

**DER THERA-VULKAN (SANTORIN/GRIECHENLAND) –  
SEINE LITHOLOGISCHE, VULKANOLOGISCHE UND GEOCHEMISCHE  
ENTWICKLUNG**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Naturwissenschaften  
der Geowissenschaftlichen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von  
**NICOLETTA ADAMS**  
aus Frankfurt/M.

1987

## Vorwort

In den siebziger Jahren begannen vom Tübinger Institut aus die ersten Diplomkartierungen in Santorin. Die Ergebnisse aus diesen Arbeiten waren Anlaß sich mit den pyroklastischen Serien Santorins näher zu befassen und so zur Klärung der Vulkangeschichte beizutragen.

Angeregt und betreut wurde die vorliegende Arbeit von Prof. Dr. H. PICHLER, dem ich hierfür und für sein Interesse am Fortschritt der Arbeit besonders danken möchte.

Die Arbeit, sowie die beiden Geländeaufenthalte 1983 und 1984 wurden durch Personalmittel und Reisekosten von der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT großzügig finanziert.

Weiterhin gilt mein Dank :

Prof. H. FRIEDRICHSEN und Frau M. FETH (Berlin, vorm. Tübingen) für die Anfertigung der geochemischen Analysen;

Frau Ch. EISENHARDT für die stete Unterstützung und Hilfe bei den Fotoarbeiten;

Herrn J. MÄLLICH für die prompte Herstellung der Dünnschliffe;

Frau C. SCHMITT-RIEGRAF (Münster, vorm. Berlin, vorm. Tübingen), die einige Seltene Erden bestimmte und die zu Beginn der Arbeit stets mit Rat und Tat behilflich war;

Herrn Dr. F. SCHAARSCHMIDT (Frankfurt/M.) für die Untersuchung einiger Boden-Proben auf einen möglichen Pollen- und Sporenhalt hin;

Frau R. STÖRCH (Frankfurt/M.) für die Hilfe bei der Anfertigung der paläomorphologischen Karten, sowie der geogr. und geol. Übersichtskärtchen und deren zeichnerische Darstellung; dem Institut für angewandte Geowissenschaften (Offenbach/M.) für die Überlassung eines Arbeitsplatzes und verschiedenen Materials, wodurch die Herstellung der Beilage 1 wesentlich erleichtert wurde.

Vor allem danke ich auch meinem Mann, der mir immer mit Rat und Verständnis zur Seite stand.

## Zusammenfassung

Santorin, am südlichsten Punkt des Kykladenbogens gelegen, ist der einzige noch tätige Vulkan in der südlichen Ägäis. Der Vulkanismus begann vor ca. 1,6 Mio. Jahren.

Santorin besteht aus 5 Inseln, die nahezu vollständig aus vulkanischen Gesteinen aufgebaut sind, die im Laufe der Vulkangeschichte aus verschiedenen Eruptionszentren gefördert wurden. Abgesehen von den Laven im N der Hauptinsel Thera, wird der Zentral- und Südteil der Insel in der Hauptsache von den pyroklastischen Förderprodukten des sog. Thera-Vulkans aufgebaut.

In der vorliegenden Arbeit waren diese pyroklastischen Serien Ziel der Untersuchungen. Die Ergebnisse daraus können folgendermaßen zusammengefaßt werden :

- Die Aufnahme von 14 detaillierten Profilen und deren Korrelierung erbrachte die Einteilung der pyroklastischen Schichten in 5 Haupt-Folgen:

T<sub>5/1</sub> — Untere Bimsstein-Folge (Bu) — T<sub>5/2</sub> — Mittlere Bimsstein-Folge (Bm) — T<sub>5/3</sub>.

Die Obere Bimsstein-Folge (Bo) wurde dabei nicht weiter berücksichtigt, da sie bereits in zahlreichen Arbeiten untersucht worden ist.

- Die als T<sub>5/1-3</sub> bezeichneten Serien bestehen aus Aschen, Schlacken, wenigen Bimsstein-Horizonten und untergeordnet Ignimbriten, 'pyroclastic' und 'ash flow'-Ablagerungen, sowie Laharen. Umlagerungen und Bodenhorizonte zeigen die Unterbrechung in der vulkanischen Tätigkeit an.
- In den T<sub>5</sub>-Folgen konnten jeweils einer oder mehrere Leit-Horizonte gefunden werden, die es ermöglichen die drei T<sub>5</sub>-Serien zu unterscheiden und zu korrelieren.
- Die Untere Bimsstein-Folge (Bu) wurde in sechs Einheiten unterteilt, die eine Wechselfolge von 'pumice fall' und 'pumice flow'-Ablagerungen bilden.
- Mineralogische Untersuchungen zeigen für die 5 Haupt-Folgen nur geringe Unterschiede. Die Bimssteine und Schlacken bestehen überwiegend aus Glas und haben nur wenige Phänokristalle (3-12 Vol.%), wobei der Plagioklas (Andesin--Labradorit) überwiegt; Orthopyroxen (Hypersthen) und Klinopyroxen (diops. Augit) stellen ca. 30% der Einsprenglinge. An Akzessorien sind vorhanden: Apatit, Magnetit, Hämatit und sehr selten Hornblende.
- Ein Versuch zur Unterscheidung der Gesteine in den einzelnen Schicht-Einheiten war die Bestimmung der Lichtbrechung und der Dichte. Es zeigte sich, daß die Dichte weniger geeignet ist, die Lichtbrechung aber eine schwache Differenzierung widerspiegelt und somit für die Bimssteine und Schlacken, aber auch für die Bimssteine innerhalb des Bu unterschiedliche Werte gefunden wurden.

- Aus den Korngrößen-Analysen des Asche-Leithorizontes der T<sub>5/3</sub>-Folge ergaben sich die Lage des Eruptionszentrums und die damals vorherrschende Windrichtung.
- Die Oberen Ignimbrite (Ign., im Hangenden der T<sub>5/3</sub>-Folge) konnten erstmals in 5 Einheiten unterteilt werden.
- Die Seltenen Erden-Analysen erbrachten für die einzelnen Folgen in etwa die gleichen SEE-Spektren.
- Die geochemischen Untersuchungen von ca. 120 Proben sind in verschiedenen Diagrammen dargestellt. Daraus wird deutlich, daß die T<sub>5</sub>-Folgen die basischsten Glieder sind. Es handelt sich überwiegend um Quarz-Andesite und Quarz-Latiandesite, während die Bimsstein-Serien (Bu u. Bm) eine quarz-latiandesitische bis rhyodacitische Zusammensetzung haben. Es sind aber alles kalkalkaline Gesteine, die in den Bereich der Kontinentalrand-Andesite gehören.
- Es wird angenommen, daß die Gesteine des Thera-Vulkans aus einer Magmakammer stammen. Während Zeiten + kontinuierlicher, explosiver Tätigkeit wurden die Aschen und Schlacken der T<sub>5</sub>-Serien gefördert, die gegenüber den Bimsstein-Folgen relativ basisch sind. Während längerer Ruheperioden (Bodenhorizonte am Top der T<sub>5</sub>-Folgen) differenzierte die Schmelze in der Magmakammer, vorwiegend durch Kristallfraktionierung. In den paroxysmalen Ausbrüchen wurden dann die sauren, gasreichen Bimssteine des Bu, Bm und Bo gefördert.
- Anhand der lithologischen und geochemischen Untersuchungen ließen sich die etwaigen Eruptionszentren, die Ausbruchsmechanismen und der Ablagerungstyp der Schichten herleiten und daraus die Vulkangeschichte rekonstruieren, wie sie in vier Tabellen übersichtlich zusammengefaßt sind.
- Schließlich sollen paläomorphologische Karten die einzelnen Stadien des Thera-Vulkans veranschaulichen.

## Vorwort

## Zusammenfassung

## INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG	1
1.1. Geographie	1
1.2. Geschichtlicher Rahmen	3
1.3. Geologischer Überblick	4
1.4. Überblick über bisherige Arbeiten	8
1.5. Aufgabenstellung und Arbeitsmethoden	10
1.6. Klassifikation und Terminologie der pyroklast. Gesteine und deren Ablagerungen	13
II. PETROGRAPHIE, PETROCHEMIE und STRATIGRAPHIE	22
Die pyroklastischen Serien auf Santorin	22
2.1. Älteste pyroklastische Schichten (T <sub>5/1</sub> )	24
2.1.1. Megaskopische Beschreibung	24
2.1.2. Mikroskopische Beschreibung	30
a) Mineralbestand	30
b) Lichtbrechung	32
c) Dichte	33
2.1.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch-petrographische Entwicklung der T <sub>5/1</sub> -Folge	33
2.2. Die Untere Bimsstein-Folge (Bu)	39
2.2.1. Megaskopische Beschreibung	39
Die Förderzentren der Unteren Bimsstein-Folge (Bu II-VI)	55
2.2.2. Mikroskopische Beschreibung	56
a) Mineralbestand	56
b) Modaler Mineralbestand	59
c) Lichtbrechung	60
d) Dichte	62
2.2.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch-petrographische Entwicklung der Unteren Bimsstein-Folge	63
2.2.4. Seltene Erdenelemente (SEE)	72
2.3. Pyroklastische Schichten (T <sub>5/2</sub> ) zwischen der Unteren (Bu) und der Mittleren Bimsstein- Folge (Bm)	75
2.3.1. Megaskopische Beschreibung	75
2.3.2. Mikroskopische Beschreibung	79
a) Mineralbestand	79
b) Lichtbrechung	80
c) Dichte	80
2.3.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch-petrographische Entwicklung der T <sub>5/2</sub> -Folge	80

2.4. Die Mittlere Bimsstein-Folge (Bm)	85
2.4.1. Megaskopische Beschreibung	85
2.4.2. Mikroskopische Beschreibung	87
a) Mineralbestand	87
b) Modaler Mineralbestand	89
c) Lichtbrechung	90
d) Dichte	91
2.4.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse der Mittleren Bimsstein-Folge	91
2.5. Pyroklastische Schichten (T <sub>5/3</sub> ) zwischen der Mittleren (Bm) und der Oberen Bimsstein-F. (Bo)	96
2.5.1. Megaskopische Beschreibung	96
2.5.2. Korngrößenanalysen des Aschen-Leithorizontes der T <sub>5/3</sub> -Folge	101
2.5.3. Mikroskopische Beschreibung	105
a) Mineralbestand	105
b) Lichtbrechung	106
c) Dichte	107
2.5.4. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch-petrographische Entwicklung der T <sub>5/3</sub> -Folge	107
2.6. Obere rote und schwarze Wurfslacken des Oia-Vulkans (Sc)	111
2.6.1. Megaskopische Beschreibung	111
2.6.2. Mikroskopische Beschreibung	113
a) Mineralbestand	113
b) Dichte	113
2.6.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse	114
2.7. Die Oberen Ignimbrite (Ign.)	115
2.7.1. Megaskopische Beschreibung	115
2.7.2. Mikroskopische Beschreibung	119
2.7.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse	120
III. GEOCHEMIE	122
3.1. Petrochemische Einteilung und Entwicklung der pyroklastischen Serien des Thera-Vulkans	122
3.2. Petrochemischer Vergleich der pyroklastischen Schichten von S-Thera mit den Laven von N-Thera	131
IV. VULKANGESICHTE des THERA-Vulkans	136
V. ÜBERBLICK über die GEOTEKTONIK der ÄGÄIS und die MAGMENGENSE SANTORINS	149
5.1. Geotektonik der Süd-Ägäis	149
5.2. Übersicht über die verschiedenen Modelle zur Magmengenese Santorins	152

VI. LITERATUR	155
VII. ANHANG	165
7.1. Profilbeschreibungen (Profil 1--14)	165
7.2. Tabellen	218
Tab. 15: Kurze lithologische und mikroskop. Beschreibung der Xenolithe aus der jüngsten Schicht (VI) der Bu-Folge	218
Tab. 16: Haupt- und Spurenelement-Gehalte der einzelnen Schichtfolgen, sowie die errechneten RITTMANN- und CIPW-Normen	223

## I. EINLEITUNG

### 1.1. Geographie

"Fahren wir in das innere Meer ein, so umgibt uns ein geradezu phantastisches Landschaftsbild. Aus den tiefblauen Fluten erhebt sich ringsum drohend die finstere, unersteiglich erscheinende, völlig kahle Wand der Innenseite des Inselringes, meist über 200, ja über 300 m hoch. In grellen roten und schwarzen Farbtönen zeichnen sich die Lava-, Schlacken- und Aschenbänke voneinander ab, die in mannigfaltigem Wechsel diese Wände aufbauen und in horizontale Leisten gliedern. Zuoberst liegt aber fast überall eine blendendweiße, bis 30 m mächtige Schicht von Bimssteintuff als Krönung des buntfarbigen Absturzes." (PHILIPPSON 1959, IV: 165-166).

Santorin liegt im südlichen Teil des ägäischen Meeres auf 25° 25' E Länge zwischen dem 36. und 37. nördlichen Breitengrad, etwa auf gleicher Breite wie Rhodos und Gibraltar. Sie ist die südlichste Insel der Kykladen, ca. 110 km nördlich von Kreta entfernt, und gehört zum sog. Kykladenbogen, einem vulkanischen Inselbogen, der vom Isthmus von Korinth bis zum Kleinasiatischen Festland reicht (Abb. 1).

Santorin ist eine Gruppe von drei Inseln, die ringförmig angeordnet sind, und deren Gesamtfläche ca. 80 km<sup>2</sup> beträgt. Der Archipel besteht aus den Inseln Thera, deren Länge 17,6 km beträgt und deren Breite zwischen 2 und 6 km variiert, Therassia, mit 5,8 km Länge und ca. 2,7 km Breite, und Aspronisi, 0,68 km lang und 0,2 km breit. Diese Inseln umschließen eine ca. 83 km<sup>2</sup> große Caldera, in deren Zentrum die beiden jüngsten Inseln Paläa Kameni und Nea Kameni liegen.

Zur Caldera hin fallen die Wände der Ringinseln steil ab (bis zu 70--80°). Die Hauptinsel Thera ist etwa halbkreisförmig, ihre Außenseite läuft nach E und S in flachem Winkel (2--4°) zum äußeren Meer aus. Hier haben sich lange Strände gebildet, die aus lockerem vulkanischem Material bestehen.

Im Norden verschmälert sich die Insel bis zu einer Ausdehnung von nur noch 2 km. Der Außenabfall ist hier steiler (10--12°), der Strand ist dementsprechend schmal und nicht durchgehend ausgebildet. Hier im Norden sind die Laven des Megalo Vouno-, Kokkino Vouno- und des Mikro Profitas Elias- Vulkans die Ursache für das hohe Relief.

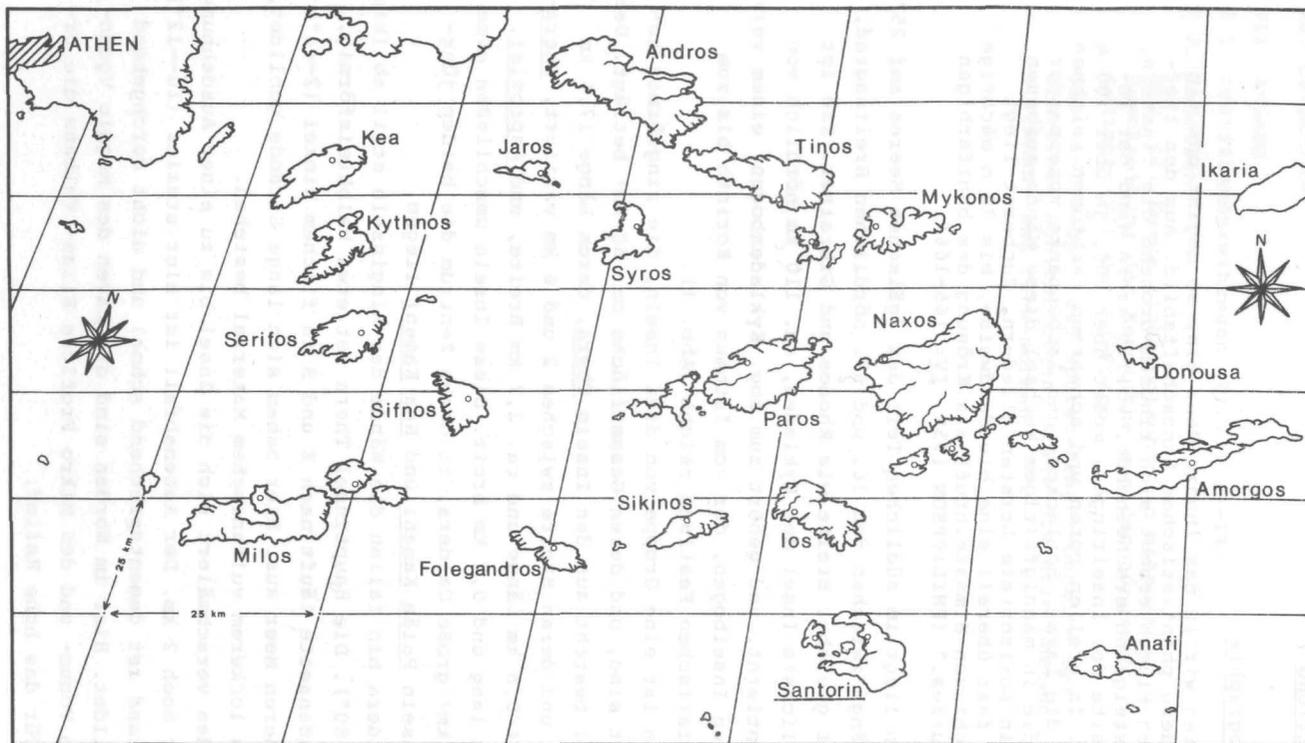


Abb. 1: Die Lage von Santorin im ägäischen Meer

Therasia hat die äußere Form etwa eines Parallelogramms. Der Steilabsturz im E erhebt sich bis ca. 295 m, von dort fällt die Oberfläche regelmäßig mit  $6^\circ$  zur Außenseite hin ab. Aspronisi erstreckt sich von ENE nach WSW und erreicht eine Höhe von 71 m. Sie fällt nach allen Richtungen steil ab und besitzt weder Strand noch Anlegestelle.

Der Kanal im Norden zwischen Thera und Therasia ist 1,7 km breit, die Entfernung von Therasia nach Aspronisi beträgt 2,5 km und von Aspronisi nach Thera 2,3 km.

Die Bevölkerung, deren Zahl zwischen 6 000 und 13 000 variiert (saison-abhängig), verteilt sich auf 17 Dörfer, drei auf Therasia und 14 auf Thera; die Hauptstadt ist Thira. Santorin ist zwar aufgrund des vulkanischen Bodens außerordentlich fruchtbar, aber es fehlt an Süßwasser. Daher gibt es nur wenig Landwirtschaft, vornehmlich Frühgemüse (Tomaten, grüne und gelbe Erbsen) und Gerste, sowie Pistazien, die allerdings vorwiegend für die eigene Nutzung angebaut werden. Die Santorin-Weine (Caldera, Lava, Vulkan) jedoch sind berühmt wegen ihrer Qualität, und werden daher auch exportiert. Früher wurde bei Kap Therma Bleiglanz und Pyrit abgebaut, die in kleinen Gängen im Phyllit auftraten; jedoch erschöpfte sich der Vorrat bald. Heute ist die Haupteinnahmequelle der Inselbewohner neben dem Export der braunen Erde und des Oberen Bimssteins (Bo), der zu Zement, Leichtbausteinen und Traß verarbeitet wird, vor allem (leider) der Tourismus.

## 1.2. Geschichtlicher Rahmen

Die ersten Anzeichen für die Anwesenheit von Menschen auf Santorin stammen aus der frühkykladischen Kultur, etwa 3200-2000 v. Chr. Sie dauerte bis in die mittelkykladische Periode (2000--1500 v. Chr.) an, bis der große Vulkan-Ausbruch ca. 1450 v. Chr. die minoisch-kykladische Kultur auf der Insel auslöschte und bedeckte.

Mykenische Vasen zeugen davon, daß erst Ende des 13. Jhd. v. Chr. die Insel wieder bewohnt wurde.

Santorin, das am Anfang Strongyle, die Runde, und nach dem Vulkan-Ausbruch mit der Bildung der Caldera Kalliste, die Schöne, genannt wurde, war in der Folgezeit, etwa acht Generationen lang von den Phöniziern bewohnt.

Etwa 1050 v. Chr. kamen die Lakedämonier, die die Insel nach ihrem Anführer, dem Sohn des Antesion und Nachkommen von

Kadmos, T H E R A nannten.

Im 9. Jhd. v. Chr. wird Thera dorisch und steht dann im Kontakt mit den anderen Kulturen, unter anderem Kreta, Rhodos und Attika. Dies übte aber keinen Einfluß auf die Kultur und das Leben der Gesellschaft aus. So spielte Thera auch in der Folgezeit keine wesentliche Rolle in der Geschichte.

Erst Mitte des 4. Jhd. entdeckte Alexander der Große die strategisch günstige Lage der Insel mit den natürlichen Befestigungen von Mesa Vouno als günstigen Ankerplatz und Basis für seine kriegerischen Unternehmungen. Später unterwarf Thera sich den Römern und wurde in der Folgezeit dem Byzantinischen Kaiserreich einverleibt. Es hat jedoch schon ab dem 4. nachchristlichen Jhd. eine organisierte christliche Kirche gegeben. Im Jahr 1204 n. Chr. fällt Thera in die Hände der fränkischen Kreuzritter (1204--1579). Später überließ der Venezianische Doge die Insel seinem Neffen Marco Sanudo, der das Herzogtum Naxos gründete, zu dem auch Thera zählte. Von den Kreuzrittern erhielt die Insel auch ihren heutigen Namen Santorin, der sich von der heiligen Irene (Santa Irina) ableitet. In dieser Zeit wurde der orthodoxe Bischof vertrieben und ein Latiner Bischof eingeführt.

