

DIE BENTONITLAGERSTÄTTEN IM OSTTEIL DER INSEL MILOS UND IHRE MINERALOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG

V O N
WOLFGANG WETZENSTEIN *

Im Ostteil der Insel Milos geht derzeit in einer Vielzahl von Lagerstätten ein reger Abbau auf Bentonit um (vgl. Abb. 1). In der vorliegenden Arbeit

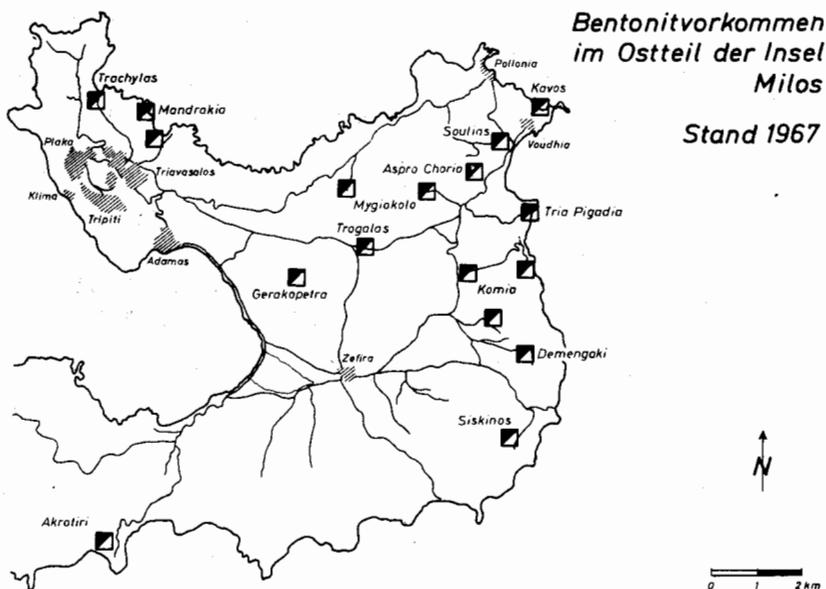


Abb. 1.

wurden die mineralogische Zusammensetzung sowie die physikalischen Eigenschaften dieser Bentonite untersucht. Bevor auf die Behandlung der Bentonite eingegangen wird, soll der geologische Rahmen der Lagerstätten in Stichworten besprochen werden.

Anschrift des Verfassers: Dr. WOLFGANG WETZENSTEIN, Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Stuttgart, Stuttgart, Böblinger Strasse 72

1. Der geologische Rahmen der Lagerstätten

Zusammen mit Kimolos, Poliegos, Antimilos und einigen kleinen Küsteninselchen bildet die 151 km² grosse Insel Milos die südlichste Inselgruppe der Kykladen.

Geotektonisch gesehen ist Milos ein Glied in der griechischen Eruptivzone, dem sogenannten Kykladenbogen, der sich vom Isthmus von Korinth über Ägina, Methana, Poros, Milos, Santorin, Nisyros, Kos nach Halikarnassos auf das Kleinasiatische Festland erstreckt. Pauschal ist der Vulkanismus des Kykladenbogens von pliocänem bis pleistocänem Alter. Lediglich auf Kos (DESIO 1931) und Patmos (CONCI 1928) setzte die vulkanische Tätigkeit bereits im Miocän ein.

Die tertiären Faltungsvorgänge (speziell die wallachische Phase, VOREADIS 1961) führten offensichtlich erst zu einer Aktivierung der Magmen, die dann während der bruchtektonischen Phase (ab U. Ob. Pliocän) aufdrangen.

Die Geologie der Insel Milos wurde in ihren Grundzügen von SONDER (1924/25) geklärt.

1. 1. Stratigraphie

Um Verwirrungen auszuschliessen, wurde die Nomenklatur der Effusiva aus der Arbeit von SONEDR (1924/25) entnommen, ebenso das Schema der Abfolge der einzelnen Eruptionsperioden. Die Ergebnisse sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Die Verhältnisse im Westteil der Insel seien ausser acht gelassen. Zumindest konnte an der Nordküste von Milos, zwischen Pollonia und Voudhia ein lokal begrenzter Manganerzausbiss ausfindig gemacht werden, bei dem an eine submarin-exhalative Mn-Zufuhr zu denken ist. In Tuffiten, ihrerseits eine kleine Aufwölbung bildend, um nach W unter den Meeresspiegel abzutauen, ist ein ca. 1m mächtiges schichtkonkordantes Manganerzlager eingeschaltet.

1. 2. Tektonik

Milos ist ein Schollenland mit noch nicht abgeschlossenem Bauplan. Einer rezent andauernden Einbruchs — und Senkungsperiode steht eine ältere Hebungsphase gegenüber. Bis zu einem gewissen Grad ist der Ablauf der bruchhaften Verformungen festzustellen und auf den tektonischen Kräfteplan zu schliessen. Rezent anhaltende Senkungen (bei Adamas

Stratigraphische Tabelle zum Ostteil von Milos.

Alter	Petrographie, Ausbildung, lokales Auftreten	Zugehörige Lagerstätten
Alluvium	<p>Förderung liparitischer Laven und Tuffe (Trachylas und Phyrplakagebiet).</p> <p>Fossilführende marine Ablagerungen sowie terrigene Sedimente. Marine Strandterrassen (5 bis 20 m mächtig) bei Pollonia. Sporadisch kleinere Einzelvorkommen lockerer bis poröser, weisser Süßwasserablagerungen (Heliciden).</p> <p>Marine Aufarbeitung pliocäner Tuffe und Effusina insbesondere längs der Nordküste.</p>	<p>Rezente Fumarolentätigkeit (Sulfatcharakter überwiegend; Alaunbildung).</p> <p>Perlitlagerstätten.</p>
Diluvium	<p>Überlagerung von Schotterterrassen (im Sinne SONDERS 1924/25). Mächtigkeit im m bis 5 m - Bereich schwankend (Zusammensetzung: Sämtliche auf Milos vorkommenden prädiluvialen Gesteine in Sand-, Kies- und Schotterfraktion. Zunahme der Führung kristalliner Komponenten von Norden nach Süden).</p>	<p>Schwefelimpregnationen (kleinere Vorkommen längs der E-Küste.)</p>
	<p>Verlandung und anschließende Erosion. Phase pneumatolytisch-hydrothermalen Stoffzufuhr und Umwandlungen sowie Neubildungen.</p> <p>Dazite und Andesitdazite der II. vulkanischen Phase (Andesitdecke des Korakia).</p> <p>Andesitische "Bianchi-Formationen" (Tuffe, Effusiva, Schichtungen) gingen der eigentlichen Lavaförderung voraus. Wegen gefügekundlicher Gemeinsamkeiten mit den Brockentuffen...</p>	<p>Barytmetasomatose (Kavos-Pilonisi, Agrelies, Pikridou, Kastanas), in geringer Masse mit einer Zufuhr vom Metallionen (Cu, Zn, Pb, Ag) verbunden).</p> <p>Submarine Mn-Zufuhr.</p> <p>Kaolin-, Alunit- und Silicalagerstättenbildung.</p>

<p>Oberstes Pliocän</p>	<p>fen und ihrer geringen horizontalen und vertikalen Verbreitung (ausschliesslich in der Gegend von Pollonia und Voudhia) wurden jene Serien kartierungstechnisch zu den Brockentuffen gestellt.</p> <p>Plagioliparite und saure Dazite der I. vulkanischen Phase.</p> <p>Förderung des quantitativ überwiegenden Teiles vulkanischer Locker- und Festprodukte. Mächtigkeit dieser Serien bis max. 250 m (im Ostteil der Insel). Hauptvertreter: Brockentuffe und Weisse Tuffe.</p> <p>Den wohl überwiegend submarin abgelagerten Tuffen sind während Ruheperioden vulkanischer Aktivität zuweilen kalkige und mergelige Serien (0,5 bis 5 m mächtig) eingeschaltet (Aspro Chorio, Lankada). Küstennahe Fazies, dickschalige Mollusken, Durchläuferformen von Ostracoden. Stratigraphische Einordnung schwer möglich.</p> <p>Der Plagioliparit-Extrusion ging die mengenmässig überwiegende Förderung der Tuffite voraus. Tendenz: Mit abnehmenden Förderungsalter Zunahme plagioklasreicherer Varietäten.</p>	<p>Submarine Bentonitisierung.</p>
<p>Eocän bis Oberkreide</p>	<p>Braungraue bis graue Kalkmergelserien (sporadisch in Form einzelner Klippen, max. im 10 m - Bereich (östl. Rand der Paläochora - Grabenregion, Voudhia - Bucht). Gipsführung längs Klüften infolge postvulkanischer Vorgänge.</p>	
	<p>Brecciendecken und/oder marine Aufarbeitungshorizonte zu- meist im Hangenden der Metamorphite (E-Küste).</p>	
<p>Kristalliner Sockel</p>	<p>Sericitphyllite und Muskovitgneise in stark gestörten Verband (SE-Küste von Milos: Paläorheuma, Kap Spathi).</p>	

wurden in 100m Entfernung vom Land Mauerwerke in 4,5m Tiefe gefunden) und zeitweise auflebende Erdbebentätigkeit (EHRENBURG 1889 und SONDER 1924/25) verbunden mit ausklingender Fumarolentätigkeit, sprechen für das jugendliche Alter der Bruchtektonik.

Sichere Anzeichen einer postkristallinen Falten tektonik fehlen auf Milos.

Kartierungstechnisch waren die im Gelände auftretenden Störungen meist schwer zu erfassen. Die Verwurfsbeträge — fast immer addieren sie sich aus einer Vielzahl parallelschariger Einzelstörungen — erhält man am besten durch den Vergleich der Höhenlage benachbarter Tafeln.

