselige, stark bary-

tische Vererzungsphase ist von der Manganvererzung auch vorwiegend durch ihre E-W-Richtung zu unterscheiden.

### L I T E R A T U R

- MACK, E., 1947.— Die geologischen Aufgaben eines Bergmannes in Griechenland. *Berg.-u. Hüttenmänn. Mh.*, **112**, 50-54, Wien.
- SONDER, R. A., 1924/25.— Zur Geologie und Petrographie der Inselgruppe von Milos. *Z. f. Vulkanologie*, **8**, 4, 181-237, Berlin.
- WETZENSTEIN, W., 1969.— Die Bentonitlagerstätten im Ostteil der Insel Milos/Griechenland und ihre mineralogische Zusammensetzung. *Unveröff. Diss.*, 63 S., TU Stuttgart, Stuttgart.

Die Geländearbeiten wurden seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt. Ihr sei an dieser Stelle gedankt. Herrn cand. geol. D. Zachmann möchte ich an dieser Stelle für die Mithilfe bei den Feldarbeiten meinen. Dank aussprechen. Seine Mitreise war dank einer grosszügigen Reisebeihilfe seitens der Otto-Stüber-Stiftung möglich.

### Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Ι Σ

Σκοπός αὐτῆς τῆς ἐρεῦνης ἦτο ἡ μελέτη τῆς τεκτονικῆς καὶ τῆς μεταταλλογενέσεως τῆς ἠφαιστειογενοῦς νήσου Μήλου.

Ἡ κυρίως μεταδιλλουβιακὴ ἔξαρχος τῆς Μήλου δεικνύει εἰς τὸ μεταμορφωμένον τῆς ὑπόβαθρον μίαν ἐκτενῆ καὶ κυματοειδῆ πτύχωσιν, μὲ μεταβλητὸν ἄξονα  $30^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  ΒΑ  $130^{\circ}$  ἕως  $150^{\circ}$  ΒΔ.

Πρὸς αὐτὰς τὰς ἄξονικὰς διευθύνσεις αἱ ὁποῖαι βέβαια τοποθετοῦνται εἰς μίαν προμεσοζωϊκῆς πτυχωσιακὴν δομὴν ἀντιπαρατίθενται νεώτερες μὲ  $\mp 90 / \pm 0^{\circ}$  τῶν ὁποίων ἡ γένεσις τοποθετεῖται τὸ ἐνωρίτερον εἰς τὸ διάστημα μεταξὺ Ἡωκαίνου καὶ Πλειοκαίνου. Πιθανῶς συμπίπτει εἰς ἐκεῖνο τὸ διάστημα ἐπίσης ἡ λεπίωσις τῶν κρυσταλλικῶν σειρῶν.

Ἡ δομὴ τοῦ μὴ κρυσταλλικοῦ ἐπικειμένου τῆς νήσου ἐξάγεται ἀποκλειστικῶς ἀπὸ φαινόμενα τεκτονικῆς ρηγμάτων. Ὑπάρχουν ρήγματα τάφρων μὲ Γεν. Διεύθυνσιν ρηγμάτων  $150^{\circ}$  -  $180^{\circ}$  Β.Α. - Ν.Δ., κατὰ μῆκος τῶν ὁποίων διεισδύουν ἀνδρειατικὰ πετρώματα, καὶ ἓν πολυάριθμον σύστημα ρηγμάτων  $70^{\circ}$  -  $90^{\circ}$  μὲ συνθετικὴν καὶ ἀντιθετικὴν ρηγμάτωνσιν.

Κατὰ τὸ μῆκος  $130^{\circ}$  -  $150^{\circ}$  καὶ  $60^{\circ}$  -  $90^{\circ}$  εἰς τὴν ἀναπτυσσομένην τεκτονικὴν ζώνην διατηρεῖται μία πρόσφατος δρᾶσις ἀμιδῶν καὶ θερμῶν πηγῶν.

Τὸ ἐκ μετασσωμάτωσης κοίτασμα- Mn τοῦ Ἀκρωτηρίου Βάνι εἰς τὸ Δ. τμήμα τῆς νήσου, εἶναι πλούσιον εἰς  $\text{SiO}_2$  μὲ κύρια συστατικὰ τὸν Κρυπτομέλανα καὶ Πυρολουσίτην. Κεῖται εἰς μίαν ΒΒΔ - ΝΝΑ διεύθυνσιν εἰς τὸ σύγκλινον μεταλλογενέσεως τοῦ Ἄν. Πλειοκαίνου, ἡ ὁποία πρὸς ΒΒΔ κάτωθεν τοῦ ἐπιπέδου θαλάσσης βυθίζεται. Ἡ ἐμφάνισις κλιμακοῦται κατὰ μῆκος ρηγμάτων  $90^{\circ}$  πρὸς Β. καὶ βαθμηδὸν βαθύτερα.

Τὰ κοιτάσματα Βαρύτου ἐμφανίζονται εἰς τὸ Ἄν. τμήμα ὡς πατώματα καὶ θύλακες, εἰς δὲ τὸ Διτμήμα ὡς διευσθύνσεις καὶ ἀπὸ κοινοῦ μὲ Γαληνίτην καὶ ΖηS.