Während der Dauer der fränkischen Herrschaft hatten die Inseln unter den Überfällen der Piraten und den Rivalitäten der italienischen Dynastien mit dem Sultan zu leiden. Es kam zu Auseinandersetzungen zwischen den Führern der katholischen und der orthodoxen Kirche.

Erst die türkische Herrschaft (1579--1821) und die Annexion Santorins zum türkischen Reich beendete das Piratenunwesen und öffnete Santorin den Handel mit großen Hafenstädten, wie Alexandria, Konstantinopel und Odessa.

Als im Jahr 1821 die Griechen mit einem Aufstand versuchten die osmanische Sklaverei abzuschütteln, nahmen auch die Santoriner mit ihren Schiffen daran teil.

Heute gehört Santorin zum Verwaltungsbezirk der Kykladen.

### 1.3. Geologischer Überblick

Die vulkanischen Förderprodukte des Santorin-Vulkans liegen nicht-vulkanischem Grundgebirge auf, das an zwei Stellen zutage tritt. Zum einen sind es massige Kalksteine, die stellenweise zu Marmor metamorphisiert sind. PAPASTAMATIOU konnte sie 1958 anhand von Megalodonten-Funden in die Obere Trias einordnen. Diese Kalke bilden auch die höchsten Erhebungen Santorins: den Profitas Elias (565 m), den Mesa Vouno (369 m) und den Gavrilos-Berg (167 m).

Zum anderen steht beiderseits des Kap Athinios ein grünlicher Phyllit an mit Einschaltungen von Kalk- und Marmorlinsen.

Ihn datierte TATARIS (1964) anhand von Großforaminiferen (Milioliden) in das Eozän.

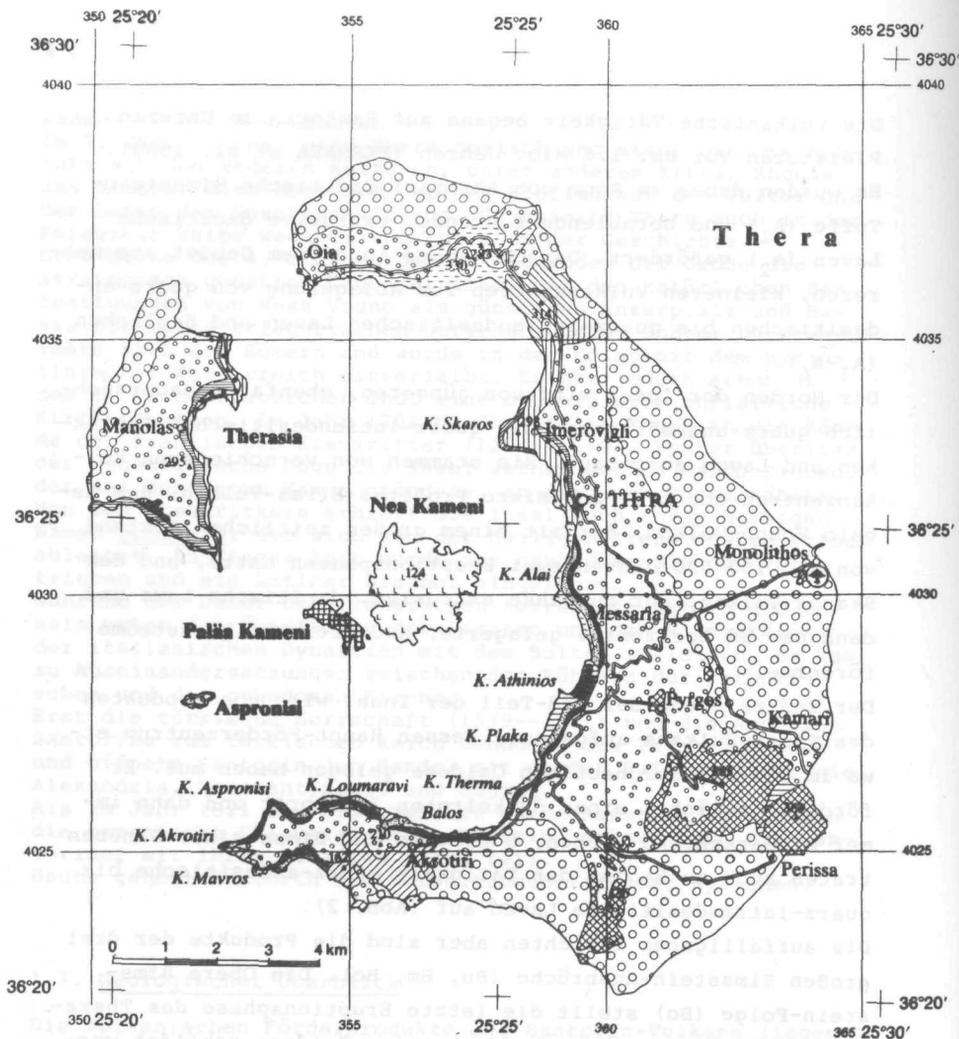
Die vulkanische Tätigkeit begann auf Santorin im Unteren Pleistozän vor ca. 1.6 Mio. Jahren (FERRARA et al. 1980). Es wurden dabei im Raum von Akrotiri dacitische Bimssteintuffe ( $A_1$ ) und hornblende-führende, extrusive dacitische Laven ( $A_2$ ) gefördert. Danach kam es in diesem Gebiet aus mehreren, kleineren Vulkanzentren zur Ablagerung von quarz-andesitischen bis quarz-latiandesitischen Laven und Schlacken ( $A_3$ - $A_6$ ).

Der Norden der Insel wird von jüngeren, ebenfalls hauptsächlich quarz-andesitischen bis quarz-latiandesitischen Schlacken und Laven aufgebaut. Sie stammen von verschiedenen Vulkanzentren ab, z.B. dem Mikro Profitas Elias-Vulkan, dem Megalo Vouno-Vulkan, der mit einem großen zeitlichen Abstand von ca. 100 000 Jahren zwei Eruptionsphasen hatte, und dem Skaros-Vulkan, der zunächst extrusive, dacitische Lava und dann ca. 30 horizontal gelagerte, andesitische Lavaströme förderte.

Der zentrale und der Süd-Teil der Insel wird von Produkten des Thera-Vulkans aufgebaut, dessen Haupt-Förderzentrum etwa im Zentrum der heutigen Caldera gelegen haben muß. Er förderte zunächst einen dunkelroten Ignimbrit und dann immer wiederkehrend Aschen, Schlacken und Bimssteine. Daneben traten auch zu Beginn der Tätigkeit quarz-andesitische bis quarz-latiandesitische Laven auf (Abb. 2).

Die auffälligsten Schichten aber sind die Produkte der drei großen Bimsstein-Ausbrüche (Bu, Bm, Bo). Die Obere Bimsstein-Folge (Bo) stellt die letzte Eruptionsphase des Thera-Vulkans dar, wodurch auch die heutige Caldera gebildet wurde. Bei diesem paroxysmalen Ausbruch wurden die Bimssteine auf der gesamten Insel abgelagert, zerstörten so, etwa 1450 v. Chr., die Minoischen Siedlungen auf Santorin und bedeckten diese vollständig. Im Raum von Akrotiri werden die Siedlungen heute von griechischen Archäologen (Leitung: Chr. Doumas) ausgegraben.

Nach diesem bedeutenden Ereignis verhielt sich der Vulkan ca. 1250 Jahre lang ruhig, bis es um 197 v. Chr., etwa im Zentrum der Caldera zur Förderung quarz-latiandesitischer Laven kam, die die Insel Paläa Kameni bildeten.



## LEGENDE

## Kameni - Inseln

- Laven von Nea Kameni
- Lava von Palia Kameni

## Nord - Thera und Therasia

- Obere rote und schwarze Wurfslacken (Sc)
- Laven und Schlacken des Megalo Vouno - Vulkans
- Laven und Schlacken des M. P. Elias - Vulkans
- Laven des Skaros - Vulkans (S<sub>2</sub>) u. Mittlere Lava v. Therasia (TH<sub>2</sub>)
- Untere Lava des Skaros - Vulkans (S<sub>1</sub>)

## Thera - Vulkan

- Aufgearbeitetes Bo-Material
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)
- Extrusive Laven (T<sub>6</sub> und TH<sub>3</sub>)
- Aschen, Schlacken und Bimssteine (T<sub>5/2</sub>, Bm, T<sub>5/3</sub>)
- Ignimbrit (T<sub>4</sub>)
- Untere Bimsstein-Folge (Bu)
- Ignimbrit (T<sub>1</sub>), pyroclastic flows (T<sub>2</sub>) u. Lava (T<sub>3</sub>)

## Akrotiri - Vulkan

- Laven und Schlacken (A<sub>3</sub>-A<sub>6</sub>)
- Bimsstein-Tuff (A<sub>1</sub>) und Lava (A<sub>2</sub>)

## Grundgebirge

- Phyllit (Te)
- Kalkstein und Marmor (Tr)

Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte von Santorin (umgezeichnet nach GÜNTHER 1972, Beil. 1)

Etwa 1700 Jahre später (1570 n. Chr.) entstand aus dacitischen bis ebenfalls quarz-latiandesitischen Laven die Insel Mikra Kameni. Weitere 150 Jahre danach flammte die Vulkan-tätigkeit erneut auf und Nea Kameni begann sich zu bilden. Nea Kameni ist der jüngste noch tätige Vulkan des östlichen Mittelmeeres. Er entstand am 23. Mai 1707. Der Augenzeugen-bericht eines Jesuiten-Paters schildert seinen Werdegang recht plastisch (in LEONHARD 1844: 342--343):

"Am 23., bei Sonnen-Aufgang sah man, zwischen Paläa und Mikra Kaimeni, einen Gegenstand, welcher für das Wrack eines gestrandeten Schiffes gehalten wurde. Matrosen verfügten sich zur Stelle und erzählten, bei ihrer Rückkunft, den nicht wenig erstaunten Bewohnern Santorins: an einem Orte, wo das Meer zuvor bei hundert Faden Tiefe gehabt, sey ein gewaltiger Felsen den Fluthen entstiegen. Die neue Insel, welche augenfällig höher und höher emportrat, wurde den 24. Mai besucht; Austern und andere Meeresgeschöpfe hafteten noch an den erst neuerdings emporgehobenen Felsen. Bis zum 17. Junius nahm das Eiland an Ausdehnung und Höhe zu; das Wasser welches von Anfang des Phänomens sich unruhig gezeigt hatte, erreichte beinahe den Siedepunkt; Fische wurden in Menge getötet; nur mit großer Gefahr konnte man in Barken der Insel nahen, denn das Pech schmolz aus den Fugen: siebzehn schwarze Felsen waren indessen zwischen Neo- und Microkaimeni aufgetaucht. Den 18. Junius erfolgten Rauch-Ausströmungen, auch war unterirdisches Tosen hörbar; und schon am nächsten Tag hatten sich sämtliche schwarzen Felsen vereinigt, es bildeten dieselben eine Insel, von der ersten vollkommen abgesondert; Flammen, Aschen-Säulen, stiegen empor, glühende Steine wurden weithin geschleudert. Bis zum 23. Mai 1708 hielten diese Eruptions-Erscheinungen an; die "schwarze Insel" hatte fünf Meilen im Umfang und mehrere Fuß Höhe. Nun wurden die Ausbrüche seltener, ohne jedoch an Heftigkeit nachzulassen; der letzte trat am 14. September 1711 ein, weit länger aber dauerte die innere Gluth; denn noch im September 1712 entwickelte der Kegelberg, nach starken Regengüssen, vielen Dampf."

Es folgten weitere Ausbrüche, die dacitische bis quarz-latiandesitische Laven förderten (1866--1870, hierbei wuchsen Mikra und Nea Kameni zusammen, 1925/26, 1939/40, 1940/41), bis es 1950 zum bisher letzten, kleinen Ausbruch kam. Seither befindet sich der Vulkan im Fumarolen-Stadium.

#### 1.4. Überblick über bisherige Arbeiten

In der folgenden Übersicht ist ein kurzer Abriß der wichtigsten erdwissenschaftlichen Arbeiten über Santorin zusammengestellt.

Als erster Geowissenschaftler befaßte sich FOUQUE ausführlich mit den Ringinseln von Santorin und den Ausbrüchen auf Nea Kameni von 1866--1870. In seiner 1879 erschienenen Monographie gibt er einen Überblick über die petrographische und chemische Entwicklung der Santorin-Inselgruppe.

Das zweite größere Werk (3 Bände) über Geschichte und geologischen Aufbau Santorins stammt von RECK und Mitarbeitern (1936). Es enthält eine Zusammenfassung aller bis dahin vorliegenden Arbeiten, vor allem aber eigene Untersuchungen auf verschiedenen Gebieten (Geographie, Geologie, Petrochemie) mit umfangreichem Bildmaterial. Dabei muß man besonders die Arbeit von NEUMANN van PADANG (1936, in RECK et al. I) erwähnen, die wesentlich zur Klärung der älteren Vulkanite auf Santorin beitrug.

Von 1936 bis 1965 gab es eine Reihe von Veröffentlichungen, vornehmlich griechischer, aber auch deutscher Geowissenschaftler. Sie behandeln jedoch fast ausschließlich die jungen Laven von Paläa und Nea Kameni oder die Obere Bimsstein-Folge (Bo) von Thera.

Erst in der Folgezeit wurde die Fragestellung der petrographischen und geochemischen Entwicklung auch der anderen Serien Santorins neu bearbeitet. Die umfangreichsten Untersuchungen sind die von PICHLER & STENGELIN (1968), NICHOLLS (1971b), KUSSMAUL (1971), PICHLER & KUSSMAUL (1972) und GÜNTHER (1972). 1980 erschien von PICHLER & KUSSMAUL auch eine neue, detaillierte geologische Karte im Maßstab 1: 20 000 mit Erläuterungen. Ältere Kartenwerke stammen von FOUQUÉ 1879 (1: 96 000), PHILIPPSON 1899 (1: 80 000) und von RECK et al. 1936 (1: 80 000).

Ein ausführlicher Überblick über die Arbeiten dieses Zeitraumes bis 1971 gibt KUSSMAUL (1971) in seiner Dissertationsarbeit.

In den nächsten 10 Jahren wuchs das Interesse an der Vulkan-

insel Santorin, besonders da archäologische Funde minoischer Siedlungen unter der jüngsten Bimsstein-Bedeckung gemacht worden waren.

1969 und 1978 fanden zwei Kongresse über Santorin statt, bei denen die neusten Untersuchungsergebnisse auf dem Gebiet der Archäologie, Paläontologie, Geologie, Petrographie und Geochemie vorgestellt wurden. Wiederum waren in der Hauptsache die Laven der Kameni-Inseln und der jüngste Bimsstein-Ausbruch (Bo) mit seinen Auswirkungen Gegenstand der Untersuchungen (BOND & SPARKS 1976, VITALIANO et al. 1978, SPARKS 1979, PICHLER & SCHIERING 1980).

Von PICHLER (1973), DOUMAS (1974), THORARINSSON (1978), PICHLER & FRIEDRICH (1980) und DRUITT & SPARKS (1982) stammen spezielle Veröffentlichungen über die Art der Ablagerung und den Mechanismus der Bo-Eruption.

Dagegen gibt es nur sehr wenige Arbeiten, die sich mit den älteren, pyroklastischen Schicht-Folgen, besonders den Unteren und Mittleren Bimsstein-Folgen beschäftigen. Als erster hat sich GÜNTHER (1972) in seiner Dissertation ausführlich mit der Petrographie und Geochemie der pyroklastischen Serien befaßt (s.a. Kap. 2).

Weitere petrochemische Daten auch der Unteren Bimssteine lieferten PUCHELT & SCHOCK (1972) und GÜNTHER & PICHLER (1973). Letztere stellten die außergewöhnliche Ähnlichkeit der Unteren und der Oberen Bimsstein-Folgen fest, die sich in der nahezu übereinstimmenden Petrographie und Geochemie widerspiegelt, was auf eine sehr verwandte Entstehungsgeschichte schließen läßt.

Erste Alterseinstufungen der vulkanischen Gesteine Santorins stammen von FRIEDRICH & PICHLER (1976) und FRIEDRICH (1978 u. 1980), die inkohlte Pflanzenreste aus verschiedenen Horizonten der  $T_{5/3}$ -Schichten (s.a. Kap. 2.5.) anhand von  $^{14}C$ -Bestimmungen datierten. Für die ältesten Laven (Akrotiri I) geben FERRARA et al. (1980) ein K/Ar-Alter von 1.6 Mio. Jahren an. SEWARD et al. (1980) datierten die ältesten subaerischen Ablagerungen (Akrotiri-I-Tuffe) sowie die Untere Bimsstein-Folge (Bu) anhand von Spaltspuren-Untersuchungen von Zirkonen bzw. Obsidianen. Danach haben die Tuffe ein Alter von

1 Mio. Jahre und der Bu ein Alter von 100 000 Jahren. Schließlich waren die Magmengenese und die tektonische Stellung Santorins in der Ägäis Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, die NICHOLLS (1971a), PICHLER et al. (1972), PUCHELT (1978), KELLER (1982), BARTON et al. (1983) und MANN (1983) vorgenommen haben (s. Kap. V). Dazu gehören auch die Arbeiten von BRIQUEU & LANCELOT (1982) und von BARTON & HUIJSMANS (1984), die sich speziell mit der Magmenherkunft der Kameninseln befaßten.

Als letztes seien die Veröffentlichungen von KELLER (1971, 1972, 1978, 1981), HOOD (1978), CITA & RYAN (1978), WATKINS et al. (1978) und von FEDERMANN & CAREY (1980) erwähnt. Sie versuchten verschiedene Asche- und Bimsstein-Proben aus Tiefsee-Bohrkernen mit pyroklastischen Serien auf Santorin zu korrelieren.

#### 1.5. Aufgabenstellung und Arbeitsmethoden

Trotz der oben angeführten zahlreichen Untersuchungen fehlen bisher detaillierte Arbeiten über die älteren pyroklastischen Schichten.

Das Thema dieser Arbeit war zunächst eine genaue Bearbeitung der Unteren und der Mittleren Bimsstein-Folge (Bu und Bm). Im Gelände zeigte es sich aber, daß es notwendig war, auch die zwischengeschalteten Pyroklastika des Thera-Vulkans mit zu berücksichtigen, die bisher nur als undifferenzierte Schichten ( $T_5$ ) zusammengefaßt worden waren.

Bei zwei Geländeaufenthalten (1983 und 1984) wurden insgesamt 14 detaillierte Profile mit der gesamten Schichtenfolge des Thera-Vulkans aufgenommen, um einen besseren Ein- und Überblick über Ablagerungsbedingungen, Ausbruchsmechanismen, sowie die Lage der einzelnen Eruptionszentren und die Genese zu erhalten. Die genaue Kenntnis der vulkanischen Folgen erlaubt dann eine viel detailliertere Aussage über die Vulkan-Geschichte. Zusätzlich sollte die geochemische Entwicklung des Thera-Vulkans untersucht und der Zusammensetzung der anderen vulkanischen Serien Santorins gegenübergestellt werden.

## Arbeitsmethoden

Die verwendeten Bezeichnungen und Abkürzungen der einzelnen Schichtglieder wurden aus der geologischen Karte von PICHLER & KUSSMAUL (1980) übernommen, die gleichzeitig als Grundlage bei der Kartierung diente.

Die undifferenzierten Pyroklastika ( $T_5$ ) wurden nach ihrer stratigraphischen Position mit den Ziffern 1--3 (von unten nach oben) neu gekennzeichnet.

Im Zentral- und Südteil der Insel entlang der Caldera-Wände von der Skaros-Bastion bis Akrotiri wurden 13 Profile aufgenommen, mit einem möglichst geringen lateralen Abstand. Das 14. Profil stammt aus dem Nordteil Theras bei Oia, der einzigen Stelle, an der die pyroklastischen Schichten nördlich der Skaros-Bastion auftreten (Abb. 3).

Die Profilaufnahme umfaßt eine detaillierte megaskopische Beschreibung der Schichten, wobei vor allem auf Sedimentstrukturen, Korngröße, Fossilinhalt (Pflanzenreste) und Lagerungsverhältnisse, sowie auf eventuelle Besonderheiten in der Ablagerung geachtet wurde.

Von dem umfangreichen Probenmaterial sind im Mineralogischen Institut Tübingen von repräsentativen Gesteinen Dünnschliffe angefertigt und mit Hilfe des Polarisationsmikroskops auf den Mineralinhalt, das Gefüge und grob auf den Anorthit-Gehalt der Plagioklase untersucht worden. Der modale Mineralbestand und die Porosität der Bimssteine und Schlacken konnte mittels des Point-Counter-Verfahrens festgestellt werden.

Einige Aschen-Proben wurden auf ihren möglichen Gehalt an Pflanzenfossilien (Pollen, Sporen) hin überprüft.

Von einem auf der gesamten Insel auftretenden Asche-Horizont (Kap. 2.5.) sind Korngrößen-Analysen durchgeführt worden, die als Grundlage zur Erstellung einer Isolinien-Karte dienen.