Paläogeographische Rekonstruktionen werden im Ostteil der Insel noch dadurch erschwert, dass in vielen Fällen zwischen dem Brockentuff und den Weissen Tuffen Winkeldiskordanzen auftreten. Offensichtlich sind letztere zum einen auf Kippvorgänge einzelner Teilschollen nach der Ablagerung der Brockentuffe und zum anderen auf unterschiedliche Eruptionszentern der verschiedenen Tufftypen zurückzuführen. Beide Mechanismen überlagern sich weitgehend und erschweren somit die Analyse. Fest steht, dass zwischen der Ablagerung der Brockentuffe und der Weissen Tuffe ein Intervall mechanischer Aufarbeitung lag, wie ein Geröllhorizont an der Grenzzone der beiden Tufftypen bei der Lagerstätte Aspro Chorio zeigt.

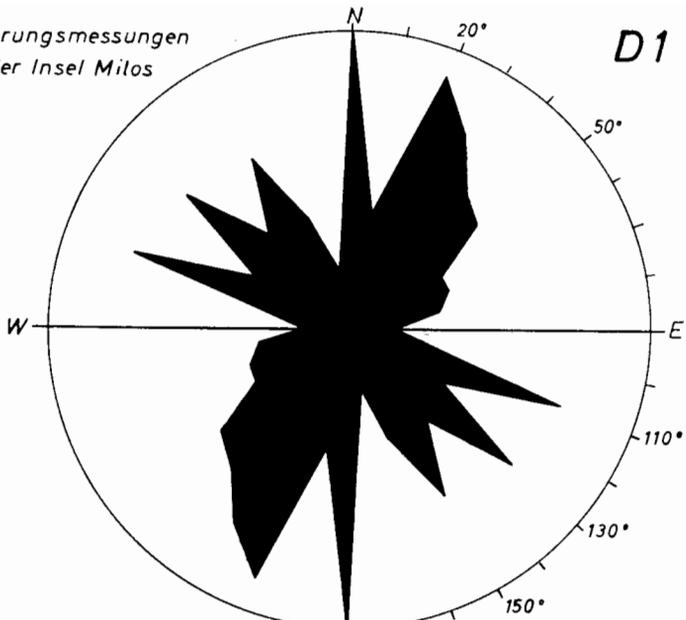
Die Kluftdiagramme D1 bis D4 (Abb. 2 und Abb. 3) mögen zur Darstellung des tektonischen Bauplanes der Osthälfte von Milos dienen. In Diagramm 1 sind die Streichwerte von 230 Messungen zusammengefasst. Diagramm 2 enthält zusetzlich noch die entsprechenden Fallwerte. Am deutlichsten sind die \pm saigeren N-S-Klüfte ausgeprägt. Ein zweites, etwas schwächer und verschwommener ausgebildetes Maximum liegt bei 20° , im wesentlichen mit steil einfallenden Trennflächen. Die beiden Richtungen sind das Kennzeichen rezenter Tektonik. Wie sich aus der statistischen Verteilung der silifizierten Klüfte (s. Abb. 3) ergab, sind diese nicht an die jüngsten Bruchlinien gebunden.

Schwieriger ist die Interpretation des zwischen 20° und 50° sowie des stärker aufgespaltenen Maximums im Bereich von 110° bis 150° . Es verbergen sich darin Scherkluftsysteme sicher präpliocän angelegter Beanspruchungspläne.

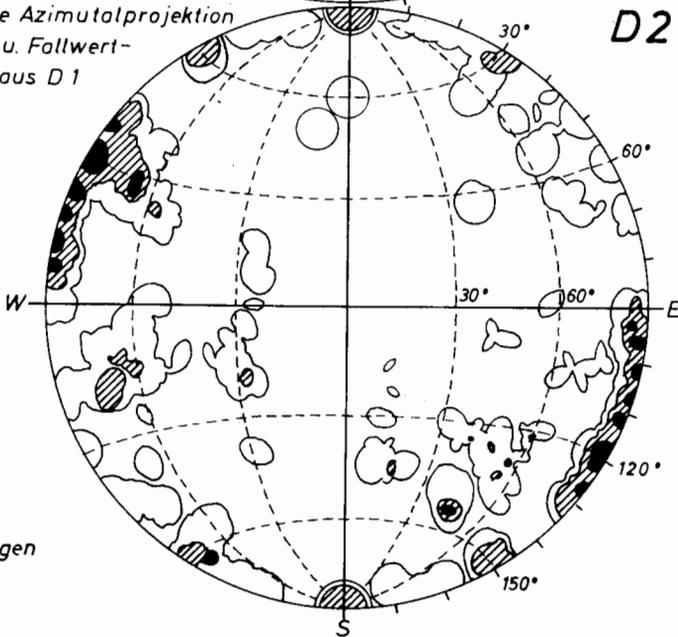
Ein Blick auf Diagramm 3 veranschaulicht, dass ein Grossteil der silifizierten Zubringer — bzw. Abfuhrklüfte in den Bentonitlagerstätten mit den 30° — bis 40° — Maxima zusammenfällt.

Kleine Auf — und Überschiebungen verbergen sich im Bereich der 50° -Streichrichtungen. Ebenso treten die Andesite auf Milos als NE-SW streichende Gangeruptionen auf.

Kluft- u. Störungsmessungen
im Ostteil der Insel Milos



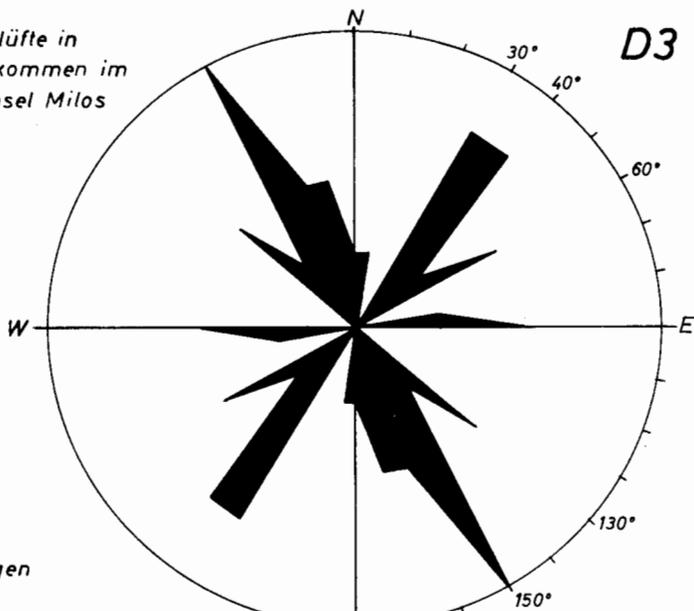
Flächentreue Azimutalprojektion
der Streich- u. Fallwert-
messungen aus D 1



>2-4 >4-6 >6
230 Messungen

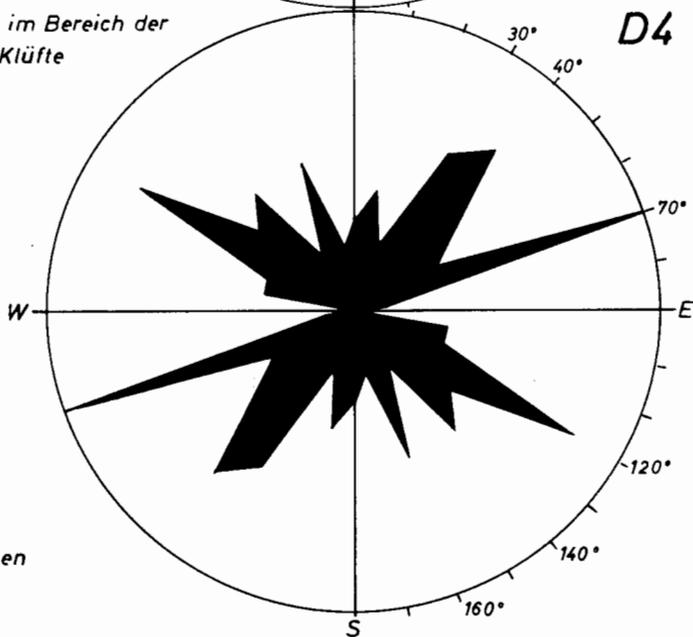
Abb. 2.

*Silifizierte Klüfte in
Bentonitvorkommen im
Ostteil der Insel Milos*



105 Messungen

*Taube Klüfte im Bereich der
silifizierten Klüfte*



135 Messungen

Abb. 3.

In einem Grossteil der Bentonitlagerstätten des nördlichen Arbeitsgebietes fanden nach Art additiver, mikrotektonischer Einzelvorgänge syn — und antithetische 70° — «Verwürfe» in dm-Grössenordnung statt. Wie Diagramm 4 zeigt, sind dies die mengenmässig überwiegenden Klüfte in den Lagerstätten. Grösstenteils fallen sie mittelsteil bis steil nach NW ein. Setzt man die ehemalige Hangendgrenze des Bentonites als niveaunkonstant an, so verursachen jene additativen Versetzungen das allmähliche Absinken der Bentonitobergrenze nach N zu. Längs der 70° — Klüfte fand nur ein untergeordneter Lösungs-transport und Absatz statt.

Ein Blick noch auf den Bereich zwischen 110° und 150° . Er manifestiert sich im Gelände durch eine Serie im wesentlichen saiger stehender Querklüfte, morphologisch noch besser aus dem Verlauf der zuweilen sehr steilen Taleinschnitte erkennbar. Sicherlich verbirgt sich in den grösstenteils nach SE fallenden 150° — Klüften — im Ostteil des kartierten Gebietes in Form staffelbruchartiger Verwürfe ausgebildet mit nach E gerichteten Verwurfssinn — und im Bereich von 120° , mit ebenso schwankenden Fallwerten ein weiteres Scherkluffpaar, das nach Ansicht des Verfassers der ältesten Beanspruchungsphase zuzuschreiben wäre.

2. Untersuchungsmethoden

2. 1. Röntgenographische Untersuchungen

Im Rahmen der mineralogischen Untersuchungen wurde ein Schwerpunkt auf die quantitative Bestimmung des Tonmineralbestandes gelegt.