Ἐξ ὁλοκλήρου τὰ κοιτάσματα Βαρύτου τῆς Μήλου εἶναι τοποθετημένα ἐπὶ μιᾶς ζώνης ἀτωνρηγμ A - Δ διευθύνσεως. Εἰς τὴν ἰδίαν ὄρυκτολογικὴν φάσιν ἀνήκουν ἐπίσης αἱ διακλάσεις μὲ SiO<sub>2</sub>. Τέλος ἀναφέρεται ἐπίσης ἡ εἰς ἔχνη ὑπὸ μορφὴν ἐμποτισμάτων, μεταλλοφορία PbS, τετραεδρίτου τοῦ Φουκοβουνίου. Ἡ μεταλλογένεσις τοῦ Μπ τοῦ ἀκρωτηρίου Βάνι, εἶναι παλαιότερα ἀπὸ τὴν μεταλλοφορία Βαρύτου, πυριτικοῦ ὀξέος καὶ θειούχων ὄρυκτῶν.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die im wesentlichen postoberdiluvial herausmodellerte Form der Insel Milos zeigt in ihrem kristallinen Sockel einen weitgespannten und flachwelligen Faltenbau mit 30° bis 60° flach nach NE und 130° bis 150° flach gegen NW abtauchenden Achsen. Diesen Achsenrichtungen, die wohl einem prämesozoisch angelegten Faltenbau zuzuordnen sind, stehen jüngere mit  $\pm 90^\circ / \pm$  horizontal gegenüber, deren Entstehung am ehesten in das Intervall zwischen Eocän und Pliocän einzuordnen ist. Vermutlich fällt in diesen Zeitraum auch die Verschuppung der kristallinen Serien.

Der Bauplan des nichtkristallinen Oberbaues der Insel wird ausschliesslich von bruchtektonischen Erscheinungen geprägt. Es sind Grabenbrüche um 150° bis 180° streichende Störungen, NE - SW - streichende Verwerfungslinien, längs denen andesitische Gesteine aufdrängen, und eine Vielzahl 70° bis 90° syn- und antithetischer Verwürfe. Entlang 130° bis 150° und 60° bis 90° streichender Störungszonen hält eine Fumarolen- und Thermentätigkeit rezent an.

Die metasomatische Manganlagerstätte von Kap Vani im Westteil der Insel ist kieselsäurereich und führt im wesentlichen Kryptomelan und Pyrolusit. Sie liegt in einer NNW - SSE streichenden, im Oberpliocän vererzten Syncline, die nach NNW unter den Meeresspiegel abtaucht. Das Vorkommen staffelt sich längs 90° Störungen nach N zu allmählich tiefer. Barytvorkommen treten im Ostteil stock- und lagerförmig, im Westteil gangförmig und gemeinsam mit Bleiglanz- und Zinkblendeführung auf. Insgesamt sind die Barytlagerstätten von Milos auf einer E - W Störungszone angereichert. Zur gleichen Mineralisationsphase gehören auch SiO<sub>2</sub>-führende Klüfte.

Schliesslich ist noch die spurenhafte, imprägnative Bleiglanz - Fahlerz - Führung von Phourkovuni zu erwähnen.

Die Manganvererzung von Kap Vani ist älter als die barytisch-kieselig-sulfidische Vererzung.

## S U M M A R Y

Purpose of these investigations was to study tectonic and metallogenesis of the volcanic island of Milos. Mainly in the southern and the SE region of the island some smaller areals of the metamorphic basement could be recognized. These series of undetermined age are overlaid by cretaceous - eocene marls and limestones.

Two main axes of deformations could be constructed as well as observed in the metamorphic series:  $30^{\circ} - 60^{\circ} / 0^{\circ} - 30^{\circ}$  NE and  $130^{\circ} - 150^{\circ} / 0^{\circ} - 30^{\circ}$  NW. Probably they belong to a premesozoic plan of deformation. They cross younger axes of deformation of  $\pm 90^{\circ} / \pm 0^{\circ}$  (Eocene - Pliocene ?).

Grabenfaults of  $150^{\circ} - 180^{\circ}$ , NE-SW striking faults as well as  $60^{\circ} - 90^{\circ}$  syn- and antithetic ones are the main directions in the volcanic rocks of the island. Andesitic rocks follow NE-SW striking structures. Fumaroles and thermes are enriched on faults of  $130^{\circ} - 150^{\circ}$  and  $60^{\circ} - 90^{\circ}$ .

The manganese deposit of Kap Vani is extremely rich in  $\text{SiO}_2$ . Cryptomelane and pyrolusite are the main components. The mineralized area is a NNW - SSE striking syncline of pliocenic tuffits dipping under sea level to NNW. Baryte veins with quartz, galena and sphalerite are mainly situated in the western part of Milos. There is no doubt that the baritic mineralization is enriched in an E - W - fault zone.  $\text{SiO}_2$  bearing veins belong to the same phase of mineralization.

In the Phourkovuni region traces of Pb - Cu - impregnations (galena and tennantite are the primary minerals) could be observed.

The manganese ores from Kap Vani surely were formed earlier than the  $\text{BaSO}_4$  -  $\text{SiO}_2$  - sulfidic ores.