Des Weiteren wurden Dichte-Bestimmungen und Bestimmungen der Lichtbrechung an Bimsstein- und Schlackengläsern angefertigt. Die einzelnen Untersuchungsmethoden sind in den jeweiligen Abschnitten des Kap. 2.2. kurz erläutert. Mit Hilfe der Lichtbrechung und der Dichte wurde eine Gliederung der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) versucht. In den übrigen Schichten sind

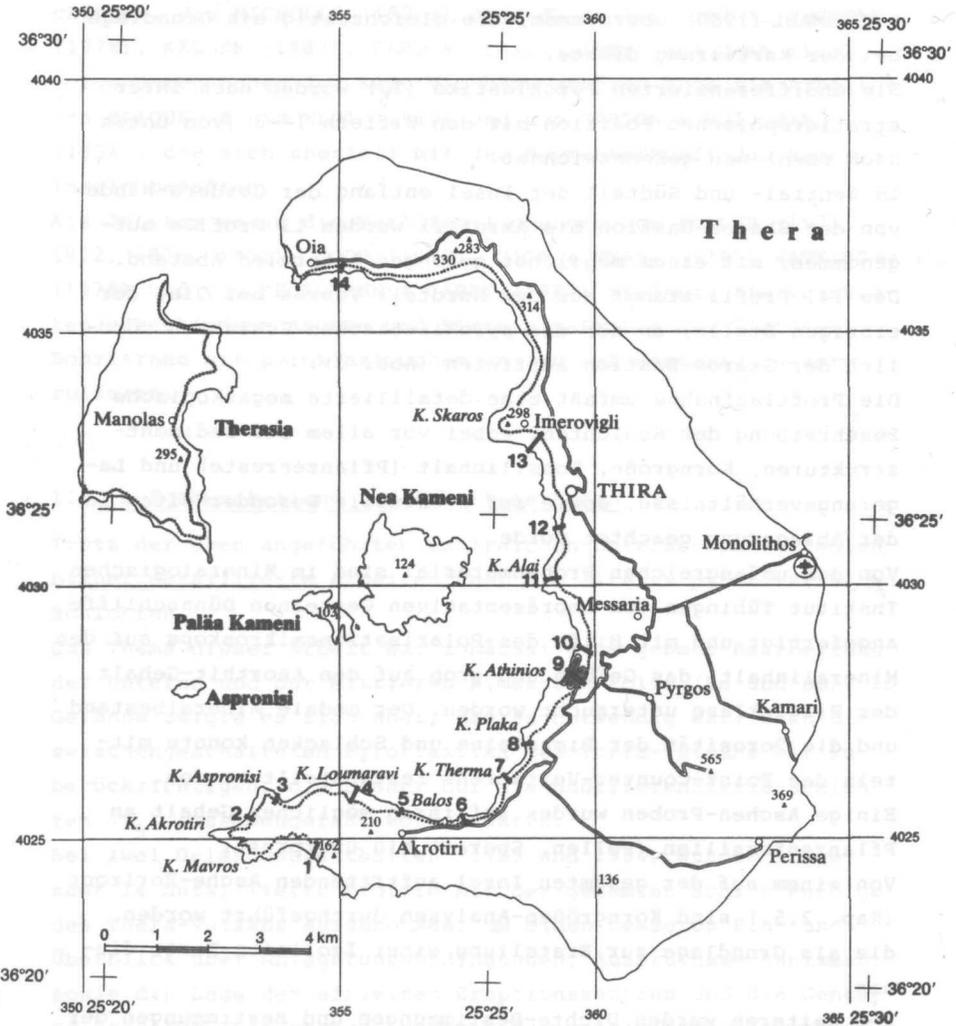


Abb. 3: Lage der Profile 1--14 auf Thera

mit Ausnahme der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm) nur punktuelle Untersuchungen erfolgt.

Um die einzelnen Schicht-Folgen auch chemisch genauer ein-stufen zu können, sind ca. 120 Proben im Geochemischen Zentral-Labor Tübingen mit der Röntgenfluoreszenz-Methode analysiert worden. Diese Analysen-Daten der Haupt- und Spurenelemente sind nach der CIPW- und der RITTMANN-Norm berechnet und in Diagramme eingetragen und ausgewertet.

Es konnten sechs neue Seltene Erden-Analysen erstellt werden. Die Einteilung der pyroklastischen Ablagerungen beruht auf der Zusammenfassung einer Vielzahl unterschiedlicher, schon vorhandener Klassifikationen, verknüpft mit den eigenen Beobachtungen und Erfahrungen im Gelände und im Labor (s. Kap. 1.6.).

#### 1.6. Klassifikation und Terminologie der pyroklastischen Gesteine und deren Ablagerungen

Um eine Definition der einzelnen Termini zu erhalten, die mit den eigenen Beobachtungen im Gelände möglichst gut übereinstimmen, wurden Klassifikationen verschiedener Autoren miteinander verknüpft und einige Begriffe enger gefaßt bzw. neu definiert, und so eine deutliche Abgrenzung gegenüber ähnlichen Termini erreicht. Es schien auch sinnvoller, die überwiegend englischen Begriffe teils unübersetzt beizubehalten, da sie sich schon weitgehend eingebürgert haben und oft auch kürzer und prägnanter sind als die umschreibenden deutschen Begriffe. Im Folgenden werden die im Text verwendeten Termini aufgeführt und stichwortartig erläutert.

##### A Pyroklastische Fragmente (pyroclasts)

Kristall-, Glas- und Gesteinsfragmente : Sie entstehen bei der Eruption als direktes Resultat explosiver vulkanischer Tätigkeit, sind aber "Ohne Bezug zur Ursache der Eruption oder der Entstehung der Partikel" (SCHMID 1981).

Dazu gehören :

a) hydroklast. Fragm. : Sie entstehen am Kontakt Magma/Was-

ser bei phreatomagmat. Eruptionen oder durch rasches Abkühlen und mechanische Zerkleinerung von Lava, die mit Wasser oder  $H_2O$ -gesättigten Sedimenten in Kontakt kommt ( $\leftrightarrow$  autokl. Frag.)

- b) autoklast. Fragm. : Sie entstehen durch die mechanische Reibung bei der Bewegung oder der gasreichen Eruption des Magmas, aber auch beim Zusammenstoß von Förderschloten, Lava-Domen o.ä.
- c) epiklast. Fragm. : Umgewandelte, verwitterte ältere pyroklastische Fragmente.

Als Überbegriff wird verwendet :

Vulkanoklast. Fragm. : Klastisches, vulkanisches Material aller Art, das durch irgendwelche Prozesse der Fragmentierung gebildet wird; die Fragmente können auch vermischt mit nicht-vulkanischen Komponenten sein.

B 1. Einteilung der pyroklastischen Komponenten nach der Korngröße (nach FISHER 1961 und SCHMID 1981)

Korngröße mm	pyrokl. Komponenten	pyrokl. Ablagerungen	
		unverfestigt	verfestigt
64	Bomben, Blöcke	Agglomerat Bomben/Block- Tephra	Agglomerat pyroklast. Breccie
		Schichten von Lapilli, La- pilli-Tephra	Lapilli Tuff
2	grobkörn. Asche- Partikel	grobk. Asche	grobk. Asche-Tuff
			feink. Asche (Staubteilchen)
0,06			

## 2. Einteilung nach Art und Anteil der pyrokl. Komponenten

Tuffit : Mischung aus pyrokl. und epiklast. Komponenten  
( < 75 Vol.% Pyrokl., > 25 Vol.% Epikl., SCHMID  
1981)

Lapilli-Asche : Mischung aus Asche und Lapilli (Asche >  
Lapilli); Lapilli eckig bis kantengerundet  
(angular bis subrounded)

Pisolithe : Lapilli-große Kügelchen aus Asche, meist  
(accretionary konzentrisch aufgebaut, gebildet als  
lapilli) feuchte Aggregate von Asche in einer Erup-  
tionswolke, z.B. durch Regen oder bei phreat.  
Eruptionen; sie haben oft einen festen Kern  
(z.B. Kristall-, Bimsstein- oder Gesteinsfrag-  
ment), um den sich die Ascheteilchen legen  
(= amored lapilli von WATERS & FISHER 1971)

Blöcke : Meist eckige bis kantengerundete Komponenten, in  
festem Zustand ausgeworfen, sie können aus dem  
Vulkan selbst (authigene Lavabl.) oder aus dem  
Grundgebirge bzw. Nebengestein stammen

Vulk. Breccie : Verfestigtes Aggregat aus eckigen Blöcken,  
das weniger als 25% Lapilli und Asche enthält  
(FISHER 1966)

Bomben : Lavafetzen, die teilweise flüssig ausgeworfen  
werden, im Flug durch Rotation bestimmte For-  
men annehmen und erstarrt zu Boden fallen;  
sie können auch durch den Aufprall verändert  
werden, falls sie noch plastisch sind.  
Nach RITTMANN (1981) unterscheidet man :

Kugelförmige Bomben (spheroidal bombs)

Spindelförmige Bomben (spindle bombs)

Fladenförmige Bomben (cow dung bombs)

Gebänderte Bomben (ribbon bombs)

Brotkrustenbomben (bread crust bombs) = aus  
zähflüssigem Magma, durch andauernde Gasexpan-  
sion der noch plastischen Kerne entstanden

Blumenkohl-Bomben (cauliflower bombs) = dichte  
bis plastisches Inneres, charakteristisch  
für hydroklast. Prozesse

Agglomerat : Verfestigtes Gestein aus vorherrschend ge-  
rundeten pyroklastischen Komponenten > 64 mm  
(WENTWORTH & WILLIAMS 1932)

Wurfschlacke : Im Flug erstarrte, mäßig aufgeblähte Mag-  
mafetzen aus dünnflüssigem Magma, meist un-

regelmäßig zackig-eckige Bruchstücke (RITTMANN 1981)

Schweißschlacke : Noch flüssig herabfallende und beim (spatter) Aufprall verschweißte Fragmente aus dünnflüssiger Schmelze, meist fladenartig ausgezogen ("bouse de vache")

Bimsstein : Generell weiß bis hellgrau, selten dunkelgrau (pumice) bis braun, hochblasige, glasig erstarrte Magmafetzen aus zähflüssigem saurem Magma; Verformung und Auslängung der Blasen entstehen während der Entgasung, des Auswurfes und der Fließbewegung, wobei die kleinsten Teilchen zu rundlichen Formen neigen

### C. Ablagerungstypen

#### 1. Pyroclastic fall

Entstehung u. : Entsteht beim explosiven Ausbruch aus dem Schlot in die Atmosphäre,  
 Verbreitung : findet sich bis zu größerer Entfernung vom Schlot, besitzt in Schlotnähe annähernd gleichmäßige Mächtigkeit; kreis- bis fächerförmige Verbreitung bei gerichtetem Wind

Struktur : Zeichnet die Topographie nach ("mantle bedding", WRIGHT et al. 1980), Schichten keilen an steilen Erhebungen und Oberflächenunregelmäßigkeiten aus

Textur : Meist ungeordnet, nur zufällige Orientierung der Gefügeelemente (= "isotropic", FISHER & SCHMINCKE 1984), eingeregelt sind nur längliche Minerale (z.B. Biotit, Hornblende etc.) und plattige Glasscherben, deutliche interne Schichtung, gut bis mäßig sortiert, INMAN-Parameter ( $\phi$ ) = 1--2, Block-Einschlag-Strukturen, die Korngröße nimmt radial vom Schlot weg ab, und zwar in den ersten 2 km stark, dann kontinuierlich (WALKER & CROASDALE 1971, SELF 1976), mittlerer Korngrößendurchmesser in der Nähe des Schlotes 2--8 mm, weiter weg 1--0,13 mm

Zusammensetzung : jeglicher Zusammensetzung, saures und intermediäres Material ist jedoch häufiger

1. a) Pumice fall

besteht überwiegend (55--95%) aus Bimssteinen  
sonst gilt dasselbe wie für den pyroclastic fall (s.o.)

2. Pyroclastic flow

Entstehung u. : "Vulkanisch entstandenes, heißes, gasreiches,  
Verbreitung hochkonzentriertes Gas-Feststoff-Gemisch"  
(WALKER 1981b)

1. PERRET (1937): durch seitliche Sprengung eines Schlot es oder Domes entstanden,
2. TAYLOR (1958): durch Überkochen eines gasreichen Magmas aus dem offenen Schlot entstanden,
3. ROSE et al. (1977): durch explosive Eruption an der Front eines lava flows entstanden,
4. SPARKS et al. (1978): durch Schwere-Einbruch einer überladenen, vertikalen Eruptionssäule entstanden

vertikale Verbreitung, keilförmig in Richtung des Transportes,  
Täler und Depressionen füllend,  
ebene Oberfläche, Unterfläche folgt der Topographie bzw. der unterlagernden Schicht,  
kann hohe Hindernisse überwinden (bis zu 600 m in Japan, YOKOYAMA 1974),  
erreicht Geschwindigkeiten von 14 km/h (TSUYA 1930) bis 230 km/h (MOORE & MELSON 1969)

Struktur : flow unit = ein einzelner pyroclastic flow,  
Grenze zwischen den einzelnen Einheiten (units) ist gekennzeichnet durch :  
Wechsel der Korngröße, des Gefüges, des Gehalts an Bimssteinlapilli oder Blöcken etc.,  
Mächtigkeit reicht von einigen cm bis mehreren 10er m, unregelmäßige Mächtigkeits-Unterschiede vom Schlot weg,  
durch den Sortierungsprozeß während des Fließens kann es an der Basis eines flows oft zur Konzentration von Kristall- und Gesteinskomponenten kommen,  
basale Zone kann auch gradiert sein (normal oder invers)

Textur : Schlechte Sortierung, INMAN-Parameter  $> 2$ ,  
Sortierung und Korngröße nimmt mit der Transportlänge ab,  
chaotische Lagerung  
z.T. "coarse-tail grading" (SPARKS 1976)  
keine Internschichtung

natürliche Orientierung der länglichen Partikel, abgeplattete Komponenten sind entweder parallel der Abkühlungsfläche orientiert oder schuppenartig übereinander gelagert ("imbricate", MIMURA & MACLEOD 1978)

Zusammensetzung : jeglicher Art

### 2.1. Spezielle Ausbildungsformen eines pyroclastic flow

- a) Ash flow : Mehr als 50% der Komponenten liegen in Aschegröße ( $< 2$  mm) vor, meist Glas und wenige Bimssteinfragmente (mit runden oder langgezogenen Bläschen von wenigen  $\mu\text{m}$  bis mm Länge)  
5% Gesteinskomponenten
- b) Ash cloud deposit : Überlagert einen pyroclastic flow, reicht auch über dessen Ränder hinaus
- durch Abschlämmung am Top des sich bewegenden pyroclastic flow entstanden,
  - durch Schwereretrennung des grobkörnigen vom feinkörnigen Material während des Fließens entstanden
- (auch ash cloud surge, nach WRIGHT et al. 1980)
- c) Pyroclastic surge : Laterale Bewegung, größte Mächtigkeit in Depressionen, wird an Talrändern gestaut und ausgedünnt, Mächtigkeits- und Korngrößenabnahme generell vom Schlot weg,
- vergleichbar mit dem ash hurricane von TAYLOR (1958)
  - kann sich an den Rändern einer kollabierenden Eruptionssäule entwickeln (FISHER 1979),
  - durch extreme Turbulenzen an der Basis eines flows entstanden, wenn sich Luft an der Front eines flows "eingefangen" hat (WILSON & WALKER 1981),
- Kreuzschichtung, dune and antidune-Schichtung, pinch and swell-Strukturen, mäßig sortiert, meist feinkörnig
- d) Ground surge : Unterlagert einen pyroclastic flow,
- durch Eruptionen, die einem pyroclastic flow vorangehen entstanden,
  - aus Eruptionssäulen-Einbrüchen entstanden,
  - durch Mitnahme von Luft an der Front eines pyroclastic flow entstanden (s.o. c) 3.),

4. durch Fließprozesse im turbulenten "Kopf" eines pyroclastic flow entstanden (SMITH et al. 1981),

meist weniger als 1 m mächtig,  
pinch- and swell-Strukturen, Kreuzschichtung,  
erodiert die Unterfläche (WRIGHT et al. 1980)

3. Base surge : (nach BRINKLEY et al. 1950, Bikini-Atoll, S-Pazifik)

Gehört eigentlich zu den pyroclastic surges, wird aber wegen der typischen Ausbildungsform und den meist großen Mächtigkeiten getrennt aufgeführt.

Entstehung u. : Entsteht an der Basis heftiger, vertikal gerichteter Eruptionen von meist phreatischer u. phreatomagmatischer Natur (PICHLER 1973), beim Auswurf legt sich ein dünner Wasserfilm um die einzelnen Partikel, so daß sie besser zusammenhängen und sich bei der Deformation plastisch verhalten, horizontale, ringförmige Bewegung vom Eruptions-Zentrum weg, wirkt zunächst erodierend

Struktur : Schwach geneigte Schrägschichtung, abrupte Übergänge von Schichten gröberer und feinerer Komponenten, vor allem dune und antidune-Schichtung, Kreuzschichtung

Oberflächenstrukturen :

1. Schichtungsmulden (bedding sags), asymmetrische Deformation zeigt Richtung und Winkel des Einschlags an (WENTWORTH 1926),
2. "Wulstfaltung" (convolute bedding),
3. Belastungsmarken (load casts),
4. Trockenrisse (mud cracks) in der Oberfläche von hydrokl. Ablagerungen (LORENZ 1974),
5. Rillen

U-shaped channels = symmetrisch im Querschnitt, diskordant auflagernd, am Tiefpunkt am mächtigsten, daher keine Verwechslung mit pyroclastic falls

Textur : Schlecht sortiert, vulkanische Komponenten haben meist weniger als 10 cm Durchmesser wegen der hohen Fragmentierung bei der "Wasser-Magma-Interaktion" (WRIGHT et al. 1980)

(nuée ardente = heiße, trockene flows)

#### 4. Ignimbrit

Entstehung u. Verbreitung : Der Begriff wurde von MARSHALL (1935) geprägt, der damit die auf Neuseeland riesige Flächen bedeckenden, kompakten vulkanischen "Glutwolkengesteine" bezeichnete, die seiner Meinung nach das Produkt gewaltiger Feuerregen von glühenden Aschen und Lapilli waren.

Nach heutiger Auffassung (PICHLER 1963, RAST 1980, RITTMANN 1981) entstehen sie ähnlich den überquellenden Glutwolken. Das heißt, beim Aufstieg wird durch die Entgasung eine Volumenzunahme erreicht, wobei die Ausdehnung erst relativ oberflächennah geschieht. Die Gasbläschen können sich so langsam ausdehnen bis sie explosionslos in kleinste Lava- und Bimssteinsplitter zerreißen. Die heiße Gas-Teilchen-Suspension quillt über, die hohe Temperatur bleibt dabei meist erhalten, so daß es zum Verschweißen der Schicht kommen kann.

Die Eruptionen können nach Untersuchungen von WRIGHT et al. (1980) auch aus dem zentralen Schlot kommen, nicht nur aus Spalten, deckenartige Ausdehnung, kann Reliefs ausfüllen

Struktur : Es wird unterschieden:

1. der unverschweißte Ignimbrit (nonwelded), gering bis nicht verschweißt (auch "nonwelded tuff" von ROSS & SMITH 1961)
2. der verschweißte Ignimbrit (welded) (auch "welded tuff" von IDDINGS 1909)

WRIGHT et al. (1980) unterscheiden den low-grade ignimbrite, der nur sehr gering verschweißt ist und den high-grade ignimbrite, der gut entwickelte Zonen hoher Verschweißung aufweist,

Ignimbrite können nach oben und zu den Rändern hin allmählich in poröse, schwach verschweißte Aschen- und Bimsstein-Tuffe übergehen

Textur : Außen unregelmäßig, laminierte Lagentextur, da das Innere meist noch heiß bleibt und so durch die Auflast die Bimsstein- und Kristallfetzen eingeregelt und ausgelägt werden können (= auch Pseudofluidalgefüge genannt)

Zusammensetzung : Saure bis intermediäre, gasreiche Förderprodukte

Den Begriff "Ignimbrit" für alle Ablagerungen zu benutzen, die "bei der Platznahme eines pyroclastic flow gebildet wer-

den" (z.B. bei SPARKS et al. 1973, FISHER & SCHMINCKE 1984) lehnt die Autorin ab, da ihrer Meinung nach der "eigentliche" Ignimbrit ein charakteristisches, unverwechselbares Gefüge besitzt.

#### D. Ablagerungen aus Schlammströmen bzw. Lahare

Entstehung : Blockreiches, vulkanisches Material mit einer Grundmasse von tuffähnlichem Aussehen, das durch Wasser mobilisiert zur Ablagerung gelangt, oft durch eine vulkanische Explosion ausgelöst, kann aber auch ohne unmittelbare vulkanische Aktivität entstehen (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977, WRIGHT et al. 1980), die Mobilisation kann durch verschiedene Ursachen ausgelöst werden :

1. Durch Regen, der das Lockermaterial an den Vulkanhängen zum Fließen bringt (RITTMANN 1981),
2. durch Tephra, die bei der Eruption einen Kratersee durchschlägt und so als Wasser-Tephra-Gemisch über die Ränder fließt (ROSS & SMITH 1961),
3. beim Eintreten von pyroclastic flows in Flüsse oder Seen (ROSS & SMITH 1961),
4. durch Abschmelzen von Eis (z.B. Nevado del Ruiz, Kolumbien 1985)

Verbreitung : Folgen vorgezeichneten Tälern, wobei sie meist an steilen Hängen ausdünnen, während des Weges ins Tal, da wo eine Einschnürung momentan einen großen Stau verursacht, hinterläßt der Lahar "Hochwassermarken" (CRANDELL 1971)

Textur : Extrem schlecht sortiert, normale und inverse Gradierung,  
große Mengen asche-großer Partikel,  
kein erosiver, basaler Kontakt,  
oft feinkörnig an der Basis

Komponenten : Monolithisch = direkt von der Eruption  
heterolithisch = vom Zusammenbruch der Kraterwände oder aus dem Schutt, der von der Oberfläche mitgenommen wurde,  
eckige bis kantengerundete Komponenten von Block-Größe,  
auch gekritzte Komponenten

## II. PETROGRAPHIE, PETROCHEMIE und STRATIGRAPHIE

### Die pyroklastischen Serien auf Santorin

Das Thema dieser Arbeit umfaßt ausschließlich die vulkanischen Förderprodukte des Thera-Vulkans, die den gesamten Zentral- und Südteil der Hauptinsel Thera aufbauen.