Basierend auf der Grundformel von v. ENGELHARDT (v. ENGELHARDT 1955) wurde nach einem von KELLER (1967) beschriebenen Verfahren der Tonmineral — Quarz — und Alunitanteil quantitativ röntgenographisch bestimmt (nähere Angaben s. WETZENSTEIN 1971). Die Untersuchungen wurden mit einem registrierenden Zählrohrgoniometer (Kristalloflex IV der Fa. Siemens) unter Verwendung einer Kobaltröhre durchgeführt. Die durch Textureinflüsse hervorgerufenen Fehler ermittelte der Verfasser experimentell, indem Standardgemische mit Glaspulver hergestellt wurden. Bei Montmorillonit konnten die Interferenzen bei $4,49\text{\AA}$ bzw. $4,45\text{\AA}$ (11,02) und $1,49\text{\AA}$ (33,06) herangezogen werden. Meist muss jedoch auf den Reflex bei $1,49\text{\AA}$ wegen Koinzidenzbedingungen verzichtet werden. Zur Kaolinbestimmung wurden die $(\bar{1}\bar{3}1, 11\bar{3})$ — Reflexe ($d = 2,34\text{\AA}$) und die $(\bar{1}\bar{3}\bar{1}, 200, 112)$ — Reflexe ($d = 2,50\text{\AA}$) herangezogen. Die gering - texturanfälligen Minerale wie Quarz und Alunit eignen sich ideal zur quantitativen röntgenographischen Phasenanalyse. So können mit dem angewandten Verfahren 0,2% Quarz und 0,5% Alunit mit Sicherheit nachgewiesen werden.

In Abb. 4 und Abb. 5 sind die Röntgendiagramme der Eichminerale angeführt.

2. 2. Bestimmung der Viskosität

Montmorillonit bildet mit polaren Dispersionsmitteln — in den allermeisten Fällen Wasser — Suspensionen von auffallenden rheologischen Eigenschaften.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein FANN-Viskosimeter (Typ 35 S) verwandt, um bei veränderlicher Scherspannung die realen rheologischen Eigenschaften zu erfassen. Im Rahmen der ausgeführten Untersuchungen erfolgte die Angabe der Quasiviskosität bei 600 Umdrehungen / Minute. Neben der Viskosität wurde noch die Bingham' sche Fließgrenze T_B aus dem Schubspannungs — Schergefälle — Rheogramm bestimmt. Verwendung fanden Suspensionen von 12% Bentonit. Als Dispersionsmittel diente Wasser bei 22° C.

2. 3. Vereinfachte Bestimmung von Sedimentvolumen und Quellung

Das Mass des Sedimentvolumens ist neben Anzahl, Grösse und Form der Einzelkörner vom Dispersionsmittel und möglichen Wechselwirkungen zwischen Bentonit und Dispersionsmittel abhängig.

Als Mass für Sedimentvolumen, Thixotropie und Quellung kann eine aufgeschüttelte Suspension (3g Bentonit, gemahlen) von 40 cm³ Dispersionsflüssigkeit mit Bentonit dienen, die in einem definierten Glasröhrchen während 24 Stunden zur Sedimentation kam. Als Dispersionsmittel diente zum einen Wasser und zum anderen m/10 Na₂CO₃ - Lösung.

Im Sinne von HOFMANN und Gen. (1957) kann man das Sediment als ein verdünntes thixotropes Gel mit sehr langer Erstarrungszeit betrachten. Das Volumen des Sedimentes liefert ein Mass dafür, wie weiträumig ein Gerüst (nach dem Hofmann' schen «Kartenhaus» - Modell) gebaut werden kann, das gegenüber der in der Flüssigkeit wirksamen Schwerkraft lange Zeit stabil ist.

Als Zahlenwert wurde hierfür die nach 24 Stunden gemessene Mächtigkeit (cm) des Sedimentes genommen (wobei SV_w Sedimentvolumen in Wasser' SV_s Sedimentvolumen in m/10 Na₂CO₃ — Lösung bedeutet).

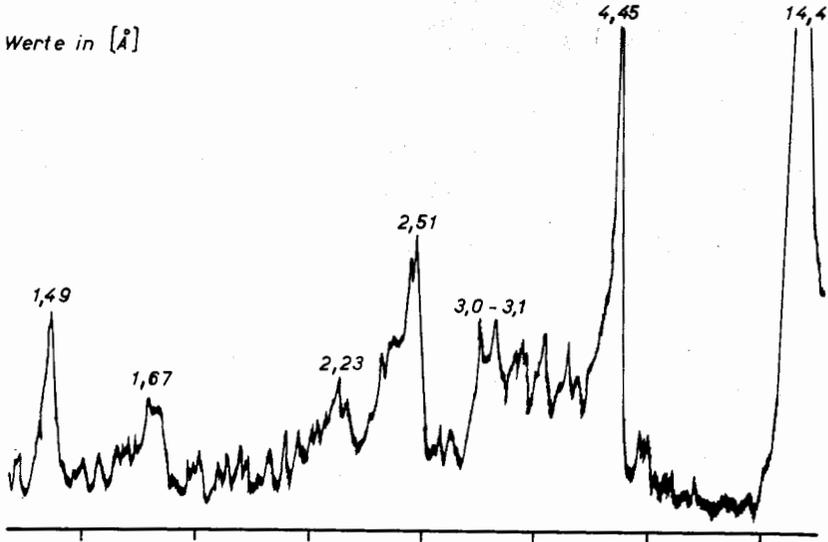
2. 4. Bestimmung der Korngrößenverteilung

Zur weiteren Charakterisierung der Bentonitproben wurden fünf Korngrößenklassen quantitativ bestimmt.

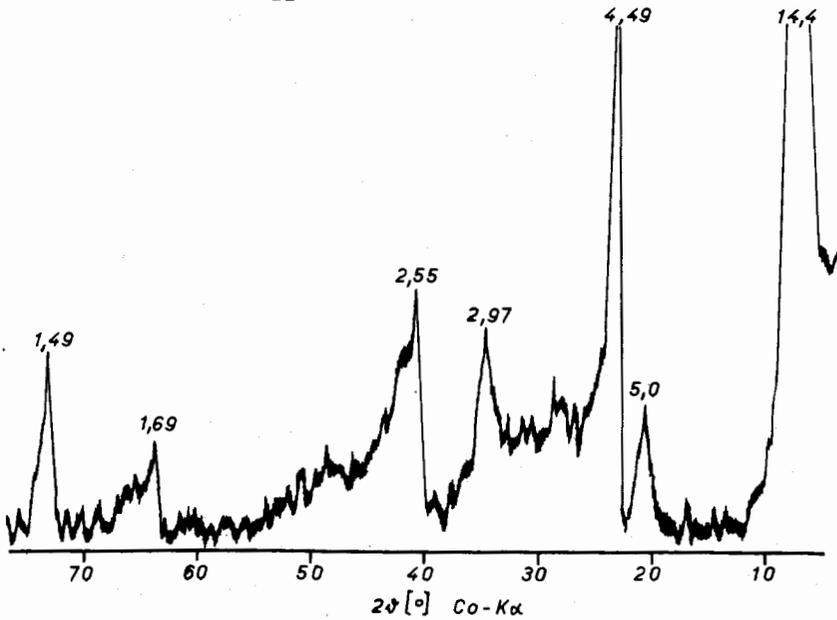
Bis zu 0,042mm erfolgte die Abtrennung einer Fraktion siebanalytisch und die des Restbestandes mittels Schlämmanalyse nach dem Atterberg

Montmorillonit I

Werte in [Å]



Montmorillonit II

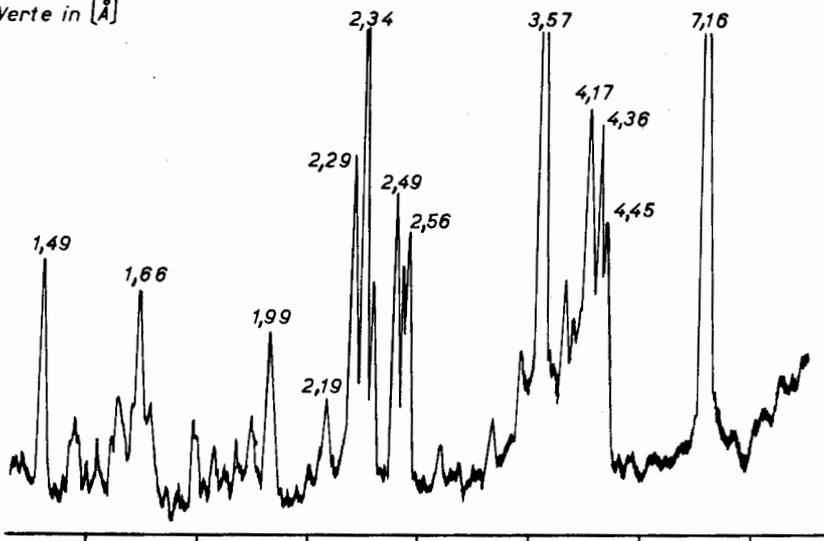


2θ [°] Co-K α

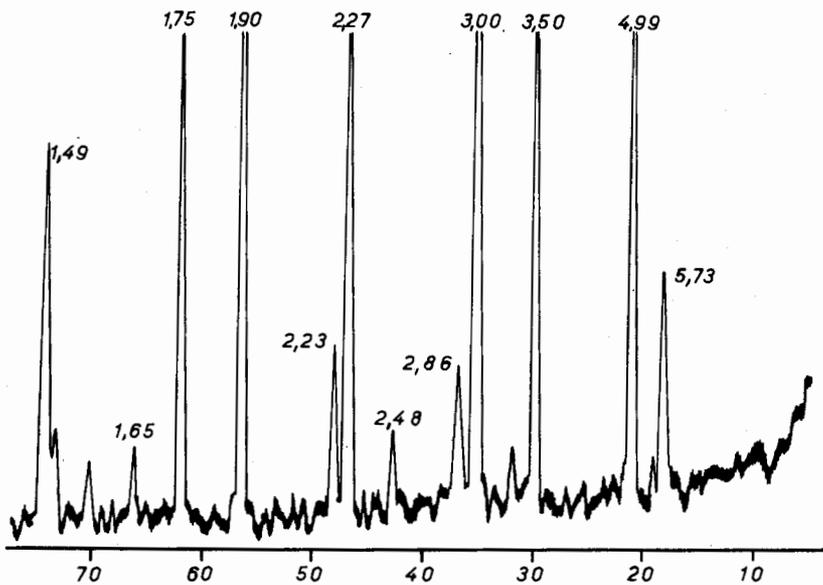
Abb. 4.

Kaolinit

Werte in [Å]



Alunit



2θ [°] Co-K α

Abb. 5.

— Verfahren. Mit letzterem wurden die Fraktionen 0,042 mm bis 20 μ , 20 bis 6,3 μ , 6,3 bis 2 μ und die Fraktion $< 2 \mu$ abgetrennt. Die Probemenge betrug jeweils 50g (mehrere Tage im Trockenschrank bei 45°C getrocknet).

Die üblichen Dispersionsmethoden (vgl. MÜLLER 1964) versagten zuweilen, so dass fallweise mit 10%-iger H_2O_2 -Lösung, 25%-iger H_2O_2 -Lösung + 0,5 bis 0,1% — iger ammoniakalischer Lösung und zum Teil nur mit H_2O_2 gearbeitet werden musste.

3. Die Bentonitlagerstätten im Ostteil der Insel Milos

Im wesentlichen sind es Tuffite, die als Ausgangsmaterial für Bentonit in Frage kommen. Nur lokal untergeordnet sind es kleinere Effusivkörper, die einer «Bentonitisierung» unterlagen.

Bei den Tuffiten liess sich kartierungstechnisch eine als Brockentuff bezeichnete Serie von strukturell und petrographisch weit inhomogeneren Weissen Tuffen (vgl. SHARMA 1969) unterscheiden.

Ausser in den Bentonitlagerstätten Kavos und z. T. Trogalas (vgl. Abb. 1) kommt für sämtliche anderen Lagerstätten der Brockentuff als Ausgangsmaterial in Frage.

3. 1. Untersuchungen an Einzellagerstätten

Aus der Vielzahl von untersuchten Vorkommen seien an dieser Stelle repräsentative Vertreter ausgewählt. Zum Verständnis sind die chemischen Analysen der Bentonite aus den verschiedenen Lagerstätten an erster Stelle angegeben (s. Abb. 6). In der Regel ist es das Verhältnis der Alkalien zu den Erdalkalien, das weitgehend die Eigenschaften des Bentonites bestimmt. In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst :

	Soulias	Trogalas	Kavos
CaO : Na ₂ O	2,0	1,3	0,8
CaO : K ₂ O	2,4 — 4,5	0,2	0,2
d ₍₀₀₁₎ Montmorillonit (Å) .	14,2 ± 0,8	12,1 ± 0,5	10,5 ± 0,3
η (cP)	2,9 — 3,3	4,5 — 8,3	5,0 — 12,9
SV _w (cm)	0,7 — 1,8	1,5 — 3,6	5,3 — 5,8
SV _s (cm)	2,7 — 4,0	2,9 — 4,8	um 7,0
Montmorillonitgehalt (°/o) .	40 — 90	40 — 85	n. bestimmt
Kaolinitgehalt (°/o)	—	10 — 40	—
Quarzgehalt (°/o)	0 — 4	1 — 6	1 — 10

Chemische Analysen von Bentoniten aus verschiedenen Lagerstätten (+)

	Soulias		Aspro Chorio	Mygio- kolo	Trogalas		Kas- tanas	Kavos		Mandrakia	
SiO ₂	71,02	61,29	58,01	62,59	68,74	67,25	73,45	62,54	72,89	73,45	73,65
Al ₂ O ₃	15,62	19,09	20,77	20,37	16,81	18,14	14,75	21,81	14,11	13,50	12,57
TiO ₂	0,29	0,80	0,90	0,74	0,35	0,34	0,16	0,23	0,18	0,18	0,17
Fe ₂ O ₃	2,48	4,59	5,24	3,89	2,41	2,77	1,48	1,52	1,19	1,26	1,69
CaO	1,42	2,36	2,45	1,24	1,24	0,58	0,48	0,74	0,66	2,74	1,36
MgO	3,08	3,24	3,50	2,84	2,97	2,60	1,87	2,42	1,87	1,62	1,76
Na ₂ O	0,81	1,07	1,15	0,50	0,69	0,75	0,26	0,87	0,86	1,22	2,28
K ₂ O	0,42	1,63	0,54	0,22	0,81	0,77	0,58	4,09	3,94	0,38	0,86
MnO	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,005	0,02	0,01	0,03	0,03
Glühverlust	4,58	5,62	7,34	7,15	5,89	6,32	6,85	5,29	4,08	5,07	5,54
Insgesamt	99,75	99,69	99,92	99,56	99,92	99,53	99,155	99,53	99,79	99,45	99,91
SO ₃	0,33	0,14	0,26	0,08	0,27	0,60	1,70	0,47	0,39	0,33	0,42

(+) Die Analysen wurden im Zentrallabor der Baryte & Silver Ores Co. in Athen durchgeführt

Ferner sind in Abb. 7 die DTA-Kurven von Bentonitproben (jeweils die Fraktion $< 2\mu$) und des Eichkaolinites aufgetragen.

3.1.1. Die Bentonitvorkommen der Reviere Soulias und Aspro Chorio

Der Brockentuff — Typ Soulias — Aspro Chorio stellt extensiv und intensiv den überwiegenden Bentonitanteil in der Osthälfte der Insel Milos.

DTA-Aufnahmen von Kaolinit und Bentonit

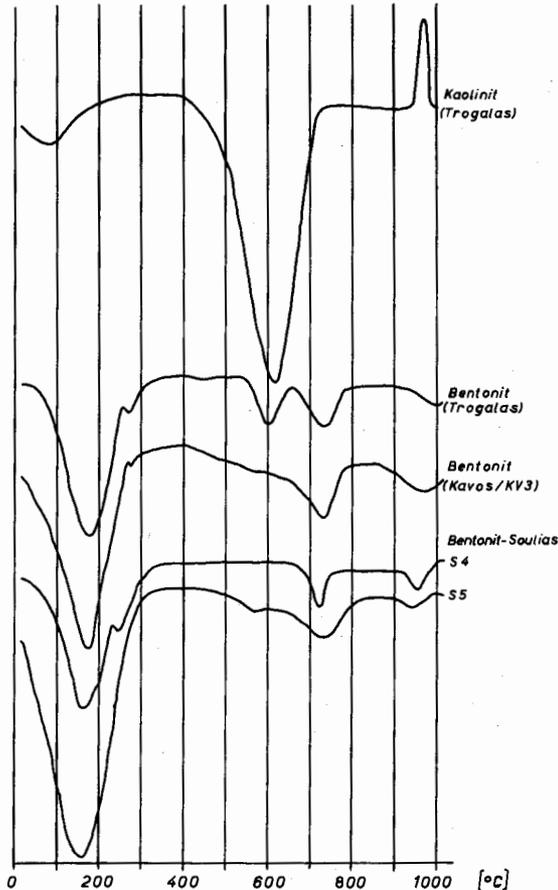
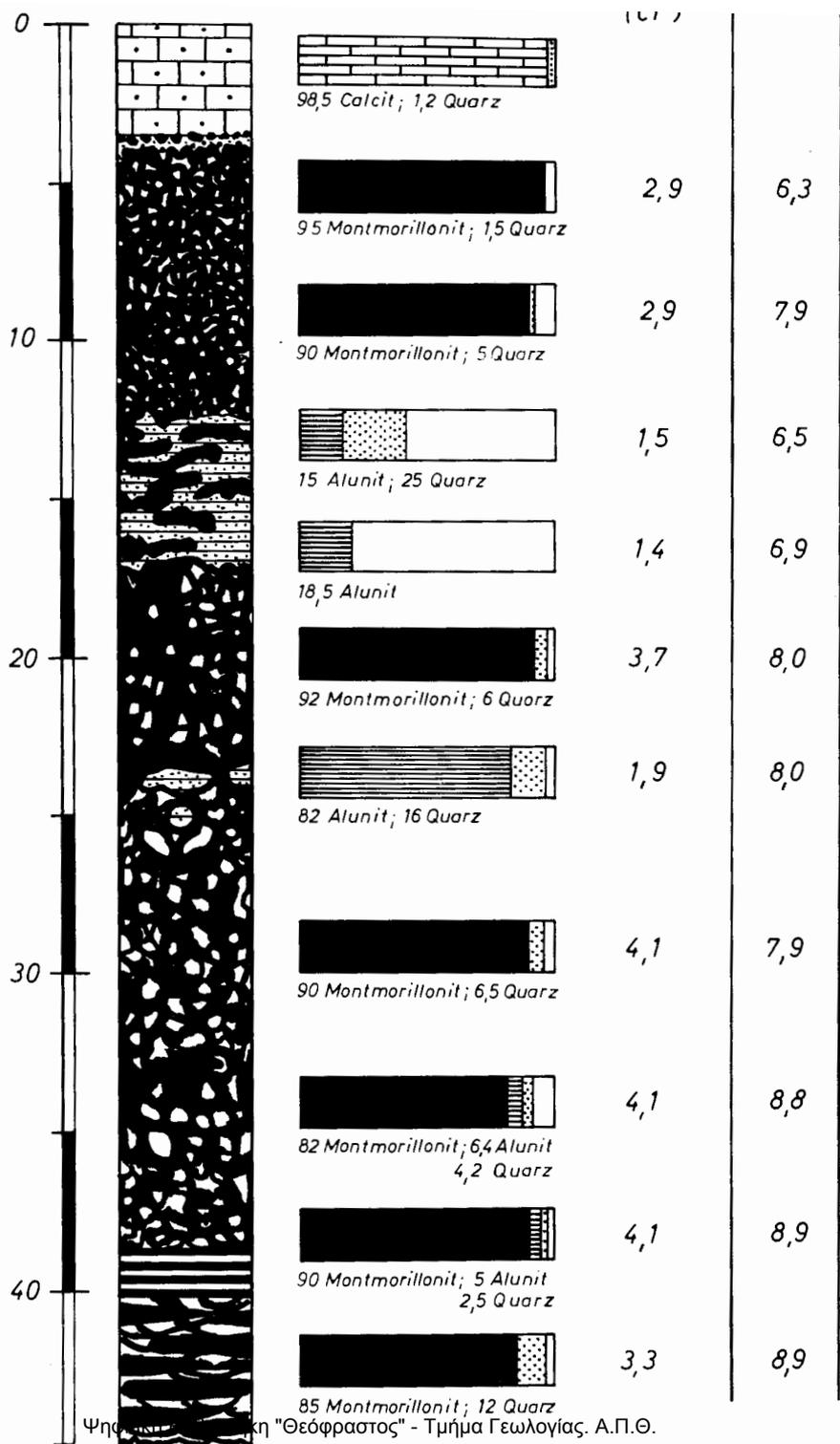


Abb. 7.