Die wenigen Pyroklastika - außer in dem Profil bei Oia -, die im Nordteil der Insel zwischen den Laven auftreten, stammen aus anderen Förderzentren und wurden bereits von KUSSMAUL (1971) in seiner Dissertation bearbeitet.

Bei den lithologischen Einheiten des Thera-Vulkans handelt es sich neben den drei großen Bimsstein-Ablagerungen (Bu, Bm, Bo s.u.) vorwiegend um pyroklastische Schichten, die jenen zwischengeschaltet sind. Meist sind es Aschen- und Schlacken-Horizonte ( $T_5$ ), daneben treten auch Ignimbrite ( $T_1$ ,  $T_4$ , Ign.) und untergeordnet Laven ( $T_3$  u.  $T_6$ ) auf.

Die pyroklastischen Folgen lassen sich trotz ihrer relativen Gleichförmigkeit anhand von geringmächtigen Leithorizonten deutlich voneinander unterscheiden.

So kann man die Schichten bei der Korrelation der Profile in fünf Hauptzyklen (s.a. Abb. 4) einteilen :

(von oben nach unten)

$T_{5/3}$  = Jüngste pyroklastische Schichten, zwischen der Mittleren und der Oberen Bimsstein-Folge

Bm = Mittlere Bimsstein-Folge

$T_{5/2}$  = pyroklast. Schichten zwischen der Unteren und der Mittleren Bimsstein-Folge

Bu = Untere Bimsstein-Folge

$T_{5/1}$  = Älteste pyroklastische Schichten

Diese fünf Schicht-Folgen werden im Folgenden einzeln lithologisch und petrographisch-petrochemisch beschrieben.

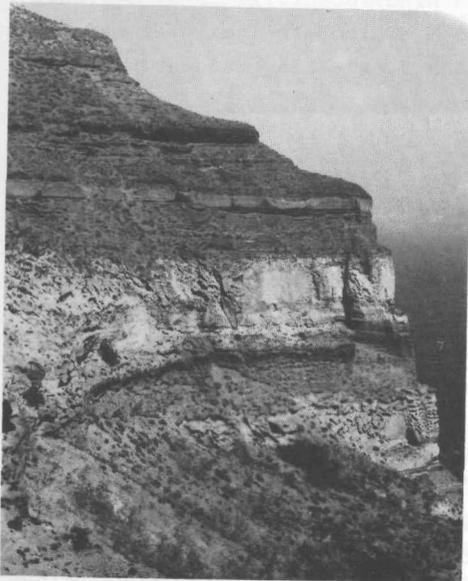
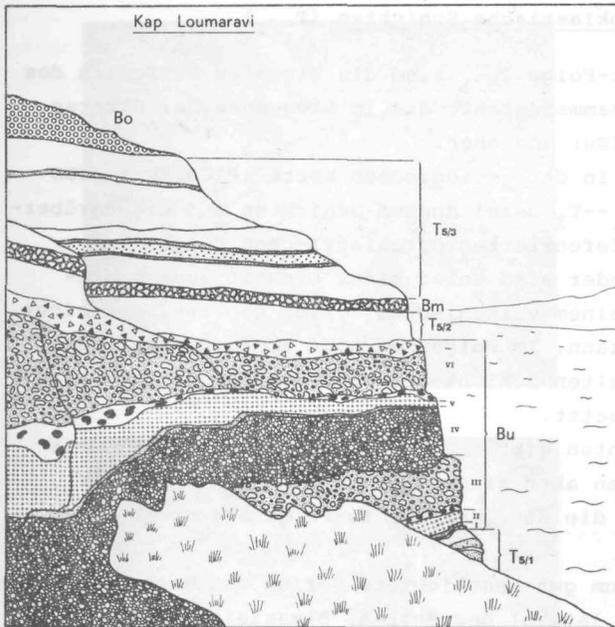


Abb. 4 a, b :

Die fünf Schicht-  
Folgen des Thera-  
Vulkans , Kap Lou-  
maravi

## 2.1. Älteste pyroklastische Schichten ( $T_{5/1}$ )

Unter der Schicht-Folge  $T_{5/1}$  sind die ältesten Schichten des Thera-Vulkans zusammengefaßt, die im Liegenden der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) anstehen.

Dazu gehören die in der geologischen Karte (PICHLER & KUSS-MAUL 1980) mit  $T_1$ -- $T_3$  bezeichneten Schichten und die darüberlagernden, undifferenzierten pyroklastischen Folgen  $T_5$ .

Diese Schichtglieder sind unter einer Einheit zusammengefaßt, da sie zu einem vulkanischen Zyklus gehören, der nicht getrennt werden kann. Im Folgenden sind aber zum besseren Verständnis die alten Schicht-Bezeichnungen in eckigen Klammern dahinter gesetzt.

Aus diesen Schichten gibt es bisher noch keine Altersdatierungen. Sie müssen aber älter als 100 000 Jahre sein, da dieses Alter für die überlagernde Bu-Folge angenommen wird (s. Kap. 2.2.).

Es handelt sich um gut geschichtete Serien von Aschen, Schlacken und wenigen, lateral begrenzten, Bimsstein-Horizonten, die entlang der Caldera-Wände von der Südspitze bei Loumaravi bis Thira aufgeschlossen sind. Ebenfalls lokal begrenzt - von Balos bis Kap Athinios-N - sind ein Ignimbrit und mehrere 'pyroclastic'- und 'ash flow'-Ablagerungen in die Schicht-Folge eingeschaltet.

### 2.1.1. Megaskopische Beschreibung

Die unterste Schicht der  $T_{5/1}$ -Folge besteht aus einer Wechselfolge von graugrünen, mittelkörnigen Aschen und schwarzen Schlackenlapilli [ $T_2^1$ ]. Die Asche ist ungeschichtet, relativ gleichkörnig und zeigt eine weiß-graue Verwitterungsfarbe. Lokal - wie am Kap Plaka - sind in den untersten Aschepartien Pisolithe angereichert (Abb. 5). Das sind meist konzentrisch aufgebaute Aschekügelchen, die gut gerundet und nur z.T. etwas ausgelängt sind. Ihre Größe reicht von 4 mm bis 1,7 cm, wobei der Durchmesser von 8--9 mm am häufigsten auftritt. Eine äußere Ton-"Haut", wie sie z.B. die Pisolithe der  $T_{5/3}$ -Schichten aufweisen, ist nicht ausgebildet.

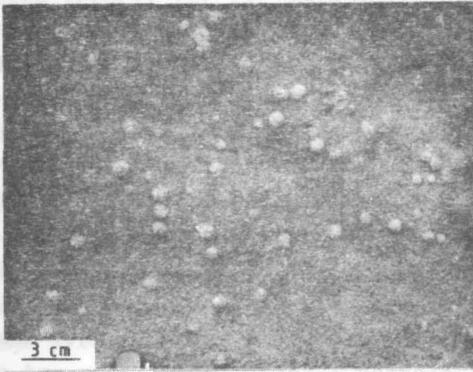


Abb. 5 :

Pisolithe in der  
ältesten Asche-  
Schicht am Kap  
Plaka (Profil 8,  
Schicht 3)

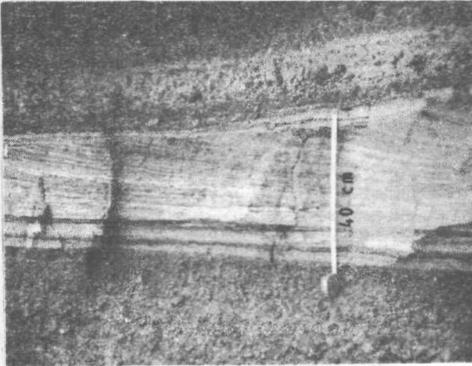


Abb. 6:

Rotorange Aschen,  
laminiert und  
schräggeschichtet,  
im Hangenden von  
einer Erosions-  
diskordanz abge-  
schnitten, Kap  
Athinios-N

Die Pisolithe deuten auf eine subaerische Ablagerung unter feuchten Bedingungen (wahrscheinlich Eruptionsregen) hin. Darüber folgt ein Bimsstein-Horizont  $[T_2^2]$  mit graubeigen Bimssteinlapilli von 0,3--3 cm Durchmesser. Durch die Verwitterung werden die Lapilli orangebraun gefärbt. Sie sind relativ dicht und kleinporig; die einzelnen Lapilli sind z. T. mit einer Asche-Matrix fest verbacken. Der Bimsstein-Horizont hat eine Mächtigkeit von 30--50 cm.

Auflagernd findet sich eine 3--5 m mächtige Schicht grauschwarzer Schlackenlapilli bis -bomben. Die Lapilli haben einen Durchmesser von 0,2--2 cm und gehen nach oben in Schlackenbomben bis zu 10 cm Durchmesser über. Sie liegen in

einer schwarzen aschigen Grundmasse.

Im Süden - bis Balos-E - werden die  $T_{5/1}$ -Schichten mit einem orange-braunen Boden-Horizont von ca. 20--40 cm Mächtigkeit abgeschlossen.

Weiter im Norden - von Kap Plaka-S bis Thira - liegt über den Schlacken eine charakteristisch rotorange gefärbte Folge von feingeschichteten, z.T. laminierten und schräggeschichteten Aschen mit Krusten von Fe-Anreicherungen, die mit roten und schwarzen Schlackenlapilli wechsellagern (Abb. 6). Da sich diese Schicht über mehrere Profile hinweg verfolgen läßt, bildet sie einen ausgezeichneten Leithorizont, anhand dessen sich die  $T_{5/1}$ -Schichten lateral korrelieren und einordnen lassen.

Die Aschen- und Schlacken-Lagen sind Produkte einer Eruptionsphase, wobei der Magmaspiegel tief im Schlot gelegen hat, so daß das gasreiche Magma mit großer Gewalt senkrecht empor geschleudert wurde, und so in kleine und kleinste Teilchen zerspratzte (Abb. 7).

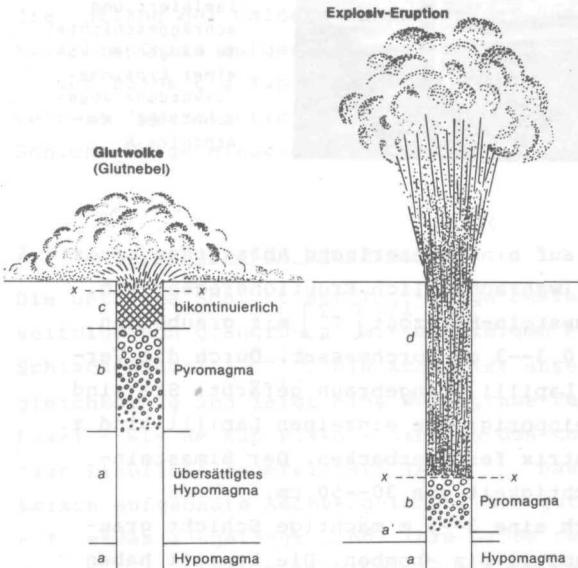


Abb. 7 :

Schematische Darstellung des Mechanismus von Glutwolken- und Aschenauswürfen. Bei hoher Viskosität des Magmas ist das Niveau x--x der Entgasungsphase nahe der Oberfläche gelegen und es bilden sich Glutwolken. Bei niedriger Viskosität beginnt die Entgasungsphase schon auf tieferem Niveau, und es werden Aschen ausgeworfen. (RITTMANN 1977: 22)

Bei Thira (Profil 12) ist über diesen Schichten ein Paläo-Boden erhalten. Der Boden bildet sich aus einer mittel- bis grobkörnigen Asche, die stark vertont und verfestigt ist. Dieser Ascheboden wurde auf Pollen und Sporen untersucht. Es konnten jedoch keine Pflanzenreste nachgewiesen werden. Lokal eingeschaltet - von Balos bis Kap Athinios-N - lagern über den Asche- und Schlacken-Folgen 'pyroclastic' -und 'ash flow'-Ablagerungen.

Bei diesen höher viskosen Magmen liegt das Eruptionszentrum wesentlich höher im Schlot, nahe der Oberfläche, so daß es zu einem seitwärts und aufwärts gerichteten, überquellenden Ausfließen kommt (Abb. 7).

Die 'pyroclastic flows'  $[T_2^1 \text{ u. } T_2^3]$  haben eine rosabraune Aschengrundmasse, in der unterschiedliche Mengen von Schlacken- und Lavalapilli bis -bomben ( $\emptyset$  6--15 cm), Xenolithe und wenige Bimssteinlapilli liegen. Sie sind ungeschichtet, zeigen chaotisches Gefüge und bestehen meist aus ein bis zwei flow-Einheiten. Nach oben werden die Ablagerungen feiner und gehen in einen 'ash flow' über, der weit mehr Asche-Anteile hat und undeutlich geschichtet ist.

Lokal - von Kap Plaka-S bis Kap Athinios-N - liegt unterhalb des 'pyroclastic flow' ein zunächst unverschweißter rosabeiger Ignimbrit  $[T_1]$ , der bereits ausgelängte Schlacken- und Bimssteinbomben zeigt (Abb. 8).

Zum Hangenden hin ist der Ignimbrit stark verfestigt und deutlich stärker verschweiß, mit "flammenartig" ausgelängten, "geschwänzten" dünnen Schlackenlapilli. Die Xenolithe sind kaum ausgelängt, aber deutlich eingeregelt. Der Ignimbrit besteht aus mehreren Einheiten, die durch Wechsel des Gefüges und der Korngröße gekennzeichnet sind. Nach Osten keilt er zunächst gegen den Phyllit aus, tritt aber bei Athinios-N noch einmal auf, in Form eines mäßig verschweißten, piperno-artigen 'pyroclastic flow'.

Ein Ignimbrit entsteht ebenfalls bei einer Glutwolken-Eruption. Dabei quillt das Magma als heiße Gas-Teilchen-Suspension über den Schlotrand. Die sehr hohe Temperatur in dieser Glutwolke kann zum Verschweißen der Partikel führen. Die temperaturbedingte Fluidität verursacht auch die weiträumige,

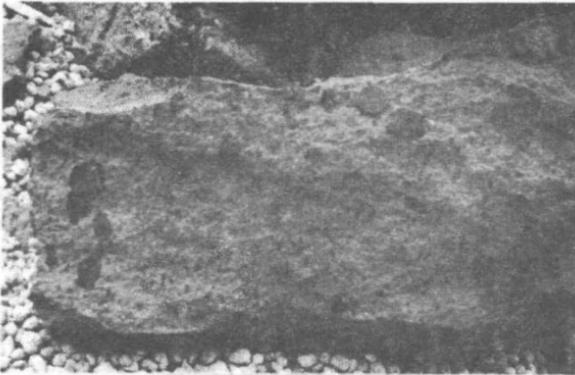


Abb. 8 :  
Frisch aus der  
Wand gebrochener  
Block eines un-  
verschweißten  
Ignimbrits, am  
Kap Plaka-S

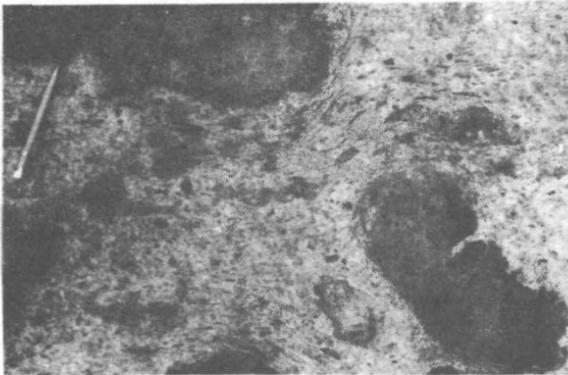


Abb. 9 :  
Ignimbrit von  
Kap Plaka-S mit  
ausgelängten  
Schlackenbomben  
und Pseudoflu-  
dalgefüge

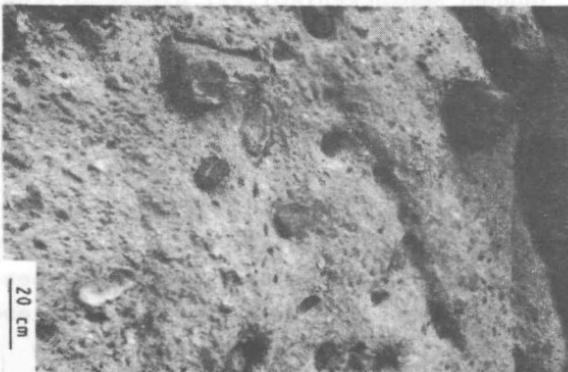


Abb. 10 :  
Rote Wurf-  
schlacke  
von Kap Plaka-S,  
mit glasumkruste-  
ten Schlackenbom-  
ben in aschig-  
schlackiger  
Grundmasse

deckenartige Ausdehnung des Ignimbrits (nach Art eines "Luftkissenbootes"), der nach neueren Untersuchungen (WRIGHT et al. 1980) nicht nur bei einer Spalteneruption entsteht, sondern auch aus einem zentralen Schlot stammen kann. Dabei werden häufig auch mehrere Schicht-Einheiten übereinander abgelagert.

Die Textur des Ignimbrits kann in der Randzone unregelmäßig erscheinen, ähnlich einem 'pyroclastic flow'. Im Innern ist aber häufig eine deutlich laminierte Lagentextur ausgebildet, die durch die Auflast auf das noch heiße, plastische Magma im Innern entsteht, wobei die Bimsstein-, Schlacken- und Lavafetzen ausgelängt werden und mit der glasigen Grundmasse verschweißen können (Abb. 9).

Es entsteht oft ein Pseudofluidal- oder eutaxitisches Gefüge. Der Ignimbrit hat so ein charakteristisches Gefüge, das ihn deutlich von einem "einfachen" 'pyroclastic flow' unterscheidet (s.a. Kap. 1.6.).

Zum Hangenden gehen die 'pyroclastic flow'-Schichten in rote, reine Wurf Schlacken über (Abb. 10). Die einzelnen Schlackenbomben sind von dunkelroten Glaskrusten umgeben. Das deutet darauf hin, daß sie schon während des Fluges erkaltet sind oder zumindest sofort bei der Ablagerung abgeschreckt wurden. Die Schlackenbomben liegen in einer ebenfalls roten Grundmasse, die aus Glas, Asche und Schlackenlapilli besteht. Die Schlacken sind z.T. sehr kleinporig, mit Übergängen zu schlackiger Lava, z.T. aber auch großporig, mit vielen Kristall-Einsprenglingen.

Die 'pyroclastic flow'- und Ignimbrit-Schichten formen im Gelände eine markante Steilstufe, die sich von Balos-E bis Kap Athinios-S erstreckt.

Den Abschluß der ersten Eruptionsphase bildet eine graue, massig bis porphyrische Lava  $[T_3^2]$  quarz-latiandesitische Zusammensetzung. Es handelt sich um mehrere, ca. 3--6 m mächtige, kurze Ströme mit deutlichen Fließstrukturen. Ihre größte Mächtigkeit haben sie am Kap Alai und bei Thira.

Zum Hafen von Athinios hin keilen sie rasch aus. Am Kap Alai sind die einzelnen Ströme von Lagen aus gut gerundeten La-

vablöcken von ca. 20--70 cm Durchmesser getrennt, die in einer aschig-schlackigen Grundmasse liegen.

Nach einer Ruhepause in der Vulkantätigkeit, die durch einen geringmächtigen (30--40 cm) Bodenhorizont, sowie durch Umlagerungs-Horizonte dokumentiert ist, kam es erneut zur Ablagerung von verschiedenen Asche- und Schlackenlagen [T<sub>5</sub>]. Sie stehen nur im Norden an, von Kap Plaka-S bis Thira, und auf relativen Hochgebieten, wie am Kap Athinios-S, wo sie auf dem Phyllit lagern. Es handelt sich um graubraune, gleichkörnige Aschen und schwarze bis rötliche Schlackenlapilli und -bomben.

Darüber folgt ein Bimsstein-Horizont, mit Lapilli von 0,5--5, max. 10 cm Durchmesser. Bei Athinios-S sind die Bimssteinlapilli weißrosa gefärbt (Ø 0,4--3 cm). Hier fällt die Schicht mit ca. 24° zur heutigen Caldera hin ein, d.h. sie bedeckt ein Paläorelief, das dem heutigen vergleichbar ist. Das Hangende bilden wiederum Schlackenlapilli (Ø 1--3 cm) mit einzelnen Aschen-Zwischenlagen. Die Schlacken sind schwarz und werden nach Süden zu rot gefärbt.

Ganz im Süden wurden diese Schichten entweder durch eine zu geringe Eruptionsstärke nicht abgelagert oder sie wurden bereits vor Ablagerung der nächsten Schicht wieder erodiert. Letzteres ist garnicht unwahrscheinlich, da der Südteil Theras schon immer - wie an der Schichtfolge und der Lagerung im Gelände zu erkennen ist - den flacheren, tiefer gelegenen Teil der Insel bildete.

Die gesamte T<sub>5/1</sub>-Schichtenfolge wird von einem ca. 20 cm bis 1 m mächtigen Boden-Horizont überdeckt.

Bis zur Ablagerung der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) herrschte also mit Sicherheit eine Zeit vulkanischer Ruhe, in der z.T. erodiert wurde und sich ein Boden bilden konnte.

### 2.1.2. Mikroskopische Beschreibung

#### a) Mineralbestand

Da die T<sub>5/1</sub>-Schichten zum überwiegenden Teil aus Aschen be-

stehen, und nur aus wenigen Schlacken- und Bimsstein-Horizonten, wurden Dünnschliffe nur von wenigen Proben charakteristischer Horizonte angefertigt.

Die mikroskopische Beschreibung umfaßt daher nur die schwarzen und roten Wurfslacken und die Ignimbrite. Die schwarzen und roten Wurfslacken unterscheiden sich in ihrem Mineralinhalt kaum voneinander, jedoch besitzen diese eine kleinblasige, rotbraune Grundmasse. Die Rotfärbung ist bedingt durch eine höhere Auswurf-Temperatur, die eine Oxidation des Eisens von  $Fe^{2+}$  zu  $Fe^{3+}$  zur Folge hat.