Montmorillonit, Plagioklase (intermediär bis basisch), Quarz und nur geringe Glasgehalte sind die wesentlichen Gemengteile. Zu diesem Typ gehören



Ψηφιδωτή στρώση "Θεσσαλονίκης" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

Abb. 8.

die Lagerstätten Soulias, Aspro Chorio, Mygiokolo, Komia, Demengaki N und S sowie im Süden das Revier Siskinos.

Bei Soulias und Aspro Chorio sind es grösstenteils Andesite und nur untergeordnet Weisse Tuffe in deren Liegenden sich bis zu 100m mächtige bentonitisierte Brockentuffe ausdehnen. Nach Norden tauchen die Bentonite unter den Meeresspiegel ab, z.T. längs 70° — Störungen verworfen. Das Liegende des Bentonites ist in Form von marin aufgearbeiteten Kristallinserien an der Ostküste der Insel aufgeschlossen.

Die Untersuchungsergebnisse aus der Lagerstätte Soulias sind in Form eines Vertikalprofils in Abb. 8 dargestellt. Die ungesetzmässige Korngrößenverteilung ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei dieser Lagerstätte neben umgewandelter Glasmatrix grösstenteils um unzersetztere Plagioklase handelt, die teilmontmorillonitisiert mit ihrer primären Kornform vorliegen. Neben Plagioklasen treten noch Quarz und Sanidin auf. Cristobalit ist selten. Ebenso konnten Alunit und Kaolinit in der Lagerstätte nirgendwo in nennenswerten Mengen nachgewiesen werden.

Nach Süden setzt sich das Bentonitlager von Soulias wohl unter seiner andesitischen Überlagerung zu Aspro Chorio fort. Andesitgerölle und überlagernde marine Sedimente (vgl. Abb. 8), an der Basis mit aufgearbeitetem Bentonit, weisen auf eine prämarine Bentonitbildung hin. Die Untersuchungsergebnisse, gewonnen an hand eines Bohrprofils, sind in Abb. 9 dargestellt. Auf die Abnahme des pH-Wertes vom Liegenden zum Hangenden sei nachdrücklich hingewiesen.

3.1.2. Die Bentonitvorkommen des Revieres Trogalas

Im wesentlichen sind es plagioliparitische Effusiva die von Brockentuff überlagert werden und gemeinsam der Bentonitierung unterlagen. Im überwiegendem Masse war es die Glasmatrix, die in Montmorillonit übergeführt wurde. Quarz und saure bis intermediäre Plagioklase sind in der Matrix eingeschlossen. Cristobalit und Kaolinit treten in nennenswerten Mengen als jüngere Bildungen auf.

Das Lager erreicht in diesem Bereich durchschnittliche Mächtigkeiten von 50m. Ein Teilausschnitt ist in Abb. 10 dargestellt. Untersucht wurden ausschliesslich Bentonite plagioliparitischen Ausgangsmaterials.

Vom Liegenden zum Hangenden ist eine Abnahme des Montmorillonitgehaltes zu beobachten, dessen Bildung im wesentlichen auf Kosten der Glasmatrix geht. Mit abnehmenden Montmorillonitgehalt geht eine Zunahme des Kaolinites und Cristobalites Hand in Hand.

Montmorillonit- und Quarzgehalte, Kornverteilung, Viskosität, pH-Wert und Sedimentvolumina von Bentoniten aus der Lagerstätte Soulias

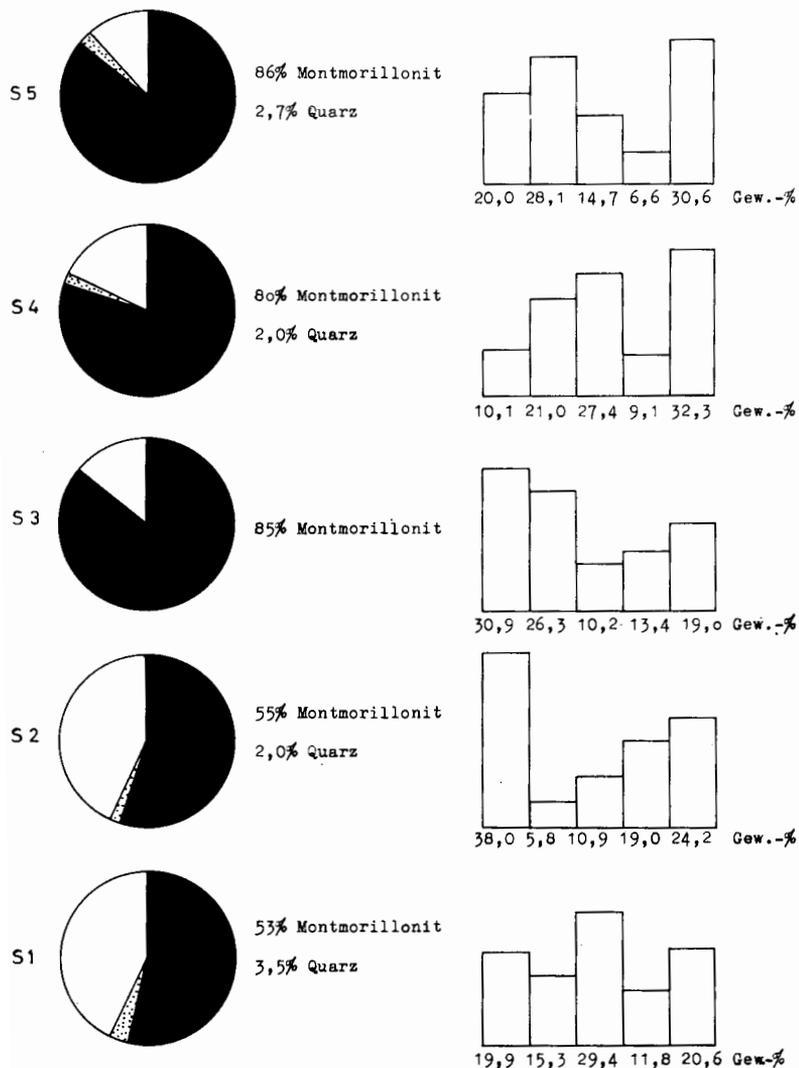


Abb. 9.

Viskosität η [cP]	Bingham'sche Fließgrenze τ_b [dyn·cm ²]	pH-Wert	Sedimentvolumina	
			SV _w	SV _s [cm]
3,3	0,1	8,6	1,8	4,0
3,5	0,1	7,1	1,5	3,7
3,3	5,0	5,4	1,6	3,9 T
2,9	0,1	7,5	0,9	3,1
2,9	0,7	7,6	0,7	2,7

Montmorillonit-,Kaolinit- und Quarzgehalte,Kornverteilung,Viskosität,pH-Wert
und Sedimentvolumina von Bentoniten aus der Lagerstätte Trogalas

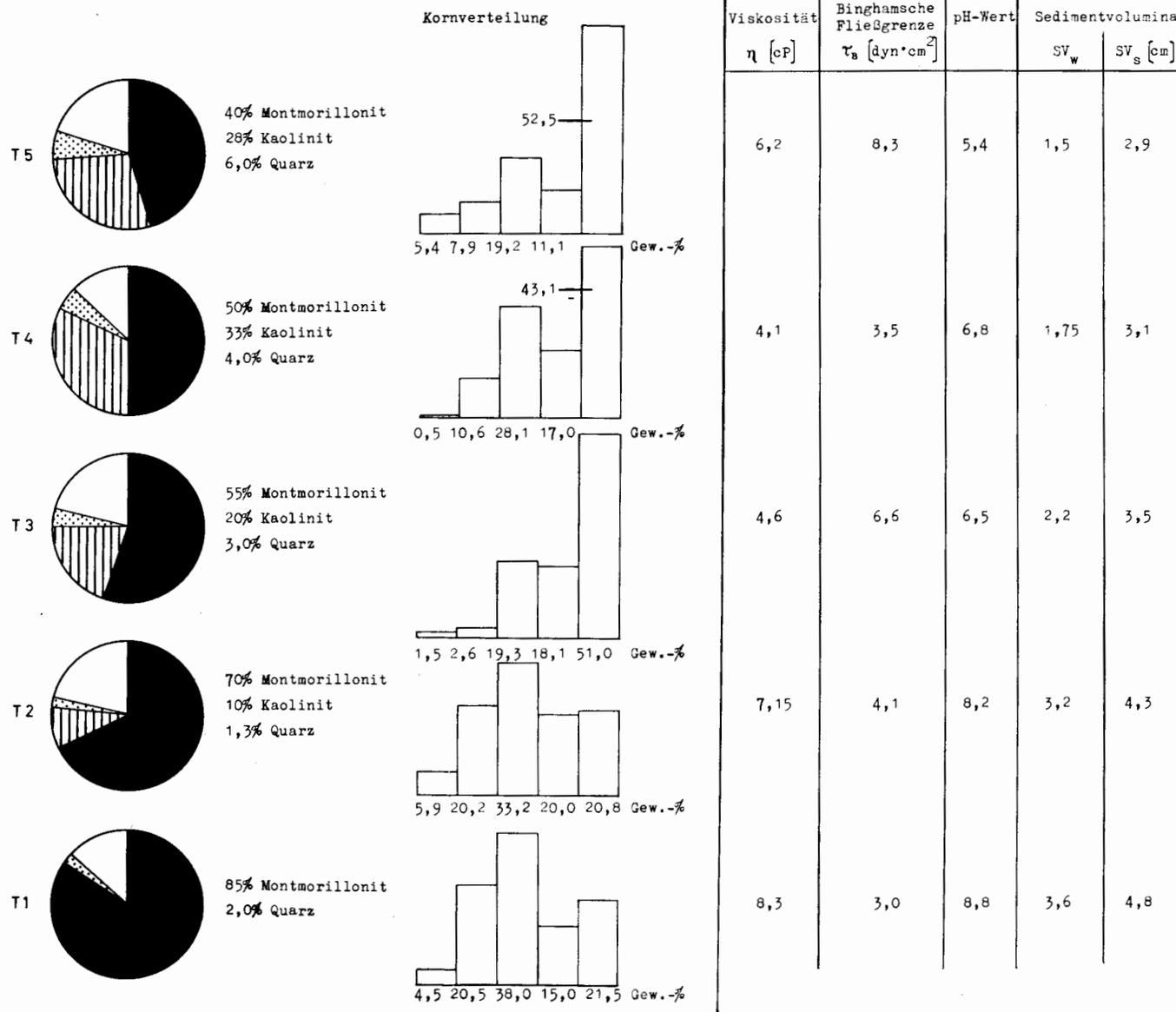


Abb. 11.

sanidin — und quarzhaltige tuffitische Sande. Für Milosbentonite zeichnen sich diejenigen von Kavos durch ihre extremen rheologischen Eigenschaften aus (s. Abb. 12), bedingt durch den alkalimontmorillonitischen Charakter.