Die Phänokristalle sind bei beiden Schlackentypen gleich :

Plagioklas : 138  $\mu m$ --2,9 mm große, hypidiomorphe bis xenomorphe Kristalle, mit meist dicksäuligem Habitus. Sie sind z.T. vom Kern aus korrodiert und teilweise zerbrochen. Es treten überwiegend Karlsbader- und Albitzwillinge auf, seltener sind die Kristalle nach dem Periklin-Gesetz verzwillingt. Die größeren Kristalle zeigen oft eine deutliche Zonierung. Stengelige Plagioklas-Mikrolithe liegen ungerichtet in der glasig-schaumigen Grundmasse.

Klinopyroxen : 265  $\mu m$ --2,4 mm große, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle von blaßgrüner Farbe. Sie sind randlich resorbiert und z.T. korrodiert. Daneben treten viele kleinere Kristallbruchstücke auf, die z.T. in den Blasen Hohlräumen angehäuft sind. Nach dem opt. Charakter und der Abschätzung des Achsenwinkels handelt es sich um diopsidische Augite.  
Gegenüber dem Orthopyroxen herrscht er deutlich vor.

Orthopyroxen : 184--437  $\mu m$  große, idiomorphe bis xenomorphe Kristalle. Sie zeigen einen schwachen Pleochroismus von gelbgrün nach blaugrün und sind ebenfalls z.T. randlich resorbiert und/oder korrodiert. Der opt. Charakter ist negativ, was für einen Hypersthen spricht.

Als Akzessorien treten Apatit auf, der farblos ist, einen nadeligen Habitus hat und bevorzugt als Einsprengling im Plagioklas auftritt, und Erz, das 173--253  $\mu m$  große, meist kantengerundete Kristalle bildet, aber auch in Form xenomorpher Körner vorliegt.

Die Ignimbrite zeigen unter dem Mikroskop eine rotbraune, glasige, z.T. schlierige Grundmasse, in der kantengerundete und teils abgeplattete Xenolithe und Schlacken- sowie Bimssteinlapilli liegen. Bei den Xenolithen handelt es sich meist

um porphyrische Vulkanitbruchstücke mit Plagioklas- und Pyroxenkristallen, die meist xenomorph und z.T. stark korrodiert sind. Daneben kommen auch gleichkörnige Vulkanite vor, mit einer glasigen Grundmasse, in der nur Feldspat-Mikrolithe zu erkennen sind.

In der Glasmatrix der Ignimbrite finden sich ebenfalls Plagioklas- und Pyroxen-Einsprenglinge und kleine, leistenförmige, z.T. eingeregelt Plagioklas-Kristalle. Auffallend sind auch große Olivin-Xenokristalle, die in einer vulkanischen Grundmasse liegen und meist stark umgewandelt sind (Iddingsitisierung).

Die Schlacken- und Bimssteinlapilli in den Ignimbriten sind klein- bis mittelporig und haben nur wenige Plagioklas- und Pyroxen-Phänokristalle, die je nach Verschweißungsgrad nicht bis deutlich eingeregelt sind.

Eine typische Verschweißungsabfolge stellen die Proben 7/2 a--c dar : (von oben nach unten)

- Probe a : Viele rote und schwarze Schlackenlapilli, sowie porphyrische und blasige Lava-Xenolithe, gut gerundet bis kantengerundet, liegen in einer rosa-beigen glasig-schaumigen Aschegrundmasse; es ist keine Einregelung oder Verschweißung erkennbar.
- Probe b : Abgerundete Schlackenlapilli in glasiger Aschematrix mit einzelnen, schwach eingeregelten Kristalleinsprenglingen; die Blasen Hohlräume sind wenige  $\mu\text{m}$ --4 mm groß und z.T. in der Längsachse eingeregelt.
- Probe c : Die Schlacken- und Bimssteinlapilli sind deutlich abgeplattet und ausgelängt, sie liegen in einer glasigen, sehr kleinporig-verschweißten Grundmasse; in manchen Partien ist ein deutliches Pseudofluidalgefüge ausgebildet, die Grundmasse "umfließt" die Lapilli und Xenolithe. Die Poren sind ausgelängt und die Glaszwischenwände z.T. schlierig zusammengepreßt, fast ohne Zwischenraum.

#### b) Lichtbrechung

Für die Bimssteine wurden durchschnittliche Werte von 1.515--1.517 gemessen, die vom  $\text{SiO}_2$ -Gehalt (63--65 Gew.%) abhängig sind (s.a. Kap. 2.2.2. c). Damit liegen die Bimssteine

der  $T_{5/1}$ -Folge mit den Lichtbrechungswerten im Bereich der obersten Schichten der Bu-Folge (Bu V+VI).

Die Schlacken zeigen abhängig von ihrem niedrigen  $SiO_2$ -Gehalt (53--60 Gew.%) wesentlich höhere Lichtbrechungswerte : durchschnittlich 1.541.

### c) Dichte

Für einige Proben der  $T_{5/1}$ -Folge wurden Dichtebestimmungen angefertigt (Verfahren s. Kap. 2.2.2. d). Es ergaben sich für die einzelnen Gesteinstypen folgende Werte :

Bimssteine = 0.45--1.06, Schlacken = 1.32--1.90, rote Wurf-  
schlacken = 2.04.

Die Trennung in Bimsstein und Schlacke wurde nach PERLAKI (1966) bei etwa 1.4 ( $\pm 0.1$ ) g/cm<sup>3</sup> vorgenommen. Eine strenge Trennung bei exakt 1.4 ist wenig sinnvoll, da sonst einige Schlacken, die etwas unter 1.4 g/cm<sup>3</sup> liegen, zu den Bimssteinen gestellt werden müßten, obwohl sie mit den Schlacken höherer Dichte lithologisch identisch sind.

Die Abhängigkeit der Dichte vom Kristallgehalt (0--2 Vol.% bei < 1.4, 2--20 Vol.% bei > 1.4), wie sie PERLAKI (1966) darstellt, konnte bei den Proben von Santorin nicht bestätigt werden. Sowohl die Anzahl der Kristalle wie auch die Kristall-Arten sind bei den Schlacken und Bimssteinen nahezu gleich. Nur die roten Wurfslacken zeigen einen deutlich höheren Kristall-Gehalt. Dies verursacht auch, zusammen mit der wesentlich feinkörnigeren bis fast massigen Ausbildung, den hohen Dichtewert (2.04).

### 2.1.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch-petrographische Entwicklung der $T_{5/1}$ -Folge

Die pyroklastischen Serien der  $T_{5/1}$ -Folge sind bisher auch geochemisch noch nicht bearbeitet worden. Daher sind von 24 charakteristischen Proben Haupt- und Spurenelement-Analysen angefertigt worden. Die Analysen-Ergebnisse, sowie die CIPW- und RITTMANN-Normen sind in Tab. 16 im Anhang

zusammengestellt.

Der nach der RITTMANN-Norm erhaltene Mineralbestand ergibt dabei für die

**Bimssteine** : Überwiegend Plagioklas, daneben zu gleichen Teilen Sanidin und Quarz, während die dunklen Minerale (Px, Erze, Apatit) zusammen nur zwischen 6 und 7 Vol.% betragen;

**Schlacken** : mehr als die Hälfte Plagioklas und geringe Mengen Sanidin und Quarz, die Pyroxene machen zusammen zwischen 10 und 20 Vol.% aus, die Akzessorien zusammen ca. 3 Vol.%;

**rote Wurfschlacke** : sehr hoher Anteil an Plagioklas (> 60 Vol.%), je etwa 10 Vol.% Sanidin, Quarz und Pyroxene, und ebenfalls ca. 3 Vol.% Akzessorien

Die Variationsbreite und die Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente wurden zur besseren Übersicht nach den drei Gesteinstypen getrennt in Tab. 1 eingetragen.

Tab. 1: Variationsbreite und Mittelwerte der drei Gesteinstypen innerhalb der  $T_{5/1}$ -Folge

	Schlacken	$\bar{\phi}$	Bimssteine	$\bar{\phi}$	Rote Wurfschlacke	$\bar{\phi}$
SiO <sub>2</sub>	52,9 -- 62,3	58,6	60,4 -- 68,7	63,9	58,9 -- 60,0	59,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,3 -- 17,8	16,3	11,5 -- 15,7	14,5	15,8 -- 16,4	16,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4 -- 9,2	7,5	2,8 -- 6,9	4,6	7,1 -- 7,5	7,3
MnO	0,13 -- 0,17	0,15	0,08 -- 0,15	0,12	0,16	0,16
MgO	1,7 -- 4,7	2,7	0,6 -- 1,9	1,2	2,2 -- 2,4	2,3
CaO	4,2 -- 8,8	6,0	2,0 -- 4,2	2,8	5,1 -- 5,5	5,4
Na <sub>2</sub> O	3,0 -- 4,8	4,1	2,6 -- 5,1	4,2	4,5 -- 4,7	4,6
K <sub>2</sub> O	1,2 -- 2,6	2,1	2,4 -- 3,3	2,9	1,9 -- 2,3	2,1
TiO <sub>2</sub>	0,9 -- 1,2	1,0	0,5 -- 1,1	0,7	1,0 -- 1,1	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14 -- 0,28	0,22	0,10 -- 0,25	0,16	0,21 -- 0,27	0,23
H <sub>2</sub> O	0,6 -- 3,6	1,5	2,4 -- 7,0	4,7	0,8 -- 1,4	1,05
Total		100,14		99,87		99,9
Rb	41 -- 97	76	86 -- 138	106	68 -- 111	84
Sr	179 -- 217	197	97 -- 180	133	182 -- 212	200
Y	19 -- 49	38	44 -- 73	51	32 -- 49	38
Zr	129 -- 264	213	217 -- 299	257	214 -- 225	219
V	119 -- 228	155	18 -- 93	51		111
Zn	78 -- 89	83	75 -- 87	80		87
Nb	8 -- 12	9	10 -- 17	13		13
Ba	270 -- 389	325	404 -- 525	469		409

Einen graphischen Überblick bietet das HARKER-Diagramm (Abb. 11), in dem die einzelnen Oxide der Hauptelemente gegen  $\text{SiO}_2$  aufgetragen werden. Auch hier wurden Schlacken, Bimssteine und rote Wurfslacken getrennt gekennzeichnet. Es zeigt sich deutlich die lineare Abnahme der Oxid-Gehalte von Al, Fe, Mg, Ca und Ti bei steigendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt, sowie die Zunahme von  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Der  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Wert weist dagegen keine Abhängigkeit vom  $\text{SiO}_2$ -Gehalt auf, er zeigt die gleichen Werte für  $\text{SiO}_2$ -Gehalte von  $< 58$  Vol.-% und  $> 63$  Vol.-%. Auffallend ist auch die deutliche Trennlinie zwischen Schlacken und Bimssteinen bei 60 Vol.-%  $\text{SiO}_2$ . Die schwarzen Schlacken und die roten Wurfslacken zeigen dagegen einen sehr ähnlichen Chemismus, der sich auch schon in den Mittelwerten widerspiegelt.

Bei den Spurenelementen, aufgetragen gegen  $\text{SiO}_2$  bzw.  $\text{MgO}$  bzw.  $\text{K}_2\text{O}$  (Abb. 12), wird die Trennung von Schlacken und Bimssteinen ebenfalls deutlich. Die Rb-, Y-, Zr-, Nb- und Ba-Werte liegen bei den Bimssteinen wesentlich höher als bei den Schlacken, während Sr und V mit steigendem  $\text{SiO}_2$ - bzw.  $\text{MgO}$ -Gehalt abnimmt. Die Zn-Werte zeigen dagegen keinerlei Abhängigkeit vom  $\text{SiO}_2$ -Wert.

Die Werte von Nb, Zn, V und Ba konnten nur von acht neueren Proben angegeben werden, da die Tübinger Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) erst seit kurzem mit diesen neuen Standards arbeitet. Die älteren Proben wurden mit Standards gemessen, die diese Elemente nicht beinhalten.

Trägt man die Analysen-Werte nach dem errechneten normativen Mineralbestand in das SRECKERSEN-Doppeldreieck ein (Abb. 13), sieht man, daß die Schlacken fast ausschließlich im Feld der Quarz-Latitandesite liegen. Die Bimssteine verteilen sich in den Feldern  $8^*_4, 3b$  (Quarz-Latite, Dacite u. Rhyodacite).

Von NICHOLLS (1971b) und PICHLER & KUSSMAUL (1972) stammen einige Analysen-Daten der von mir nicht näher untersuchten Laven [ $\text{T}_3$ ] von den Lokalitäten Kap Alai, Kap Alonaki und Kap Athlios-S. Danach handelt es sich um Quarz-Andesite und Quarz-Latitandesite (NICHOLLS: Basalt bis Andesit). Es sind somit die basischsten Gesteine der  $\text{T}_{5/1}$ -Folge (Abb. 14).

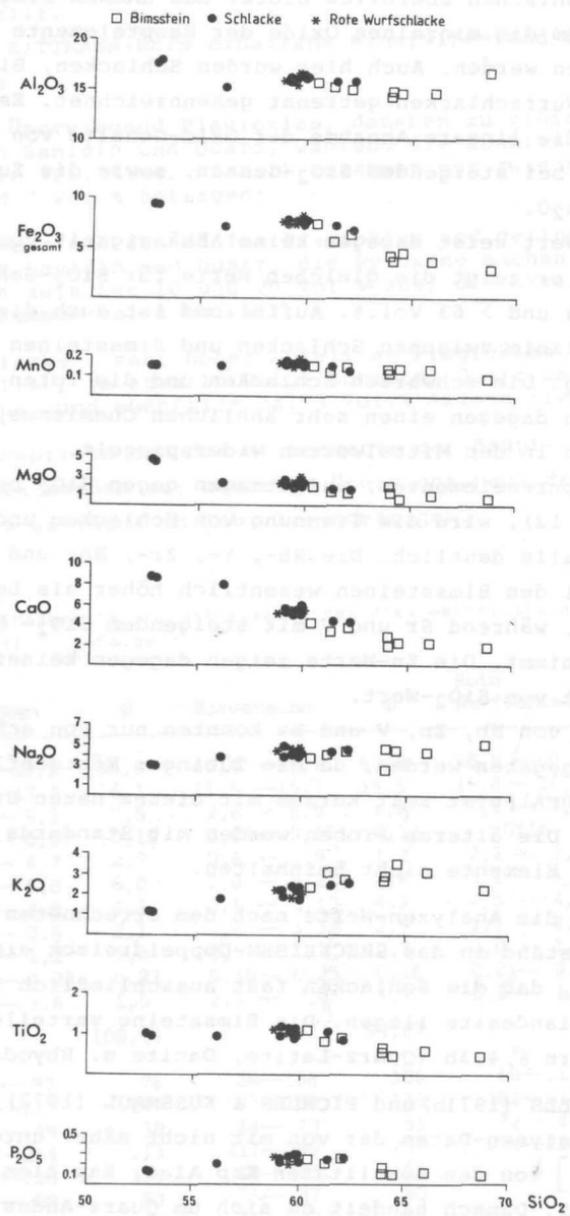


Abb. 11: HARKER-Diagramm, Hauptelementoxide gegen SiO<sub>2</sub> aufgetragen von Proben der T<sub>5/1</sub>-Folge

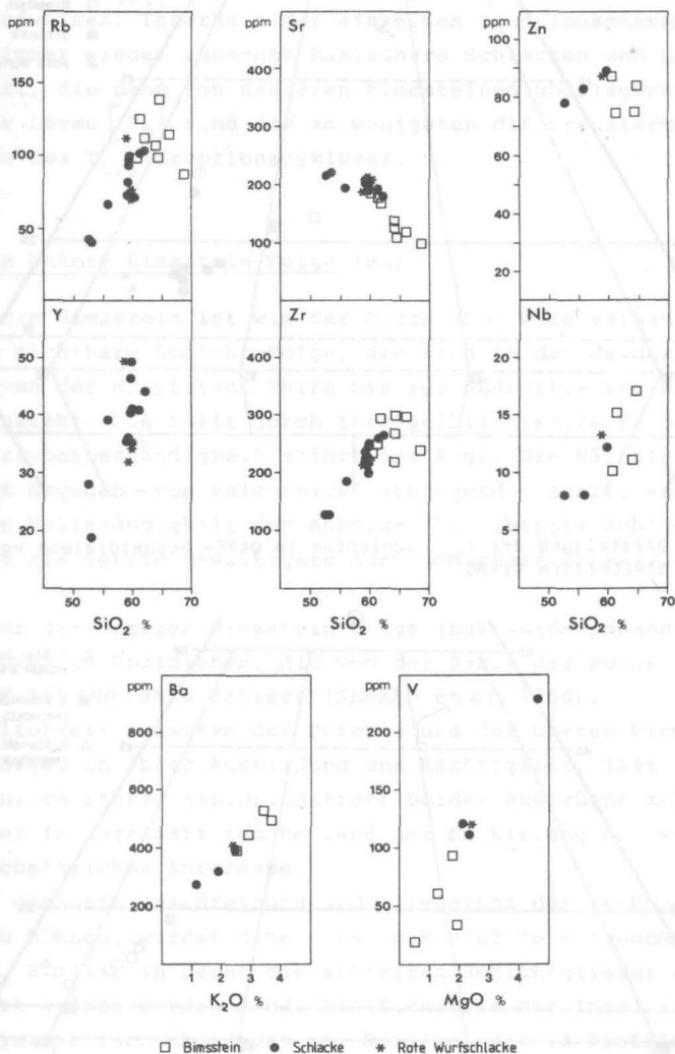


Abb. 12: Verteilung der Spurenelemente gegen SiO<sub>2</sub> bzw. MgO bzw. K<sub>2</sub>O von Proben der T<sub>5/1</sub>-Folge

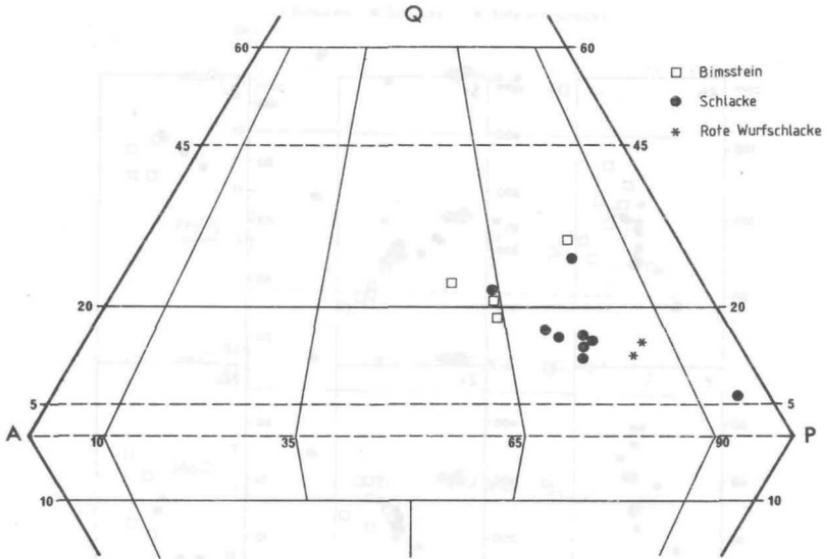


Abb. 13 : Darstellung der  $T_{5/1}$ -Schichten im QAPF-Doppeldreieck von STRECKEISEN (1980)

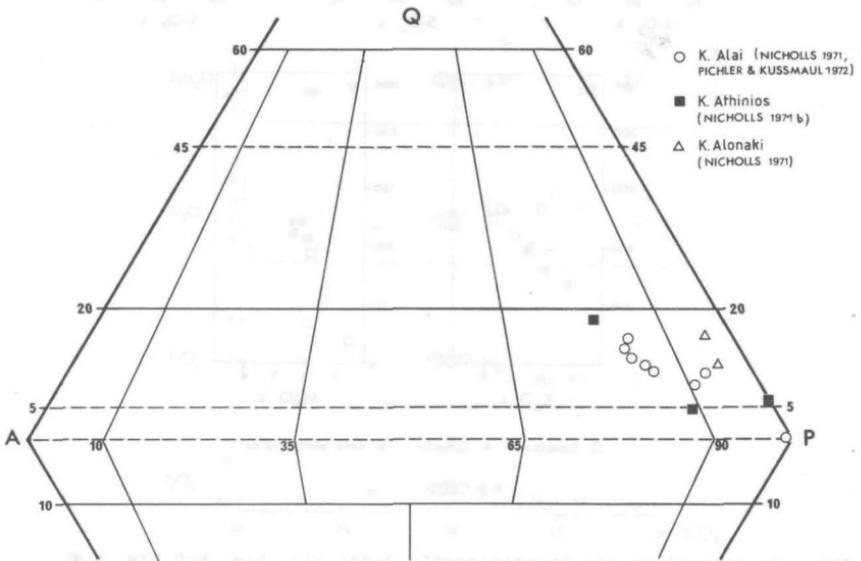


Abb. 14: Darstellung der Laven aus der  $T_{5/1}$ -Folge im QAPF-Doppeldreieck von STRECKEISEN (1980), Analysendaten aus der Literatur (NICHOLLS 1971b, PICHLER & KUSSMAUL 1972)

Aus allen dargelegten Diagrammen läßt sich erkennen, daß die Schichten der  $T_{5/1}$ -Folge einen deutlichen Differentiations-trend aufweisen. Innerhalb der einzelnen Eruptionsphasen wurden immer wieder zunächst basischere Schlacken und Laven gefördert, die dann von saureren Bimssteinen überlagert wurden. Die Laven  $[T_3]$  sind die am wenigsten differenzierten Produkte des  $T_{5/1}$ -Eruptionszykluses.