Mineralbestand, Kornverteilung, Viskosität, pH-Wert und Sedimentvolumina von Bentoniten aus der Lagerstätte Kavos

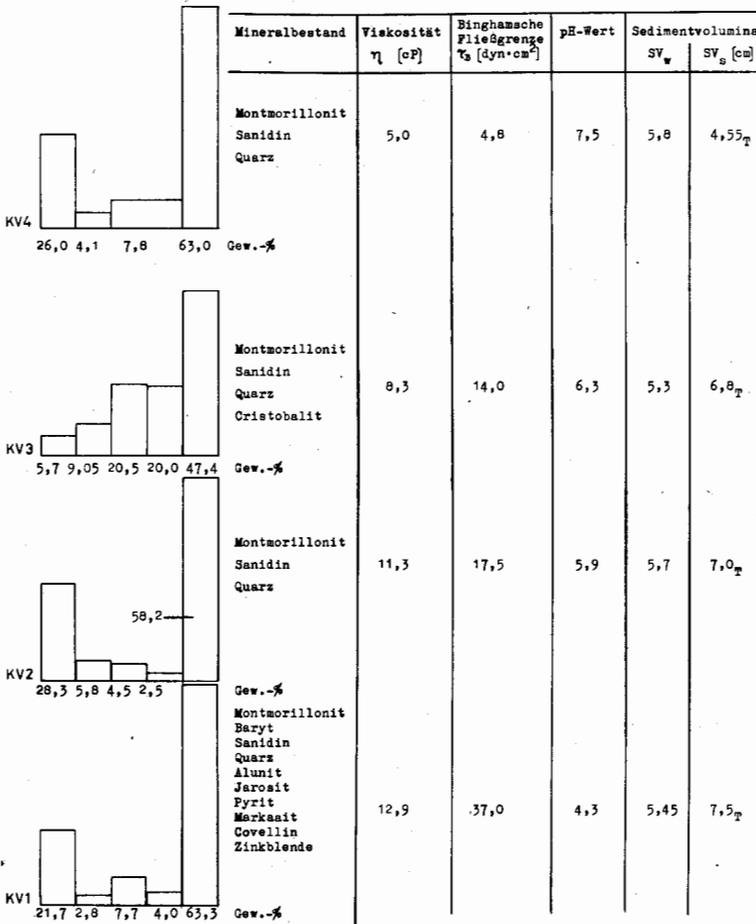


Abb. 12.

3.2. Der Mineralbestand der Bentonite

Montmorillonit stellt mit Gehalten von 40 bis 95 Gew.-% den Hauptgemengteil der Bentonite. Grösstenteils sind es Ca - bis Ca - Na - Bentonite ($\text{CaO} : \text{Na}_2\text{O} \sim 2$, $d_{(001)} = 14,2 + 0,8\text{\AA}$), wie sie in überwiegender Masse

bei Bentoniten brockentuffitischen Ausgangsmaterials vorkommen. Innerhalb jener Serien nimmt der Na-Anteil der Montmorillonite von N nach S zu. Als intermediäre Montmorillonite ($\text{CaO} : \text{Na}_2\text{O} \sim 1$, $d_{(001)} = 12,1 \pm 0,5\text{\AA}$) sind diejenigen von Trogalas zu erwähnen. In der Lagerstätte Kavos liegen Alkalimontmorillonite ($\text{CaO} : \text{Na}_2\text{O} < 1$, $d_{(001)} = 10,5 \pm 0,3\text{\AA}$) vor.

G l a s dürfte in vielen Fällen neben Montmorillonit die zweithäufigste Phase sein. Prototyp einer «Glas»-Bentonitlagerstätte ist Trogalas. Die dortigen Plagioliparite bestehen zu ca. 80% aus Glasmatrix. In den anderen Lagerstätten ist die Bestimmung des primären Glasgehaltes nur schwer möglich, er dürfte aber 50% nicht überschritten haben. Nach SHARMA (1969) zeigen die meisten Gläser im Ostteil der Insel Milos rhyolithischen Charakter ($n = 1,497$).

Neben Montmorillonit tritt Kaolinit als weiteres Tonmineral auf. Seinem röntgenographischen Verhalten nach zu schliessen ist er stets gut kristallisiert. Die Kaolingehalte gehen in den Bentoniten nicht über 35 Gew.-% hinaus. Allgemein zeichnet sich die Tendenz ab, dass die grössten Kaolinitgehalte im Korngrössenbereich zwischen $6,3 \mu$ und 2μ liegen.

A l u n i t tritt angereichert im Hangenden des Bentonites auf. Wie SHARMA (1969) nachweisen konnte, handelt es sich zum Grossteil um K-Alunite mit kleineren Na-Gehalten ($\text{K}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O} = 6 : 1$). In den Brockentuffbentoniten der Lagerstätte Aspro Chorio treten faust — bis kopfgrosse Alunit — Konkretionen auf, hingegen ist die Alunitisierung in den Weissen Tuffen diffus. In Einzelproben des Bohrprofiles von Aspro Chorio schwankt der Alunitgehalt zwischen 5 und 82 Gew.-%. Eine rein alunitische Kluftmineralisation wie z. B. im Andesit der Korakia - Decke ist keine Seltenheit.

Der Q u a r z im Bentonit ist primärer Natur. Die Gehalte liegen unter 10%, im Mittel zwischen 3 und 5%. Bipyramidale Quarze (bis 4mm) treten in der Lagerstätte Trogalas auf. In den anderen Bentonitvorkommen erscheint der Quarz in Form zerbrochener und kantengerundeter Bruchstücke.

Weniger häufig als die vier erstgenannten Minerale sind :

P l a g i o k l a s e: Intermediäre bis basische Vertreter herrschen in den Nordrevieren der Brockentuff — Bentonite vor. Der basische Charakter nimmt nach S zu ab (in den Lagerstätten Demengaki S und Siskinos mit Albitführung).

Von den Kalifeldspäten ist sowohl O r t h o k l a s als auch S a n i d i n vertreten, wengleich letzterer bei Weitem überwiegt.

M u s k o v i t stammt von zersetzten Komponenten kristalliner Pro-

venienz. Unter den Mafiten sind es Biotit, kleine Pyroxene, grünbraune Hornblende und Magnetitkörnchen die in untergeordneten Mengen auftreten.

Chloridische Mineralien (z. B. NaCl) konnten in sämtlichen Lagerstätten beobachtet werden.

An sulfathaltigen Mineralen treten neben dem schon genannten Alunit noch Baryt (lediglich im Bentonit von Kavos) und Jarosit auf. Letzterer ist bevorzugt an Klüfte und Spalten im Bentonit gebunden. Der Jarosit von Kavos zeichnet sich durch Bleigehalte aus. Das Vorkommen von Gips ist keine Seltenheit.

Sulfidische Mineralien in den Bentoniten sind :

Pyrit und Markasit in Form mm-grosser Aggregate und bis zu cm-dicken Krusten. Hellgelbe Zinkblendekörnchen und Covelinkriställchen konnten in der Lagerstätte Kavos beobachtet werden.

Von den oxydischen Mineralien seien noch Goethit und Hämatit erwähnt.

Schliesslich soll noch das Vorkommen von Cristobalit genannt werden. Es steht ausser Zweifel, dass Cristobalit eine jüngere Bildung ist, die zum Grossteil auf Kosten der Glasmatrix erfolgte. In den Brockentufflagerstätten sowie in Kavos konnte Cristobalit nur fallweise beobachtet werden. Hingegen ist er wesentlicher Gemengteil in der Lagerstätte Trogalas und in dem Vorkommen von Kap Amarantos. In beiden Lokalitäten dürften Cristobalitgehalte bis zu 30% vorkommen. Stets ist der Cristobalit in der Fraktion $< 2\mu$ angereichert.

4. Gegenüberstellung der rheologischen Eigenschaften der untersuchten Bentonite aus verschiedenen Lagerstätten

Zweck der vorliegenden Untersuchungen war einerseits das Herausfinden der Gesetzmässigkeiten innerhalb der einzelnen Lagerstätten und andererseits die Erfassung des variierenden Verhaltens der rheologischen Eigenschaften zwischen den verschiedenen Bentonitvorkommen.

Montmorillonittyp, Montmorillonitgehalt, pH - Wert, Elektrolytgehalt und Korngrössenverteilung sind nur einige Parameter, die für das rheologische Verhalten der Bentonitsuspensionen von Ausschlag sind.