## 2.2. Die Untere Bimsstein-Folge (Bu)

Der Untere Bimsstein ist wie der Obere (Bo) eine markante, weithin sichtbare Schicht-Folge, die sich in den Caldera-Wänden von der Hauptstadt Thira bis zur Südspitze von Akrotiri hinzieht. Sie fällt durch ihre gelblich-weiße Farbe und ihre Horizontbeständigkeit sofort ins Auge. Die Mächtigkeit wechselt dagegen - vom Paläorelief abhängig - stark, ebenso auch die Vollständigkeit der Abfolge. Die oberste Schicht aber ist als letzte gewaltigste Ausbruchphase überall abgelagert.

Das Alter der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) wurde anhand von Spaltspuren an Obsidianen, die von der Basis der Folge stammen, auf 100 000 Jahre datiert (SEWARD et al. 1980).

Die Ähnlichkeit zwischen der Unteren und der Oberen Bimsstein-Folge, in ihrer Ausbildung und Mächtigkeit, läßt auf eine ähnlich starke Explosionskraft beider Ausbrüche schließen. Aber im Gegensatz zum Bo fand der Bu bislang nur wenig wissenschaftliches Interesse.

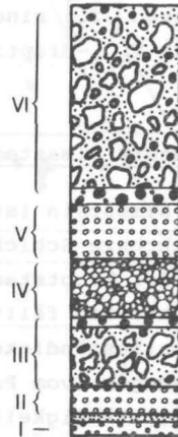
Um eine genauere Beschreibung und Gliederung der Bu-Folge geben zu können, wurden daher 14 neue Profile aufgenommen (Abb. 3, S. 12), in denen die einzelnen Schichtglieder detailliert erfaßt worden sind. Die Südhälfte der Insel ist dabei systematisch abgedeckt (s. Beilage) mit 13 Profilen von der Skaros-Bastion bis Akrotiri; auch das einzige Bu-Vorkommen auf der Nordhälfte bei Oia wurde berücksichtigt.

### 2.2.1. Megaskopische Beschreibung

Die vollständigste Abfolge des Unteren Bimssteins findet

sich unterhalb des Dorfes Akrotiri, bei der Lokalität Balos (Profil 5). Hier lassen sich sechs Schichtglieder unterscheiden, die auch in den anderen Profilen teilweise oder vollständig wiederzufinden sind. Es handelt sich um folgende Ablagerungen :

- VI oberer 'pumice flow'
- V oberer 'pumice fall'
- VI 'pyroclastic flow' bzw. Lahar
- III unterer 'pumice flow'
- II unterer 'pumice fall'
- I unterste Schichten, bestehend aus Bimssteinlapilli u. Asche



#### Schicht I

Sie besteht aus zwei Schichtgliedern und hat ihre größte Mächtigkeit bei Thira (2 m) und am Kap Athinios-N (3 m). Das unterste Schichtglied setzt sich aus drei Bimssteinlapilli-Horizonten von beiger bis schwach rosa Farbe zusammen, dazwischen sind als Trennschichten feine graue Aschen abgelagert, wobei der unterste Horizont meist gradiert ist. Die Bimssteinlapilli reichen von mm-Größe bis 6--7 cm. Die Glasgrundmasse ist dicht bis faserig ausgebildet. Die Blasen Hohlräume sind meist länglich, subparallel angeordnet und haben eine Größe bis zu 4--5 mm. Megaskopisch erkennt man Lavalapilli und Feldspat-Einsprenglinge.

In der oberen Schicht sind es beige-graue Bimssteinlapilli. Die Poren der Bimssteine sind 1--5 mm groß und ausgelängt. Es finden sich Lavalapilli und Ascheteilchen, die z.T. in "Nestern" angehäuft sind. Neben Feldspat-Phänokristallen kommen seltener amorphe Cristobalit-Kristalle in den Poren vor.

Den Abschluß der Schicht bildet ein dunkelgrauer sehr feiner

Aschen-Horizont, der am Kap Plaka eine beginnende Bodenbildung zeigt (Abb. 15).

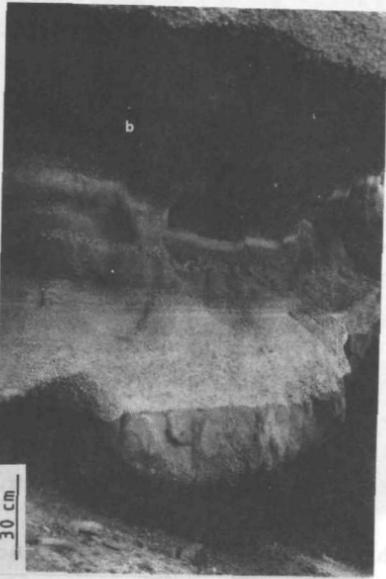


Abb. 15 :

Unterste Bimsstein-Schicht (Bu I) mit abschließendem Boden-Horizont (b) am Kap Plaka-S (Profil 7, Probe 7/6)

Da dieser Horizont kleine Stiel- und Blattreste enthält, wurden Proben (7/6 a+b) entnommen, die auf einen möglichen Gehalt an Pollen und Sporen hin untersucht wurden, um so eventuell eine Alterseinstufung zu ermöglichen.

Die von Dr. F. SCHAARSCHMIDT (Senckenberg Museum, Frankfurt/Main) in dankenswerter Weise erstellten Analysen dieser "Aschen" zeigten jedoch leider keinerlei verwertbares Material. Die in der Schicht gefundenen Pollen waren entweder zu stark angegriffen, um sie bestimmen zu können oder es waren "Durchläufer", die keine Altersaussage zulassen.

Der Boden-Horizont weist aber auf eine Ruhepause in der Vulkantätigkeit hin, bevor die nächste, mächtige 'pumice fall'-Schicht abgelagert wurde.

Die Lage des Eruptionszentrums für den Bu I ist auch mit wenig Wahrscheinlichkeit nicht genau zu lokalisieren.

Bei Schicht II handelt es sich um eine 'pumice fall'-Ablagerung, die durch explosiven Auswurf von Bimsstein in die Atmosphäre entstanden ist (s.a. Kap. 1.6.). Sie ist in allen Profilen, außer am Kap Akrotiri (Profil 2) und an der Skaros-Bastion (Profil 13), mit relativ gleichmäßiger Mächtigkeit zu finden. Die Schicht zeichnet die ehemalige Oberfläche nach und keilt an Erhebungen des alten Reliefs, wie dem Phyllit-'Berg' bei Athinios, beiderseits aus.

Die Bimssteinlapilli haben eine gelbbeige bis weiß-rosa Farbe. Ihre Größe schwankt zwischen 0,5--max. 7 cm, wobei im Süden eine ziemlich gleichmäßige Verteilung der Korngröße zu beobachten, also auch keine deutliche Schichtung zu erkennen ist. Im Zentral-Teil - von Kap Plaka bis Kap Alai - tritt dagegen eine deutliche Schichtung auf, die z.T. noch durch Gradierung hervorgehoben wird. Hier kommen auch die größten Bimssteinlapilli bis 6--7 cm vor. Zum Teil bilden diese größeren Lapilli eine Art Gerüst, in dessen Zwischenräumen die kleineren und kleinsten Lapilli liegen (z.B. am K. Plaka, Probe 8/7).

Obwohl die Mächtigkeit der Schicht II am Kap Mavros, also an der südlichsten Stelle, am größten ist (3 m), ist eher anzunehmen, daß das Eruptionszentrum etwa in Höhe des Kap Alai gelegen haben muß. Dafür sprechen die Größe der Bimssteinlapilli und die Gradierung der Schicht (Abb. 29).

Die geringe Mächtigkeitszunahme des 'falls' nach Süden zu hängt sicherlich mit der vorherrschenden Windrichtung zusammen, die zu dieser Zeit mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls von NW nach SE gerichtet war. Dafür sprechen auch die "Windkanter-ähnlichen" Verwitterungsformen der Schicht im Süden (z.B. am Kap Mavros).

Die Schicht II am Kap Alai und bei Thira zeigt gegenüber den anderen Profilen eine Anhäufung von Xenolithen, Lavalapilli und mafischen Mineralen (Pyroxen, vereinzelt Hbl.). Dies läßt sich durch eine äolische Fraktionierung erklären (LIRER et al. 1973), wobei die kleineren, leichteren Bimssteinlapilli weiter weg geschleudert wurden, so daß in Schlotnähe die schwereren Teilchen zur Ablagerung gelangen. Dadurch ist in Windrichtung auch eine leichte Zunahme des  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{K}_2\text{O}$ -

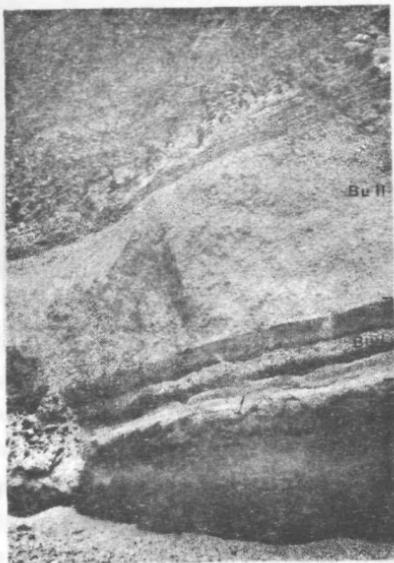


Abb. 16 a:  
 Unterer 'pumice  
 fall' (Bu II), am  
 Kap Mavros

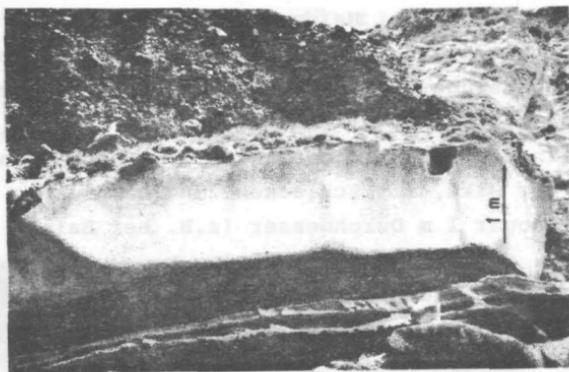


Abb. 16 b: Unterer 'pumice fall' (Bu II), am Kap  
 Athinios-N

Gehaltes der Bimssteine zu beobachten, sowie eine Abnahme von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  und  $\text{TiO}_2$ .

Die Bimssteinlapilli selbst sind faserig mit leicht aus-gelängten Bläschen, die parallel bis subparallel angeordnet sind. Die Bläschen sind 0,5 mm bis max. 7 mm groß. Häufig liegen in den Poren gut gerundete Lavalapilli, sowie Feldspat- und Pyroxen-Einsprenglinge. Zum Teil findet sich megaskopisch eine fast wasserklare Substanz, die nur selten Kristallflächen zeigt, und im Dünnschliff auch nicht beobachtet werden konnte. Es handelt sich dabei mit größter Wahrscheinlichkeit um Cristobalit, den schon NICHOLLS (1971b) in Blasen Hohlräumen von Daciten und Rhyodaciten beschrieben hat.

### Schicht III

Sie tritt nur im Süden auf, von K. Akrotiri bis K. Plaka-S. Es handelt sich um eine 'pumice flow'-Ablagerung, die die größte Mächtigkeit und den größten Durchmesser der Bimssteinlapilli am K. Loumaravi erreicht. Das läßt darauf schließen, daß der Ausbruchspunkt etwa in Höhe des Kaps, etwas seitlich des zentralen Schlotes, gelegen hat (Abb. 29). Am K. Loumaravi und auch bei Balos sieht man deutlich, daß es sich nicht um einen einzigen 'flow' handelt, sondern um mehrere 'flow'-units übereinander, die bei einem rhythmisch wiederkehrenden Ausbruch abgelagert wurden.

Zuerst wurde feineres Material gefördert, das nach oben hin immer grobkörniger wird, mit Schlacken- und Lavabomben bis Faustgröße oder sogar 1 m Durchmesser (z.B. bei Balos, Profil 5).

Schicht III fällt insgesamt durch ihre markante Verwitterungsform auf, die PICHLER als die "Herden des Sonnengottes" bezeichnete (Abb. 17).

Die einzelnen Bimssteine sind rosa gefärbt und haben eine Größe von 1 bis max. 12 cm. Sie sind zusammen mit Bimssteinasche, Schlacken- und Lavalapilli- bis bomben, sowie verschiedenen Xenolithen chaotisch gelagert, wobei es an der Basis der einzelnen 'flow'-units zur Anhäufung von Lava- und



Abb. 17 :  
Bu III, 'pumice fall' mit markanter Verwitterungsform: "Herden des Sonnengottes", von Balos (Profil 5)

Xenolithblöcken kommen kann, die wahrscheinlich durch eine Art gravitativer Absaigerung während des Fließens erklärt werden kann. In den oberen Bereichen ist keine oder nur eine sehr schlechte Sortierung zu beobachten. Wie auch in Abb. 17 zu sehen ist, füllt der 'pumice flow' ehemalige Täler bzw. Depressionen aus, wobei die Oberfläche des flows die Topographie einheitlich einebnet.

Die einzelnen Bimssteinlapilli wirken eher dicht mit kleinporiger Oberfläche. Die 6--7 mm großen Blasen Hohlräume sind z.T. mit Lava- und/oder Schlackenlapilli und wenigen Feldspat-Einsprenglingen angefüllt.

Am K. Akrotiri (Profil 2) ist eine Besonderheit in der Ablagerung zu beobachten :

An der Oberfläche des 'flows' haben sich Bimsstein-"Töpfe" gebildet, die mit Xenolith-Blöcken gefüllt sind (Abb. 18).



Abb. 18 :  
'pumice flow' (Bu III) mit an der Oberfläche angeschnittenen Bimsstein-"Töpfen" (s. Text), am K. Akrotiri (Profil 2)

Die Bimssteinlapilli in der unmittelbaren Umgebung der Xenolithblöcke sind stark verfestigt. Die Entstehung dieser ungewöhnlichen Strukturen kann auf verschiedene Art und Weise erklärt werden :

1. Gleichzeitig mit der Ablagerung der Bimssteine gelangten Xenolithblöcke in den 'pumice flow'. Im Kontakt zu den geringer temperierten Xenolithen wurden die Bimssteine schneller abgekühlt und verkittet. Diese verkitteten Bimssteine sind wesentlich verwitterungsresistenter und bleiben als härterer "Wulst" erhalten (Abb. 19).
2. Nach der Eruption des Bu III wurden Gesteinsblöcke älterer Schichten auf der Oberfläche des 'pumice flow' abgelagert. Im Kontakt zwischen den Blöcken und den Bimssteinen sorgten Porenwässer für einen Stoffaustausch mit anschließender Zementation.
3. Es handelt sich um Erosionsreste des ehemals auflagernden Basis-Blockhorizontes von Schicht IV ('pyroclastic flow'). Die heute sichtbaren Strukturen sind die erhalten gebliebenen Xenolith-Anreicherungen, die in Vertiefungen des unterlagernden 'pumice flow' abgelagert wurden (s. Skizze, Abb. 20). Solche Blockanreicherungen, die in die Bimsstein-Schichten "ingesackt" sind, finden sich immer wieder (s.a. Abb. 25).

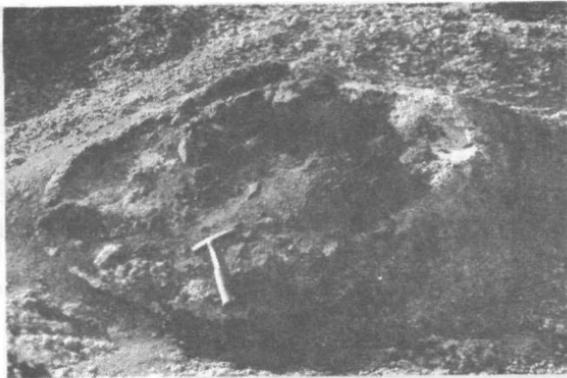


Abb. 19: Bu III, stärker verkitteter Bimsstein-"Wulst" mit eingelagerten Xenolithblöcken, K. Akrotiri (Profil 2)

Nach Geländebeobachtungen erscheint jedoch die dritte Deutung am wahrscheinlichsten. Wobei es nachträglich durch Oberflächen-Wässer zur Zementation der umgebenden Bimssteine kam.

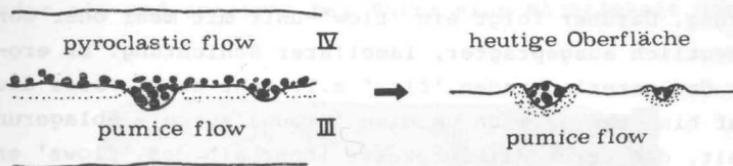


Abb. 20: Skizze zur Verdeutlichung der Theorie (3.) über die Entstehung der Bimsstein-"Töpfe"

### Schicht IV

Es handelt sich um einen 'pyroclastischer flow'. Die aschig-sandige Grundmasse ist lachsfarben bis rotbraun. In ihr liegen eckige bis kantengerundete Schlacken- und Lavablöcke, verschieden gefärbt von schwarz über grau nach rot, sowie Xenolithe bis zu einer Größe von 1 m. Ebenso finden sich graubeige Bimssteinlapilli mit einer rötlichen Verwitterungsrinde, die z.T. lagenweise angereichert sind. Man kann mehrere 'flow'-units unterscheiden, die durch Korngrößenwechsel gekennzeichnet sind (Abb. 21).

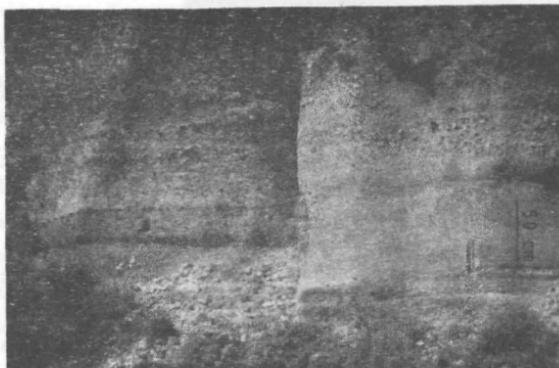


Abb. 21: Mindestens 3 'flow'-Einheiten in Schicht IV (Bu IV) bei Balos (Profil 5)

Der Basis-'flow' ist sehr grobkörnig und zeigt chaotische Lagerung. Darüber folgt ein 'flow'-unit mit mehr oder weniger deutlich ausgeprägter, lamellarer Schichtung. Er erodiert den unterlagernden 'flow' z.T. sehr stark. Dies deutet darauf hin, daß es sich um eine 'ground surge'- Ablagerung handelt, die durch Fließprozesse innerhalb des 'flows' entstanden ist (Abb. 22). Die letzte 'flow'-Einheit ist wieder etwas grobkörniger und chaotisch gelagert. Sie läßt nur eine undeutliche Schichtung erkennen. Die Trennlinie zwischen dem 2. und 3. 'flow' ist nicht sehr markant, es gibt meist fließende Übergänge.

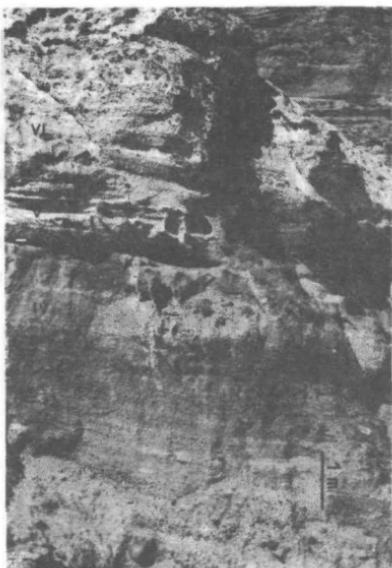


Abb. 22 :

'ground surge'-Ablagerung mit lamellarer Schichtung, Basis des Bu IV, K. Loumaravi (Profil 4)

Der 'pyroclastic flow' füllt ein schwach ausgeprägtes Relief aus und hat eine ebene Oberfläche (Abb. 23).

Schicht IV läßt sich eindeutig von K. Mavros bis Balos verfolgen und keilt dann bei Kap Plaka-S am Ignimbrit ( $T_2$ ) aus. Weiter im Norden bei Kap Plaka, Kap Athinios und bei Thira liegt in derselben stratigraphischen Position eine 1--2 m mächtige Umlagerungs-Schicht bzw. ein Lahar. Die Schicht

keilt bei Kap Alai gänzlich aus, setzt aber nördlich davon wieder ein und erreicht bei Thira eine Mächtigkeit von 8 m.



Abb. 23 : 'pyroclastic flow' (Bu IV) am K. Mavros (Profil 1), er füllt ein Relief aus und zeigt eine ebene Oberfläche

Es ist anzunehmen, daß der Lahar unmittelbar nach der Eruption oder teilweise sogar gleichzeitig entstanden ist, da sich sehr viel "frisches" vulkanisches Material (Schlacken, Lavablöcke und Bimssteine) in ihm findet.

Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem 'pyroclastic flow' im Süden und dem Lahar im Norden läßt sich allerdings durch das Aussetzen der Schicht am Ignimbrit bei K. Plaka-S und am Phyllit bei Athinios nicht herstellen. Es ist auch vorstellbar, daß etwa gleichzeitig oder kurz nach der Eruption im Süden, die die 'flow'-Schichten ablagerte, älteres Material im Norden durch Eruptionsregen und die gleichzeitigen Erdbebenerschütterungen am Vulkanhang in Bewegung geriet, so daß sich der eigentliche 'pyroclastic flow' mit Schutt vermischte und stellenweise umgelagert wurde.

#### Schicht V

Es handelt sich wieder um eine 'pumice fall'-Ablagerung. Die

Schicht ist sehr einheitlich, die Mächtigkeit ist ziemlich konstant zwischen K. Akrotiri und K. Athinios (zwischen 2 und 4 m). Am K. Alai ist sie dagegen mit 26 m ungewöhnlich mächtig. Das deutet darauf hin, daß das Ausbruchszentrum unmittelbar vor, d.h. westlich des Kaps gelegen hat, und die ersten Förderprodukte auch hier abgelagert wurden (Abb. 29). Dann erst erhöhte sich die Explosionsenergie soweit, daß die Bimssteine auch im Süd-Teil der Insel abgelagert werden konnten.

Der 'pumice fall' ist nur undeutlich geschichtet, z.T. aber in mehrere Horizonte gegliedert (z.B. bei K. Mavros, Profil 1 und bei Thira, Profil 12). Nur im unteren Teil ist an manchen Stellen (K. Plaka-S, Abb. 24) eine deutliche Schichtung zu erkennen.

Die Korngröße der einzelnen Lapilli und Bomben nimmt nach oben hin zu (⇒ Steigerung der Explosivität).

Vermeehrt an der Basis und am Top, sonst eher gleichmäßig verteilt, finden sich etwa 5--15% Schlacken- und Lavalapilli und vereinzelt Grundgebirgsbruchstücke, die kantengerundet (subangular bis subrounded) sind.



Abb. 24 : 'pumice fall' (Bu V), im unteren Teil deutlich geschichtet, am K. Plaka-S (Profil 7)

Die Bimssteinlapilli und -bomben sind beige bis rosabeige (teils nur randlich rosa gefärbt), von mm- bis Kopfgröße, selten auch größer (bis 30 cm bei K. Athinios-S). Sie sind kantengerundet, teils sehr krümelig und stark "absandend". Die Bimssteine haben eine schlierig bis faserige Glasmatrix mit z.T. dichten, feinporigen Partien. Die dichteren Partien sind oft noch durch Ascheteilchen verfestigt. Die Poren sind länglich bis röhrenförmig mit einer Länge von 2--5 mm, selten auch 2--3 cm. In den Blasenhölräumen finden sich wenige Lava- und Schlackenlapilli, aber viele Pyroxen- und Feldspat-Einsprenglinge.

Der 'pumice fall' zeichnet wiederum die alte Topographie nach, liegt also in Tälern und Depressionen mit der gleichen Mächtigkeit wie auf den höher liegenden Bereichen des Paläoreliefs. In die noch unverfestigte Oberfläche des 'falls' haben sich z.T. Lavablöcke und Schlacken des überlagernden 'flows' in "Säcken" angesammelt (Abb. 25). Dies deutet darauf hin, daß die beiden oberen Schichten der unteren Bimsstein-Folge (Bu V u. VI) ohne größere Ruhepause, relativ schnell hintereinander abgelagert worden sind.

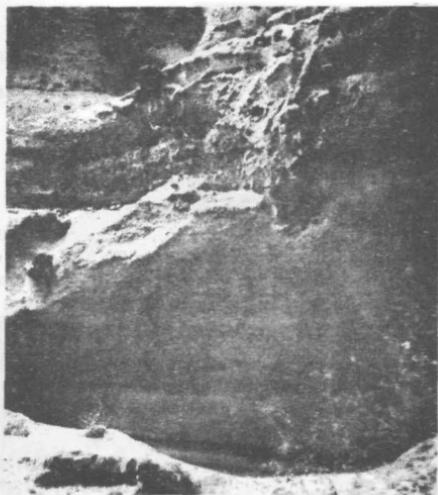


Abb. 25 :

Bu V ('pumice fall')  
mit in die Oberfläche  
"eingesackten" Blöcken  
aus der darüber liegen-  
den 'pumice flow'-Ab-  
lagerung, K. Athinios-S  
(Profil 9)

### Schicht VI

Sie entstand bei dem letzten, explosivsten Ausbruch der Unteren Bimsstein-Folge, und ist auf der ganzen Insel verbreitet.

Es handelt sich um einen 'pumice flow', der in allen Profilen, außer bei Thira (Profil 12), abgelagert und erhalten geblieben ist. Er tritt auch an der N-Spitze der Insel, unterhalb des Ortes Oia, an den Treppen zum Hafen von Armeni auf.

An der Basis des 'pumice flow' hat sich in allen Profilen ein Blockhorizont abgesetzt, der selbst an ein und derselben Lokalität sehr große Mächtigkeitsschwankungen aufweist (Wechsel der Mächtigkeit von 60 cm bis 3 m innerhalb von wenigen Metern). Es handelt sich wahrscheinlich um Produkte einer ersten Schloträumung, bei der aus dem Grundgebirge und aus der Schlotwand Blöcke mitgerissen wurden, die dann während des Fließens in einer Art gravitativer Absaigerung an der Basis abgelagert wurden. Die großen Blöcke sind z.T. durch den Aufprall und den Transport in sich zerbrochen und zerschert (Abb. 26).

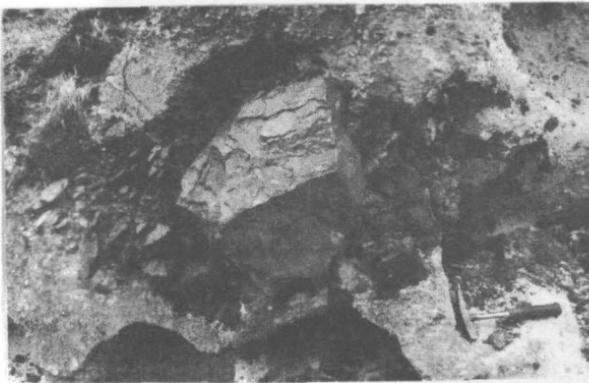


Abb. 26 :

In sich zerbrochener und zerschertener Xenolithblock an der Basis von Schicht VI, K. Mavros (Profil 1)

Dieser "Block-Horizont" ist ein Hinweis auf den Beginn einer neuen Eruptionsphase.

Der 'pumice flow' ist überall sehr mächtig (ca. 8--15 m). Selbst über der Phyllit-"Barriere" beträgt die Mächtigkeit noch 5--7 m. Im südlichsten und im nördlichsten Profil, bei K. Mavros und bei Oia, ist der 'flow' noch 1--3 m mächtig. Er hat ein chaotisches Gefüge und zeigt keine Einregelung (Abb. 27).



Abb. 27 :  
'pumice flow'  
(Bu VI) mit chaotischem Gefüge,  
K. Plaka-S (Profil 7)

An einigen Stellen (z.B. bei Athinios-S) läßt sich erkennen, daß der 'flow' wiederum aus mehreren Einheiten (units) besteht. Sie sind deutlich durch dünne Lagen von Blöcken von einander getrennt (Abb. 28).

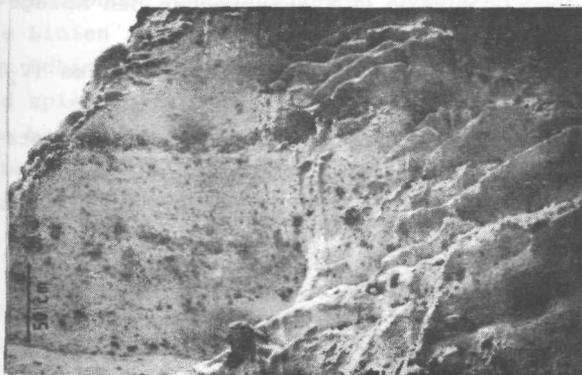


Abb. 28 :  
Mehrere 'flow'-  
Einheiten im  
'pumice flow'  
bei K. Athinios-  
S (Profil 9)

Die Bimssteinlapilli und -blöcke im 'pumice flow' sind weiß mit einer gelben bis beige Verwitterungskruste und haben einen Durchmesser von 1--2 cm bis 20 cm. Sie besitzen eine schlierig bis faserige Grundmasse. Die Blasen Hohlräume sind etwa 0,5--9 mm groß und länglich. Zum Teil haben sie ein deutlich paralleles bis subparalleles Gefüge. Neben Lava- und Schlackenlapilli treten vor allem Feldspat- und Pyroxen-Einsprenglinge in den Blasen Hohlräumen auf. Die meist eckigen bis kantengerundeten Bimssteinlapilli haben z.T. eine "narbig-knotige" Oberfläche.

Der Anteil der Lavablöcke und Xenolithe beträgt etwa 10--20%, wobei eine lagenweise Anreicherung auftreten kann. Die Blöcke haben einen Durchmesser von 2 cm bis 1 m und sind ebenfalls meist eckig bis kantengerundet.

An den Lokalitäten Balos, K. Plaka-S und Oia wurde ein möglichst breites Gesteinsspektrum von Xenolithen aufgesammelt. Von einer Auswahl (36 Proben) verschiedener Gesteinstypen sind Dünnschliffe angefertigt worden. Die einzelnen Xenolithe sind, getrennt nach Lokalitäten, megaskopisch und mikroskopisch tabellarisch kurz beschrieben. Die Tabellen (Tab. 15) sind im Anhang zu finden.

Zusammengefaßt lassen sich folgende neun Gesteinstypen unterscheiden (s. Tab. 2).

Die Laven (1.--5.) sind von ihrer Ausbildung und der Mineralzusammensetzung her mit den älteren Laven des Megalo Vouno-Vulkans ( $M_2$ ) und des Thera-Vulkans ( $T_3$ ) zu vergleichen.

Der Tuff (6.) und der Tuffit (7.) entsprechen den Ablagerungen des Akrotiri-I-Vulkans ( $A_{1+2}$ ).

Die rote Wurfeschlacke ist mit der roten Wurfeschlacke ( $T_2$ ) von K. Plaka identisch.

Der Metamorphit (9.) gehört zum nicht-vulkanischen, metamorphisierten Grundgebirge, das sich unter der gesamten Kykladen-Masse befindet.

Tab. 2 : Die Xenolithe aus der obersten Bu-Schicht (Bu VI)

Gesteinstyp	Balos	K. Plaka-S	Oia
1. Lava, dunkelgrau serial-porphyrisch	10	4	6 + 1= vergrünt
2. Lava, schwarz schlackig	-	-	1
3. Lava, rotbraun porös	3	1	1
4. Lava, grau fließlaminiert	1	-	-
5. Lava, grauschwarz trachytisch	-	-	1
6. Tuff grünweiß	-	-	1
7. Tuffit hellbeige	-	1	1
8. Schlacke rot	1	1	1
9. Metamorphit (Paragneis)	-	-	1

### Die Förderzentren der Unteren Bimsstein-Folge (Bu II-VI)

Zusammenfassend kann man aus dem Auftreten in den verschiedenen Profilen, der Mächtigkeit, der Ausbildung und der Korngröße der Bimssteine ungefähr die Verbreitung der einzelnen Schichten (Bu II-VI) rekonstruieren, sowie die Lage der dazu gehörenden Ausbruchspunkte annähernd bestimmen (Abb. 29). Die Linien in der Abb. geben nur die ungefähre Verbreitung der Schicht-Folgen an, wie sie im Gelände nachzuweisen ist, und spiegeln nicht die ursprüngliche Ausdehnung wider. Die beiden 'pumice fall'-Ablagerungen (Bu II u. V) sind dabei in ihrer Verbreitung deutlich durch die Windrichtung (nach SE) beeinflusst.

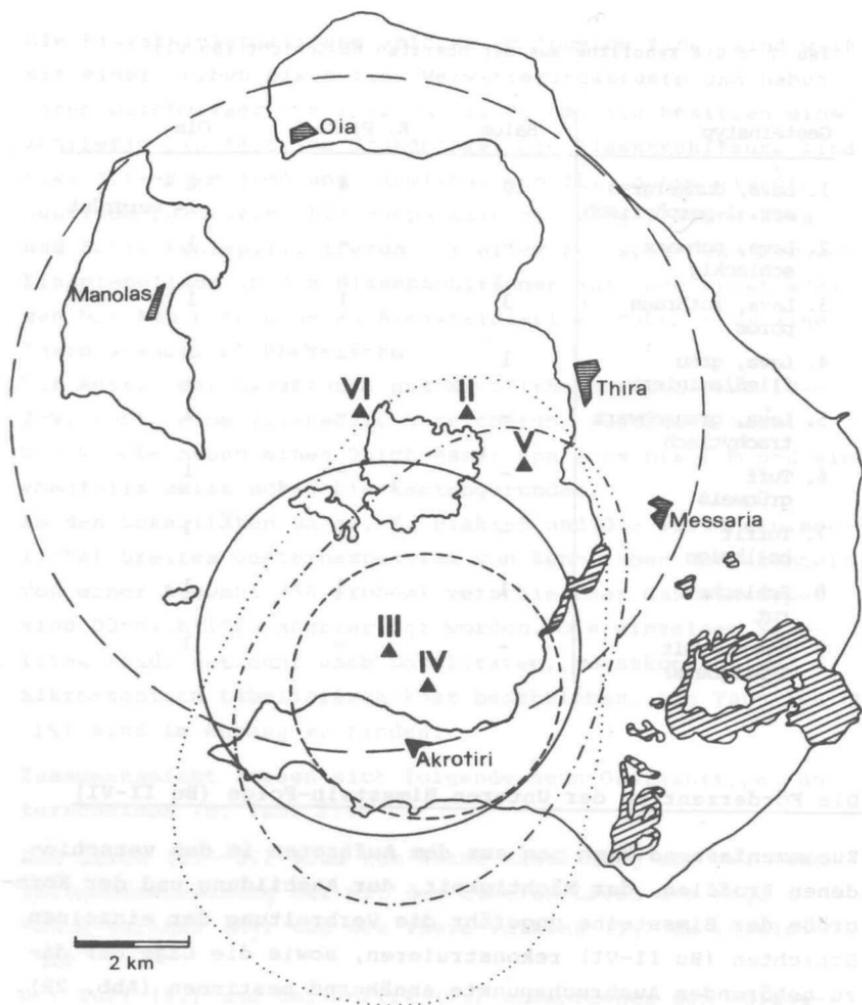


Abb. 29 : Lage der einzelnen Eruptionzentren der Unteren Bimsstein-Folge (Bu II-VI), II=....., III=—, IV=---, V=-·-, VI=---

### 2.2.2. Mikroskopische Beschreibung

#### a) Mineralbestand

Da sich der Mineralbestand der sechs Bu-Schichten nicht wesentlich voneinander unterscheidet, werden die einzelnen Minerale, die als Phänokristalle in den Bimssteinen auftre-

ten, gemeinsam beschrieben. Nur wenn Besonderheiten innerhalb einer Schicht zu beobachten sind, werden sie gesondert erwähnt.

Die Bimssteine haben eine überwiegend hyalin-schaumige Grundmasse. Folgende Phänokristalle kommen vor, geordnet nach ihrer Häufigkeit :

Plagioklas : Es lassen sich zwei Generationen von Plagioklas-kristallen unterscheiden:

1. Große Kristalle mit einer Länge von 143  $\mu\text{m}$ --2 mm
2. Kleinere Kristalle bis zu einer Länge von 89  $\mu\text{m}$

1. Bei den großen Kristallen treten vorwiegend zwei Typen auf :

- a) säulig-stengelige, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle mit Zwillingsbildungen nach dem Karlsbader-Gesetz, oft auch mit zusätzlicher polysynthetischer Verzwilligung nach dem Albit-Gesetz. Selten sind die Kristalle schwach zoniert oder randlich resorbiert;
- b) rechteckige, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle; sie sind ebenfalls randlich mäßig resorbiert, teils auch vom Kern aus korrodiert oder zeigen Erosionsbuchten. Sie haben einen schwachen bis deutlich ausgeprägten Zonarbau, mit meist normaler Zonierung, selten kann sie auch invers sein. Die oszillierende Zonarstruktur gibt einen steten Wechsel der Anorthit-reichen und Anorthit-armen Zonen von innen nach außen an. Andere Kristalle zeigen eine Art "patchy zoning" (VANACE 1965), wobei die einzelnen "Flecken" eine sprunghafte Änderung des An-Gehaltes andeuten.

Bei Verzwilligung herrschen Karlsbader-Zwillinge vor. Relativ selten treten auch Periklin-Zwillingslamellen auf, die meist ungefähr senkrecht zu den Albit-Lamellen liegen. Sie durchziehen selten das ganze Mineral, sondern enden innerhalb des Kristalls. Häufig enthalten die Plagioklas-Kristalle Einschlüsse von Glas, Apatit, Erz und seltener Pyroxen.

Der An-Gehalt liegt bei den nach der RITTMANN-Zonenmethode gemessenen, großen Plagioklas-Einsprenglingen meist zwischen  $\text{An}_{45}$  und  $\text{An}_{60}$ , was einem Andesin bis Labradorit entspricht.

Neben den idiomorphen Kristallen kommen auch Bruchstücke von Plagioklasen vor, die oft zu Agglomeraten angereichert sind. Sie sind meist 'glatt' mit porzellanartiger Trübung und randlicher Resorption. Zum Teil sind die Plagioklase auch in sich völlig zerbrochen und mit Glasmatrix wieder verheilt. Sie treten auch als Xenokristalle auf, in vulkanischer Grundmasse eingebettet.

2. Die zweite Generation Plagioklase liegt regellos in der Glasmatrix und kann stellenweise stark angerei-

chert sein. Es sind leistenförmige Plagioklas-Mikrolithe, die meist nach dem Albit-Gesetz verzwillingt sind.

Orthopyroxen : 115  $\mu\text{m}$ -- 1,2 mm große, idiomorphe bis hypidiomorphe, meist stengelige Kristalle, die einen schwachen bis deutlichen Pleochroismus von gelbrosa nach blaßgrün haben. Sie zeigen eine gerade Auslöschung und sind opt. negativ, mit einem Winkel von  $2V_x = 49\text{--}51^\circ$ , das entspricht einem Hypersthen. Zum Teil sind die Orthopyroxene verwachsen mit Klinopyroxen und Plagioklas und/oder zeigen Einschlüsse derselben. Recht häufig sind die Kristalle randlich resorbiert. Es kommen auch zerbrochene Kristalle vor, wobei die Bruchstücke entweder noch dicht beieinander oder aber vertret in der Glasmatrix liegen. Zwillingsbildung ist nur vereinzelt zu beobachten.

Klinopyroxen : 80  $\mu\text{m}$ --1,3 mm große, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle, z.T. mit Schnitten  $\perp c$  und guter orthogonaler Spaltbarkeit. Die Kristalle sind häufig randlich resorbiert, z.T. stark korrodiert oder kristalloklastisch. Sie treten häufig in Blasen Hohlräumen auf. Selten kann man eine Verzwillingung nach (100) beobachten und Verwachsungen mit Titanomagnetit. Die Klinopyroxene sind opt. positiv, die Auslöschungsschiefe beträgt meist ca.  $37\text{--}42^\circ$ . Dies entspricht etwa einem diopsidischen Augit.

In einigen Bimssteinen (Bu V, 'pumice fall') sind Klinopyroxene als Einschlüsse in vulkanischer Grundmasse zu sehen. Sie sind oft mit einem Reaktionssaum umgeben, z.T. auch zerbrochen, und kommen zusammen mit ophitisch eingelagerten Plagioklasen vor.

Hornblende : In zwei Proben vom Kap Alai (11/7 u. 11/8, Bu II, 'pumice fall') treten einzelne gemeine grüne Hornblenden auf (40 u. 287  $\mu\text{m}$  groß). Sie zeigen einen deutlich gelbgrünen bis braunroten Pleochroismus und besitzen eine gut sichtbare Spaltbarkeit. Die Kristalle sind idiomorph und randlich nur wenig resorbiert, z.T. auch verzwillingt.

Da die Hornblende bisher nur in zwei Proben, und nur als einzelne Exemplare gefunden wurden, läßt sich keine Aussage darüber machen, ob es sich wirklich um primäre Hornblende-Phänokristalle handelt (wie sie z.B. KELLER 1971: 156 angibt) oder, ob sie als Xenokrist von den Akrotiri-Tuffen stammt.

Kleinere, stengelige Hornblende-Kristalle, 103--253  $\mu\text{m}$  groß, mit nahezu gerader Auslöschung und sehr hoher Lichtbrechung finden sich in den Proben von K. Plaka-S (Bu III, 'pumice flow') und von Thira (Bu V, 'pumice fall'). Sie zeigen einen deutlichen Pleochroismus von rotbraun nach grüngelb. Sie sind in der Glasmatrix eingeschlossen oder treten in Xenolith-Bruchstücken auf.

An akzessorischen Mineralen sind vorhanden :

Erz : 46--495  $\mu\text{m}$  große, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle. Häufig liegen jedoch auch gerundete Körner vor, die zusammen mit Pyroxen auftreten. Dies deutet darauf hin, daß sie sich auch als sekundäre Umwandlungsprodukte bei der Opacitisierung aus Orthopyroxen gebildet haben können.

Es handelt sich wahrscheinlich um Magnetit bzw. um Titanomagnetit, wenn man die z.T. hohen  $\text{TiO}_2$ -Gehalte (0.83--0.92) einiger Bimssteine in Betracht zieht. Teils gibt es auch Übergänge zu Ilmenomagnetit.

Apatit : Er kommt meist als Einschluß im Plagioklas, seltener im Pyroxen vor. Es sind häufig kleine Nadelchen oder auch rundliche Körner, selten sieht man ein Kristall mit hexagonalem Habitus.

Hämatit : In Schicht III ('pumice flow') und Schicht V ('pumice fall') treten außer den bisher genannten Kristallen auch Hämatit-Kristalle auf. Sie kommen als orange-rote bis rotbraune Schüppchen vor, sind isotrop und häufig in den Poren angereichert. Teils sind sie mit Magnetit verwachsen. Der Hämatit ist eventuell postmagmatisch als Oxidationsprodukt bei hohen Temperaturen entstanden.

Olivin : Tritt nur in einer Probe vom K. Alai (11/9, Bu V) auf, und zwar in einem Xenolith-Bruchstück, eingeschlossen in vulkanischer Matrix. Er zeigt eine deutliche Idingsitisierung an den Rändern und entlang der Spalt-  
risse.