Der wohl entscheidendste Faktor für die Grösse der Viskosität und Quellbarkeit des Bentonites ist - alle anderen Faktoren konstant gesetzt —

der Montmorillonittyp. Ein Blick auf Abb. 13 zeigt, dass die höchsten Viskositätswerte von Bentoniten der Lagerstätte Kavos ($d_{(001)} = 10,5 \pm 0,3\text{\AA}$) erreicht werden. Mittlere Werte weisen Trogalas Bentonite ($d_{(001)} = 12,1 \pm 0,5\text{\AA}$) auf und die minimalsten stammen von Soulias- ($d_{(001)} = 14,20, \pm 0,4\text{\AA}$) und Aspro Chorio Bentoniten ($d_{(001)} = 14,5 \pm 0,8\text{\AA}$).

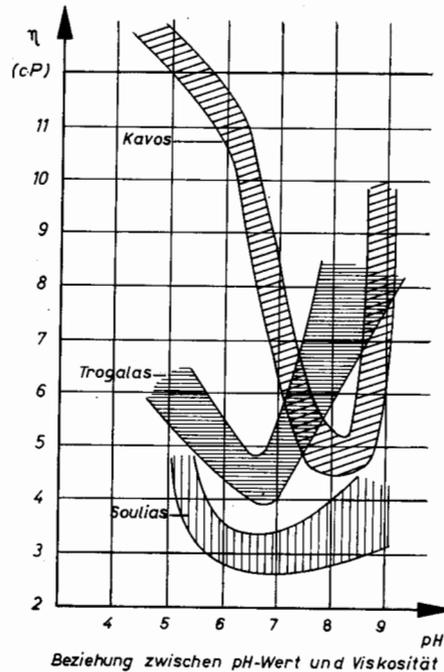


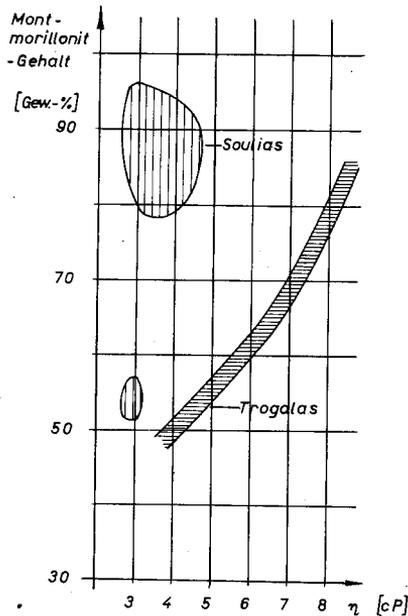
Abb. 13.

Inwieweit Montmorillonitgehalt und Viskosität zusammenhängen ist in Abb. 14 zusammengestellt.

Trotz ihres hohen Montmorillonitgehaltes zeigen die Bentonitsuspensionen der Proben von Soulias und Aspro Chorio niedrigere η - Werte (vgl. Abb. 14). Lediglich saurere Suspensionen (pH 5,4) und basischere Aufschlammungen (pH 8,9) weisen relativ höhere η - Werte auf, wie sie mit den experimentellen Ergebnissen von ROGERS (ROGERS 1953, S. 307) übereinstimmen.

Die Mehrzahl der Suspensionen natürlicher Milos - Rohbentonite liegt im pH - Bereich zwischen 7 und 8. Der Verfasser konnte nachweisen, dass die oberflächennahen Bentonitproben aus den Lagerstätten Aspro Chorio,

Kavos und Trogalas niedrigere pH - Werte (4 bis 5) besitzen als diejenigen aus grösseren Teufen (pH 7,5 bis 9). Die rheologischen Eigenschaften werden entscheidend vom Montmorillonittyp sowie innerhalb der gleichen Lagerstätte vom pH - Wert und dem Montmorillonitgehalt, aber nur ganz



Beziehung zwischen Montmorillonitgehalt und Viskosität bei Soulias- und Trogalas-Bentoniten

Abb. 14.

untergeordnet von der Korngrößenverteilung bestimmt. Der Elektrolytgehalt kann vernachlässigt werden, da er in den allermeisten Fällen \pm konstant bleibt.

5. Zur Genese des Bentonites der Insel Milos

Eine der Schlüsselstellen zur Klärung der Bentonitgenese liegt im Revier Aspro Chorio. Lokal wird das Hangende des Bentonites von marinen Ablagerungen gebildet, die an der Basis Bentonitgerölle aufweisen, die für prä- und/oder synmarine Bentonitbildung sprechen. Die Niveaunkonstanz der Bentonitlager (von postbentonitischen Verwürfen abgesehen) sowie deren flächenhafte Ausdehnung, die stets scharfe Hangendgrenze, das tuffi-

tische Ausgangsmaterial und die postbentonitischen marinen Überlagerungen erhärten vom Geländebefund her die Vorstellung einer Bentonitierung im marinen Milieu. Montmorillonitbildung erfordert in der Regel eine Anreicherung des Mg-Gehaltes im Vergleich zum Ausgangsmaterial. Marines Milieu und submarine Thermentätigkeit verbunden mit Mg⁺⁺ — Zufuhr würden eine plausible Erklärung für die Bentonitgenese liefern.

In der Lagerstätte Trogalas ist wohl eine der wenigen Geländebestätigungen für die Frage des Mg-Haushaltes bei der Montmorillonitbildung gegeben. Wie aus Abb. 10 ersichtlich, sind es zum Grossteil plagioliparitische Effusivkörper, die der Bentonitierung unterlagen. Bei der Gegenüberstellung der Analysen ergibt sich folgendes :

	Plagioliparit *	Bentonit **
SiO ₂	75,64	68,74
Al ₂ O ₃	12,81	16,81
TiO ₂	0,43	0,35
Fe ₂ O ₃	1,35	2,41
CaO	1,68	1,24
MgO	0,12	2,97
Na ₂ O	3,30	0,69
K ₂ O	3,32	0,81

Zweifellos wurden die Mg-Ionen bei der Bentonitierung zugeführt, während die Alkalionen zum Hangenden hin abgeführt wurden und im sauren Milieu zur Bildung des Alunites führten. Die Montmorillonitbildung erfolgte im wesentlichen auf Kosten der Glasmatrix. Kontinuierliche Abnahme des Montmorillonitgehaltes zum Hangenden hin ist mit einer Zunahme von Kaolinit, Tief-Cristobalit und der amorphen Phase verbunden. Wie nachgewiesen werden konnte, ging in der Lagerstätte Trogalas der grösste Teil der Kaolinisierung auf Kosten der Feldspäte. Über der montmorillonitisch-kaolinitischen Hangendzone des Lagers folgt eine SiO₂-reiche, Fe-schüssige Übergangszone, an deren Aufbau wesentlich Cristobalit beteiligt ist. Nimmt

* Analyse nach SONDER (1924/25).

** Im Zentrallabor der Baryte & Silver Ores Co./Athen analysiert.

man für die liegende Kaolinisierung einen primären Umschlag der pH-Werte in den sauren Bereich an, so lässt sich nach CORWIN (1953) die Cristobalitbildung ebenfalls zwanglos einordnen. Weitere pH-Wert Erniedrigung führte schliesslich zu der Alunitisierung und fortgesetzten Kaolinisierung im Hangenden der SiO_2 -Zone (s. Abb. 10). Zwanglos lassen sich die angeführten Beispiele mit einer «pH-Wert-Schwellentheorie» erklären. Schematisiert können die Verhältnisse im Hangenden des Bentonites wie folgt dargestellt werden :

Alunit - SiO_2 - Zone
Alunit - Kaolinit - Zone
 SiO_2 - Zone
Kaolin - Bentonit - Zone
Bentonit

Das flächenhafte Auftreten des Bentonites, die scharfe Hangendgrenze innerhalb ein und desselben Tuffittypes sowie die zur Montmorillonitbildung erforderliche Mg^{++} - Zufuhr legt die Erklärung nahe, dass die Bentonitierung im marinen Milieu unter Mitwirkung von Thermen, die längs Störungen aufgereiht waren, stattfand.

Nach Ansicht des Verfassers erfolgte die Genese der Kaolin-, Alunit- und Barytlagerstätten postbentonitisch in der nachvulkanischen Phase des ins Oberpliocän eingeordneten Vulkanismus.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Professor Dr. K. WALENTA vom Institut für Mineralogie und Kristallchemie der Universität Stuttgart sowie der Firma Silver & Baryte Ores Co. (Athen) über deren Technischen Direktor Herrn Dr.—Ing. E. MACK mir finanzielle Unterstützung bei der Durchführung der Arbeiten gewährt wurde.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bentonitlagerstätten im Ostteil der Insel Milos wurden hinsichtlich ihrer mineralogischen Zusammensetzung und ihrer physikalischen Eigenschaften untersucht.

Im wesentlichen sind es oberpliocäne Tuffite, die als Ausgangsmaterial für den Bentonit in Frage kamen. Lokal unterlagen kleinere Effusivkörper der Umwandlung in Bentonit. Bei den Tuffiten liess sich kartierungstechnisch eine als Brockentuff bezeichnete Serie von strukturell und petrographisch weit inhomogeneren Weissen Tuffen unterscheiden.

Extensiv und intensiv stellt der andesitische Brockentuff-Typ Soulias-Aspro Chorio den überwiegenden Bentonitanteil in der Osthälfte der Insel. Zu diesem Typ gehören die Lagerstätten Soulias, Aspro Chorio, Mygiokolo, Komia, Demengaki N und S sowie das Revier Siskinos.

Plagioliparitische Effusiva, die von Brockentuff überlagert wurden und gemeinsam der Bentonitisierung unterlagen, treten im Lagerstättentyp Trogalas in Erscheinung. Im überwiegendem Mass war es die Glasmatrix, die in Montmorillonit übergeführt wurde.

Feinkörnige, sanidin- und quarzführende Tuffite bildeten das Ausgangsmaterial der relativ kleinen Alkalibentonitlagerstätte Kavos. Weitere Vertreter dieses Typs finden sich längs der S-Küste der Nachbarinsel Kimolos.

In der Tabelle sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst: (Sehe Seite 155).

Ferner konnte gezeigt werden, dass die Mehrzahl der Suspensionen natürlicher Milos-Rohbentonite im pH-Bereich zwischen 7 und 8 liegt. Oberflächennahe Proben wiesen niedrigere pH-Werte (4-5) auf als diejenigen aus grösseren Teufen (pH 7,5-9). Untersucht wurde, inwieweit die rheologischen Eigenschaften innerhalb einer Lagerstätte schwanken und in welcher Weise dies von den Parametern Montmorillonittyp, Montmorillonitgehalt, pH-Wert und Korngrößenverteilung abhängig ist,

Nach Ansicht des Verfassers erfolgte die Bentonitisierung im marinen Milieu unter Mitwirkung von Thermen. Die Genese der Kaolin-, Alunit- und Barytlagerstätten wird als postbentonitisch betrachtet und in die nachvulkanische Phase des ins Oberpliocän eingeordneten Vulkanismus gestellt.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Ι Σ

Ὁ σκοπὸς τῆς παρούσης ἐρεύνης ἦτο ἡ μελέτη τῆς ὀρυκτολογικῆς συστάσεως καὶ τῶν φυσικῶν ἰδιοτήτων τῶν κοιτασμάτων Μπετονίτου τῆς Ἀνατολικῆς περιοχῆς τῆς Ν. Μήλου.

Κυρίως ἐρευνῶνται οἱ τόφφοι τοῦ ἀνωτέρου πλειοκαίνου ἐκ τῶν ὁποίων, προῆλθον οἱ Μπετονίται. Τοπικὰ στοιχεῖα καὶ παράγοντες μεταβάλλον μικρὰ Ἡφαιστειογενῆ σωματίδια εἰς Μπετονίτην.

Κατὰ τὴν χαρτογράφησιν τῶν τόφφων ἦτο δυνατόν νὰ γίνῃ διαχωρισμὸς τῶν λατυποπαγῶν τόφφων εἰς περισσοτέρας ἑτερογενεῖς λευκὰς σειρὰς ἐκ τῆς δομῆς καὶ τῆς πετρογραφίας.

Διεπιστώθη κατὰ τὸ ἦτιον καὶ μᾶλλον ὅτι εἰς τοὺς ἀνδρασιτικούς καὶ λατυποπαγεῖς τόφφους τύπου Σουλιᾶς, Ἀσπρο Χωριὸ εἰς τὴν Ἀνατολικὴν

ἔκτασιν τῆς νήσου Μήλου ὑπερεροῦν τὰ συστατικά τοῦ Μπεντονίτου. Εἰς αὐτὸν τὸν τύπον ἀνήκουν τὰ κοιτάσματα Σουλιάς, Ἄσπρο Χωρίον, Μυγιόκοιο, Κοιμό, Δεμεντάκη Βορείως καὶ Νοτίως τῆς περιοχῆς Σίσκινος. Πλαγιολιπαριτικά ἔκχυτα τὰ ὁποῖα ἔχουν καλυφθεῖ ἀπὸ τοὺς λατυποπαγεῖς τόφφους ἔχουν ὑποστει Μπεντονιτοποίησην ὡς ἐμφανίζεται εἰς τοὺς κοιτασματολογικοὺς τύπους Τρογάλα. Εἰς ὑπερέχουσιν ποσότητα εἶναι Glasmatric μεταβαίνουσα εἰς Montmorillonit.

Τὸ λεπτόκοκκον τοῦ σανιδίου καὶ χαλαζιακοὶ τοφφίται δημιουργοῦν τὸ ἔξερχόμενον ὕλικὸν ὡς τὸ σχετικῶς μικρὸν κοίτασμα Κάβου ἐξ ἀλκαλικοῦ Μπεντονίτου. Ἄλλα ἀντιπροσωπευτικά κοιτάσματα τοῦ αὐτοῦ τύπου εὐρίσκονται κατὰ μῆκος τῆς Νοτίου ἀκτῆς καὶ γειτονικῆς νήσου Κιμώλου.

Εἰς πίνακα ἔχουν συνταχθῆ περιληπτικῶς τὰ σπουδαιότερα ἀποτελέσματα : (βλέπε σελ. 155).

Περαιτέρω δύναται νὰ θεωρηθῆ ὅτι κατὰ τὸ πλεῖστον ὁ φυσικὸς Μπεντονίτης τῆς Μήλου ἔχει pH μεταξὺ 7 - 8.

Δείγματα Μπεντονίτου τὰ ὁποῖα ἐλήφθησαν παρὰ τὴν ἐπιφάνειαν ἔδωσαν χαμηλὸν pH (4-5) ἐν ἀντιθέσει δείγματα Μπεντονίτου τὰ ὁποῖα ἐλήφθησαν εἰς μεγαλύτερον βάθος μᾶς ἔδωσαν pH (7,5-9).

Ἐρευνήθησαν ἐπίσης αἱ διακυμάνσεις τῶν γεωλογικῶν ιδιοτήτων ἐντὸς ἐνὸς κοιτάσματος καὶ κατὰ ποῖον τρόπον ἡ παράμετρος τοῦ Μοντιμοριλλινιτικοῦ τύπου καὶ ἡ Μοντιμοριλλονιτικὴ ποσότητα ἢ τιμὴ τοῦ pH καὶ ἡ κοκκομετρικὴ διασπορὰ εἶναι ἐξηρητημένα.

Κατὰ τὴν γνώμην τοῦ συγγραφέως ἐπετεύχθη ἡ Μπεντονιτοποίησης εἰς τὸ θαλάσσιον περιβάλλον τῆ ἐπιδράσει τῶν θερμῶν ὑδάτων. Ἡ δὲ γένεσις τῶν κοιτασμάτων Καολίνης, Ἄλουνίτου, Βαρύτου θεωρεῖται ὡς Μεταμπεντονικὴ καὶ τοποθετεῖται εἰς τὴν μετὰ ἡφαιστειογενὴν φάσιν τοῦ ἀνωτέρου πλειοκαίνου.

S U M M A R Y

Purpose of the investigations was the study of mineralogical composition and physical properties of bentonites from the eastern region of Milos Island/Cyclades.

Most of the bentonites primary were tuffitic series of upper Pliocene age which were altered to montmorillonite. In few cases smaller plagioparitic stocks locally were transformed to bentonite. During field investigations so-called «Brockentuffe» could be distinguished from more heterogeneous white tuffs,

The greater amount of bentonite deposits on the eastern part of the island are those of andesitic tuffs (type Soulias-Aspro Chorio). To this type count the occurrences of Soulias, Aspro Chorio, Mygiokolo, Komia Demengaki N and S as well as Siskinos region.

Smaller plagioliparitic stocks embedded in Brockentuffe were both altered to bentonite in the Trogalas deposit. The main part of montmorillonite was formed by alteration of the glassy matrix of plagioliparite.

Fine-grained sanidine and quartz bearing tuffites are the primary material of the small Na-K-bentonite deposit Kavos. The same type of occurrences is to be found along the southern coast of the neighbouring Kimolos Island.

A brief summary of the most important results is given in the following table:

Further more could be demonstrated that most of the bentonitic suspensions of raw bentonites vary between pH-values 7 and 8. From foot-wall to hanging wall pH-values generally are decreasing (7,5-9 to 4-5). Viscosity and yield values are controlled by the following parameters: Type of montmorillonite, content of montmorillonite and pH of suspension. Grain size effects can be neglected.

The author thinks that bentonite was formed in marine environment, whereas the kaolinite-, alunite and baryte deposits are of postbentonitic-postvolcanic-hydrothermal nature.

L I T E R A T U R

- CONCI, I., (1928).— Le rocce effusive dell' Isola di Patmo (Dodecaneso - Mar Egeo).— *Mem. Inst. Geol. Univ. Padova* **8**, 41 S., Padova.
- CORWIN, J., (1953).— Zit. in STUBICAN et al. (1957).
- DESIO, A., (1931).— Le isole italiane dell' Egeo.— *Mem. desc. Carta Geol. d'Italia* **24**, Rom.
- EHRENBURG, K., (1889).— Die Inselgruppe Milos.— Diss.
- ENGELHARDT, W. v., (1955).— Über die Möglichkeiten der quantitativen Phasenanalyse von Tonen mit Röntgenstrahlen.— *Z. Kristallogr.* **106** (1955), H. 6, 430 - 459, Frankfurt/M.
- HOFMANN, U, & WEISS, A., (1957).— Thixotropie bei Kaolinit und innerkristalline Quellung bei Montmorillonit.— *Kolloid Z.*, **151/2** 97 - 115, Darmstadt.
- KELLER, P., (1967).— Quantitative, röntgenographische Phasenanalyse verschiedener Rosttypen.— *Werkstoffe und Korrosion*, **18**, 865 - 878, (Chemie) Weinheim.
- MÜLLER, G., (1964).— Methoden der Sedimentuntersuchung (Teil I).— 303 S., (Schweizerbart) Stuttgart.

- ROGERS, W. F., (1953).— Composition and properties of oil well drilling fluids.— 676 S., (Gulf Pub.) Houston/Texas.
- SHARMA, K. K., (1970).— Mineralbestand und Bildungsbedingungen der Alunit-Kaolinitvorkommen im Ostteil der Insel Milos/Griechenland.— 48 S., (Kümmerle) Göppingen.
- SONDER, R. A., (1924/25).— Zur Geologie und Petrographie der Inselgruppe von Milos.— *Z. f. Vulkanologie*, **8**,/4, 181 - 237, Berlin,
- STUBICAN, V., TEZAK, S. & WRISCHER, M., (1957).— Über einige Eigenschaften der Kieselsäure in Bentoniten.— *Kolloid Z.*, **151**/1, 33 - 41, Darmstadt.
- VOREADIS, D. G., (1961).— Die Geologie und die Barytlagerstätte der Insel Mykonos und Dragonissi.— *Ann. Géol. Pays Hell.*, **12**, 263 - 300, Athen.
- WETZENSTEIN, W., (1969).— Die Bentonitlagerstätten im Ostteil der Insel Milos/Griechenland und ihre mineralogische Zusammensetzung.— 63 S., *Unveröff. Diss. Univ. Stuttgart, Stuttgart.*
- WETZENSTEIN, W., (1971).— Quantitative röntgenographische Bestimmung der Minerale Montmorillonit, Kaolinit, Quarz und Alunit.— *Tonind.— Ztg.*, **95**, (1971) Nr. 10, 301 - 304, Goslar.