#### b) Modaler Mineralbestand

Um einen ungefähren Überblick über den Anteil der einzelnen Minerale in den Bimssteinen zu erhalten, wurden mit Hilfe des "Point-Counter"-Verfahrens Modalanalysen an Dünnschliffen durchgeführt. Pro Dünnschliff wurden mindestens 2000 Punkte ausgezählt, aus denen die Volumenprozent errechnet wurden. Nach PLAS & TOBI (1965) liegt dabei der abgeschätzte relative Fehler zwischen 1 und 24 % und der absolute Fehler zwischen 1 und 2,2 %.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tab. 3 zusammengestellt. Der Glasanteil ist bei fast allen Proben höher als der Porenraum. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von früheren Analysen (GÜNTHER & PICHLER 1973). Möglicherweise hängt das mit der Art des Verfahrens zusammen.

Die 'point-counter'-Analyse basiert auf der mikroskopischen Betrachtung der Dünnschliffe, wobei jedesmal "Glas" gezählt wird, wenn unter dem Fadenkreuz eine Glasschliere erscheint. Da aber unmittelbar darunter, im mikro- und kryptokristallinen Bereich, auch ein Hohlraum liegen kann, verfälscht sich so der wahre Porengehalt.

Tab. 3 : Modalanalyse der Bimsstein-Schichten I-III und V+VI der Unteren Bimsstein-Folge (Bu), Angaben in Vol.-%

Schicht	Bu I		Bu II		Bu III		Bu V		Bu VI		
Proben-Nr.	7/7	10/3	7/8	11/8	5/4	2/1	1/6	11/9	4/9	9/11	14/2
Glas	34	42	67	71	59	45	63	44	58	49	46
Poren	58	49	30	21.5	32	51	33	46	38	47	42
Einsprengl.	7.9	8.8	3	7.5	8.9	3.9	3.8	9.8	3.7	3.8	12
davon entfällt auf die einzelnen Minerale (umgerechnet auf 100) :											
Plagioklas	63	68	50	57	23	56	53	62	54	58	67
C-Pyroxen	10	4.5	17	14	4	21	13	20	6	21	8
O-Pyroxen	18	18.3	23	17	8	22.9	11	10	27	5	17
Titanomagn.	8.7	9	9.9	11.8	3	-	7	8	12.8	15.8	8
Apatit	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	-	0.2	0.1	-
Hämatit	-	-	-	-	62	-	15.9	-	-	-	-

Die Analyse macht deutlich, daß die Einsprenglinge in den Bimssteinen des gesamten Bu nur einen sehr geringen Anteil einnehmen, nämlich nur 3--12%. Davon entfällt die Hälfte der Vol.-Prozente auf Plagioklas und durchschnittlich etwa 30% zusammen auf die Pyroxene, wobei in den meisten Proben der Orthopyroxen gegenüber dem Klinopyroxen vorherrscht. Der Erz-Anteil macht zusammen etwa 10--15% aus. Apatit kommt nur akzessorisch in sehr geringen Prozent-Anteilen vor (<0.04%).

### c) Lichtbrechung

Zur Bestimmung der Lichtbrechung wurden die Bimssteine pulverisiert und eine bestimmte Korngröße (62--200  $\mu\text{m}$ ) herausgesiebt. Es sind ca. 100 Körner pro Probe und Lichtbrechungswert gemessen worden, und zwar gegen eine aus n-1-Bromnaphthalin ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{Br}$ ,  $n^{20}=1.658$ ) und N,N-Dimethylformamid ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}$ ,

$n^{20}=1.429--1.431$ ) gemischte und im Abbé-Refraktometer eingestellte Immersionsflüssigkeit.

Für einen mittleren Lichtbrechungswert der einzelnen Proben wurden GAUß-sche Verteilungskurven gezeichnet, deren Wendepunkt den Mittelwert ergeben.

Schicht IV ist bei den Messungen nicht berücksichtigt, da sie sehr uneinheitlich ist, und nicht nur aus Bimssteinen besteht. Daher könnten auch keine exakten Mittelwert-Angaben gemacht werden.

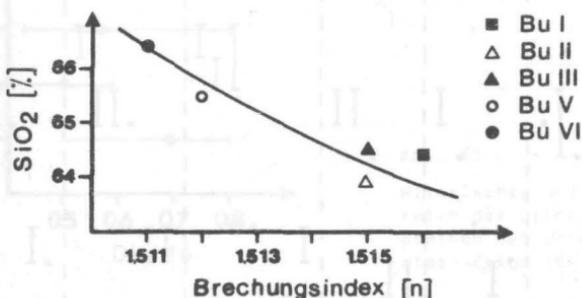


Abb. 30 : Lichtbrechungswert aufgetragen gegen den SiO<sub>2</sub>-Gehalt der Bimsstein-Schichten (Bu I--VI)

Abb. 30 zeigt deutlich die Unterschiede in den Lichtbrechungswerten der einzelnen Bu-Schichten. Die Gläser der unteren 'pumice fall'- und 'pumice flow'-Ablagerungen (Bu II u. III) haben eine höhere Lichtbrechung ( $n=1.515$ ) als die Gläser der oberen 'fall'- und 'flow'-Ablagerungen (Bu V u. VI,  $n=1.512--1.511$ ).

Diese Ergebnisse stimmen mit den Messungen von GÜNTHER (1972: 48) überein, der ebenfalls die Lichtbrechung der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) aus vier verschiedenen Profilen (Akrotiri, Athinios, Oia und Fira) untersucht hat.

Abb. 30 spiegelt fernereine schwache Differentiation innerhalb der Bu-Folge wider, die sich auch geochemisch ausdrückt (s. Kap. 2.2.3.). Die Eruption förderte zunächst etwas weniger saure Bimssteine. Im Folgenden wurde dann das Material

zunehmend saurer bis zum letzten, explosivsten Ausbruch ('pumice flow', Bu VI). Dieser Trend einer leichten Differenzierung ist noch deutlicher in Abb. 31 zu erkennen, bei der der Brechungsindex sowohl in stratigraphischer als auch in geographischer Abfolge (von N nach S) eingetragen ist. Dabei zeigt die oberste Schicht (Bu VI) in allen Profilen die niedrigsten Lichtbrechungswerte.

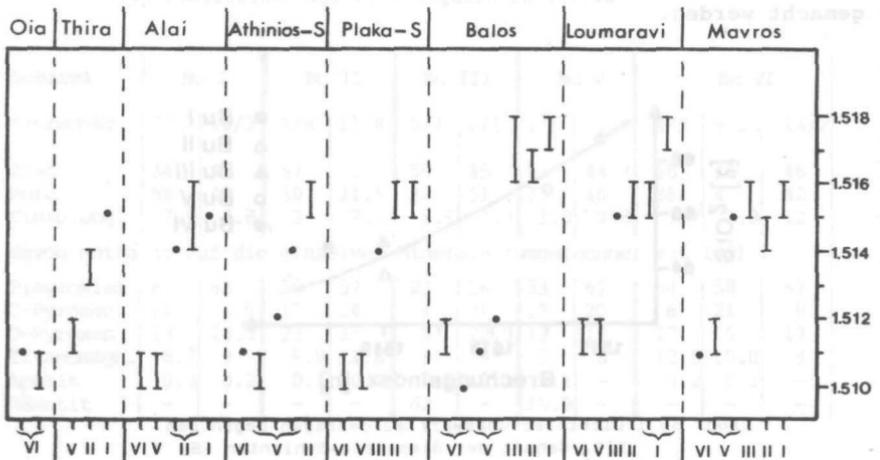


Abb. 31 : Lichtbrechungswerte der Bimsstein-Schichten (Bu I--VI) aufgetragen in Abhängigkeit von der stratigraphischen und geographischen Abfolge

#### d) Dichte

Die Bimssteine wurden bei ca. 110° getrocknet und anschließend gewogen ( $m_B$ ). Nach dem Eintauchen in flüssiges Paraffin ( $\rho = 0.9151$ ) sind sie noch einmal gewogen worden ( $\rightarrow$  Volumen des Wachses,  $V_W$ ). Das Gesamtvolumen der Bimssteine ( $V_{B+W}$ ) konnte mit Hilfe eines Überlaufgefäßes bestimmt werden. Diese Methode liefert zwar keine absoluten Werte des Gesamtvolumens, es sind aber gute Näherungswerte, wie GÜNTHER (1972: 64) in seiner Arbeit darlegt. Die Dichte der Bimssteine entspricht dann dem Quotienten Gewicht durch Gesamtvolumen nach der Formel :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_B}{V_{B+W} - V_W}$$

Danach ergaben sich für die einzelnen Schichtglieder der Bu-Folge folgende mittlere Dichte-Werte (Abb. 32) :

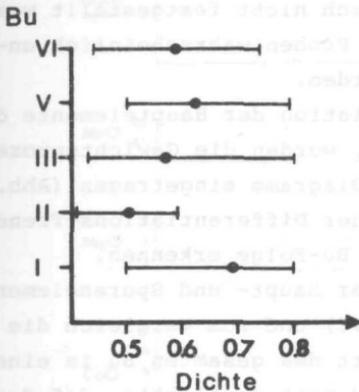


Abb. 32 :

Mittelwerte und Streuungsbereich der Dichte von Bimssteinen der Unteren Bimsstein-Folge (Bu I--VI)

In Abb. 32 ist auch der Streuungsbereich der Dichtewerte angegeben, um noch deutlicher zu zeigen, wie wenig sich die Bu-Schichten in ihrer Dichte voneinander unterscheiden. Nur Schicht I liegt im Mittelwert deutlich höher als die übrigen Schichten (Bu II--VI). Dies hängt sicherlich damit zusammen, daß es sich hierbei um die erste Ausbruchphase handelt, bei der vermehrt Xenolithe und Ascheteilchen zusammen mit den Bimssteinen ausgeworfen wurden (durch Ausprengung eines Schlotes). Da jene mit den Bimssteinen eng verbacken sind, sind sie bei der angewendeten Art der Dichtebestimmung auch mit in die Messung eingegangen.

### 2.2.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemische Entwicklung der Unteren Bimsstein-Folge (Bu)

Die Haupt- und Spurenelemente der Bimsstein-Proben sind mittels der Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) bestimmt worden. Die errechneten Werte, sowie deren CIPW- und RITTMANN-Normen

sind der Tab. 16 im Anhang zu entnehmen.

Der errechnete normative Mineralbestand ist bei allen Schichten des Bu gleich. Dabei sind Oligoklas, Sanidin und Quarz die wichtigsten Minerale. Die dunklen (mafischen) Minerale (Cpx, Opx, Erz u. Apatit) sind von untergeordneter Bedeutung, sie machen zusammen nur 5 bis 8 Vol.% aus.

In drei Proben wurde normativer Cordierit (0.4 Vol.%) nachgewiesen. Da er aber mikroskopisch nicht festgestellt werden konnte, ist bei diesen drei Proben wahrscheinlich unfrisches Material analysiert worden.

Um einen Überblick über die Variation der Hauptelemente der einzelnen Bu-Schichten zu geben, wurden die Gewichtsprozent der Oxide gegen  $\text{SiO}_2$  im HARKER-Diagramm eingetragen (Abb. 33). Schon hier läßt sich ein schwacher Differentiations-Trend vom Liegenden zum Hangenden der Bu-Folge erkennen.

Trägt man nun die Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente getrennt nach Einheiten (Bu I--VI) und zum Vergleich die Variationsbreite und den Mittelwert des gesamten Bu in einer Tabelle nebeneinander auf, wird noch deutlicher, daß der  $\text{SiO}_2$ -,  $\text{K}_2\text{O}$ - und  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt von der untersten (Bu I) zur obersten Schicht (Bu VI) ansteigt, wohingegen die Gehalte von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (=Gesamteisen),  $\text{MgO}$  und  $\text{CaO}$  zum Hangenden hin abnehmen (Tab. 4).

Abb. 34 zeigt die Abhängigkeit des  $\tau$ -Wertes ( $\tau = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}}{\text{TiO}_2}$ ) von dem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt. Je saurer das Material wird, desto geringer wird der Anteil des  $\text{TiO}_2$ , und somit desto größer der  $\tau$ -Wert. Man kann daher auch in dieser graphischen Darstellung einen schwachen Differentiations-Trend des Bu-Magmas erkennen.

Noch deutlicher wird dieser Entwicklungs-Trend im Diagramm  $\text{CI} (= \text{colour index})/\text{SiO}_2$  (Abb. 35).

Zuerst wurde weniger saures Material gefördert, mit einem höheren Anteil an mafischen Mineralen ( $\text{CI} = \text{zw. } 7 \text{ u. } 10$ ). Dann erniedrigte sich mit ansteigendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt die Farbzahl deutlich ( $\text{CI} = 4--6$ ).

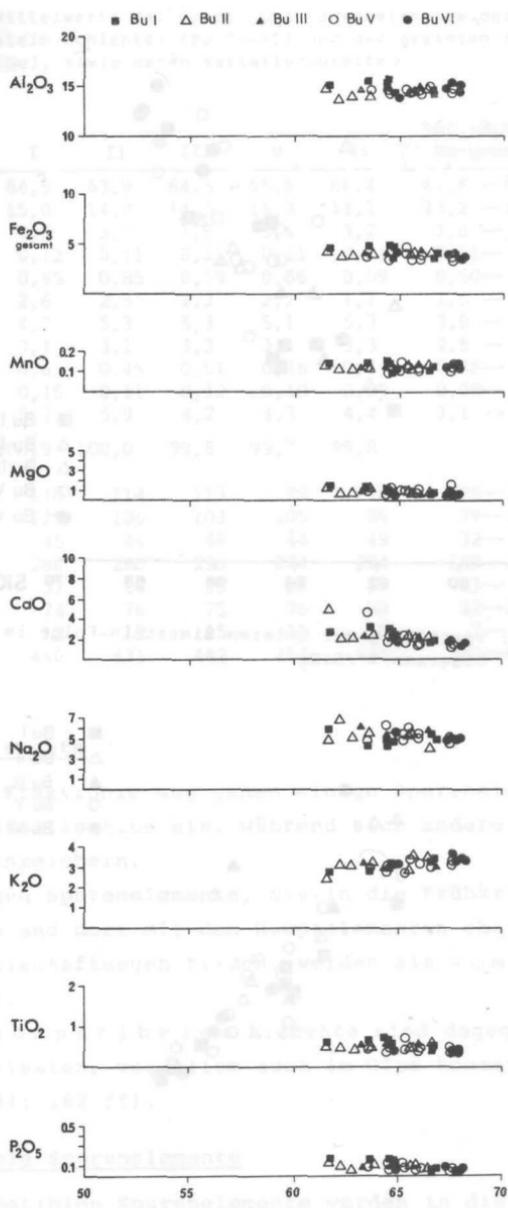


Abb. 33 : HARKER-Diagramm, Verteilung der Hauptelement-Oxide gegen SiO<sub>2</sub> der Unteren Bimsstein-Folge (Bu)

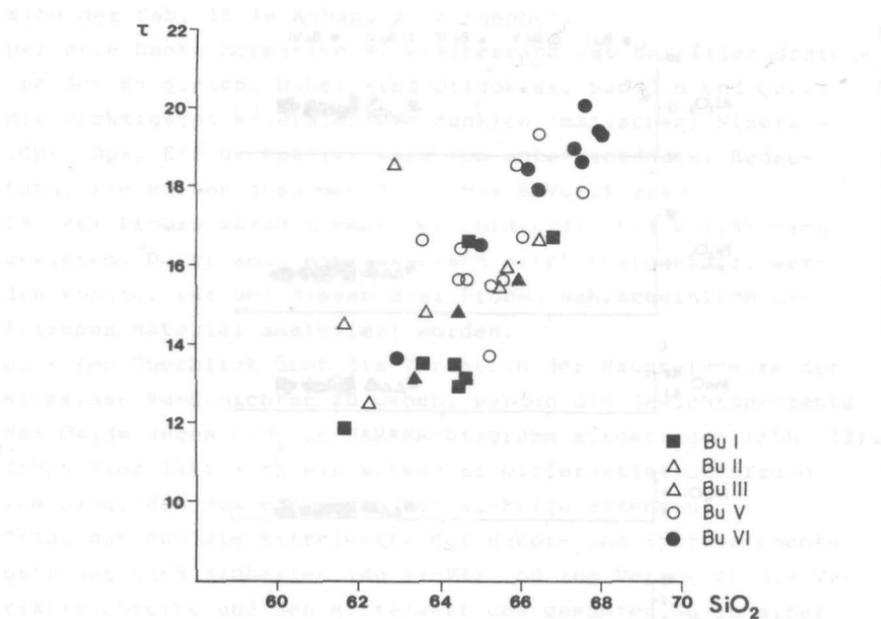


Abb. 34 : Verteilung der Unteren Bimsstein-Folge im Diagramm  $\tau / \text{SiO}_2$

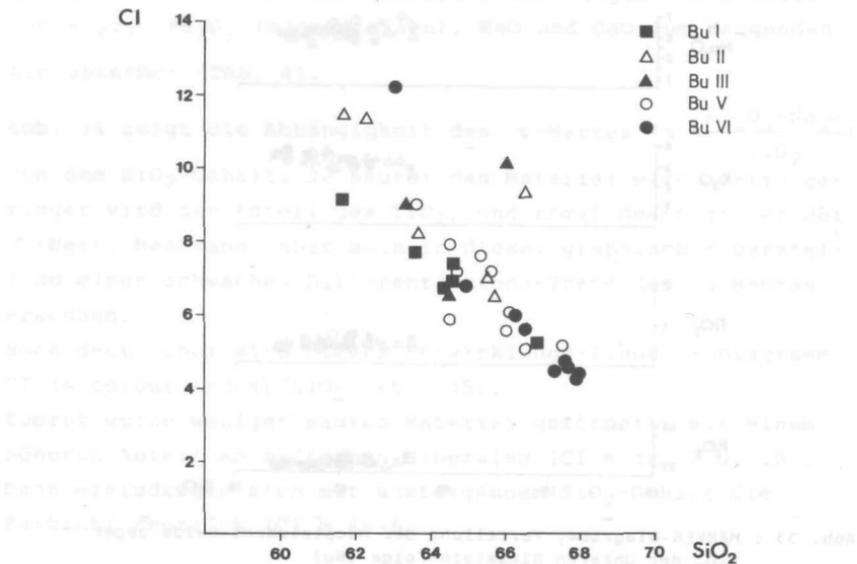


Abb. 35 : Lage der Unteren Bimsstein-Folge im Diagramm  $\text{CI} (= \text{colour index}) / \text{SiO}_2$

Tab. 4 : Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente der einzelnen Bimsstein-Schichten (Bu I--VI) und der gesamten Bimsstein-Folge (Bu), sowie deren Variationsbreite

	I	II	III	V	VI	Var.-Breite	Ø
						Bu-gesamt	Bu-gesamt
SiO <sub>2</sub>	64,5	63,9	64,5	65,5	66,4	61,6 -- 67,7	65,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,0	14,2	14,5	14,3	14,1	13,2 -- 15,5	14,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,1	3,7	3,9	3,6	3,2	3,0 -- 4,6	3,6
MnO	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11 -- 0,13	0,11
MgO	0,95	0,85	0,79	0,86	0,59	0,50 -- 1,67	0,81
CaO	2,6	2,5	2,2	2,2	1,7	1,5 -- 4,9	2,2
Na <sub>2</sub> O	4,7	5,3	5,3	5,1	5,3	3,9 -- 6,9	5,1
K <sub>2</sub> O	3,1	3,1	3,3	3,1	3,3	2,5 -- 3,7	3,1
TiO <sub>2</sub>	0,6	0,45	0,51	0,46	0,4	0,38 -- 0,7	0,48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,11	0,12	0,10	0,09	0,08 -- 0,19	0,11
H <sub>2</sub> O	5,2	5,9	4,2	4,3	4,4	3,1 -- 7,3	4,8
Total	100,9	100,0	99,5	99,7	99,8		100,0
Rb	110	114	113	99	106	86 -- 136	107
Sr	129	106	103	105	86	79 -- 147	105
Y	45	44	46	44	49	32 -- 56	47
Zr	282	280	293	274	294	189 -- 322	283
V	31	24	25	27	17	13 -- 43	25
Zn	74	76	75	76	82	62 -- 114	77
Nb	12	12	15	11	10	7 -- 16	11
Ba	440	431	442	458	439	385 -- 686	444

### Spurenelemente

Bei der Fraktionierung gehen einige Spurenelemente in die Fröhkristallisation ein, während sich andere in den Restlösungen anreichern.

Diejenigen Spurenelemente, die in die Fröhkristallisation eingehen und dort mit den Hauptelementen charakteristische Vergesellschaftungen bilden, werden als kompatibel bezeichnet.

Die inkompatibelen Elemente sind dagegen in den Restkristallisaten, vor allem auch im Glas konzentriert (SCHARBERT 1984: 162 ff).

### Kompatible Spurenelemente

Die kompatiblen Spurenelemente werden in die Kristallgitter der Fröhkristallisate mit den Hauptelementen Mg, Mn, Fe, Ca u.a. aufgenommen. Sie haben gleiche bis ähnliche elektrische

Ladungen und Ionenradien.

Zu den im Rahmen dieser Arbeit bestimmten kompatiblen Spurenelementen gehören Strontium, Vanadium und Zink (Abb. 36a).

- Sr : Wird bevorzugt in die früh ausgeschiedenen Plagioklase basischer Gesteine eingebaut. Der Sr-Gehalt nimmt daher mit steigendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt ab. Das bedeutet auch, daß die Sr-Anteile innerhalb der Bu-Folge vom Liegenden (129 ppm) zum Hangenden (86 ppm) hin abnehmen.
- V : Wird bevorzugt in die Gitter von Magnetit und Hämatit eingebaut, bei den mafischen Silikaten in Klinopyroxen. Im Diagramm V/MgO (Abb. 36a) steigt der V-Anteil mit der Zunahme des MgO-Gehaltes.
- Zn : Kann ausgesprochene Zink-Mineralen (z.B. Zinkspinnelle) bilden. Daneben tritt es in gesteinsbildenden Silikaten als Ersatz für 2-wertiges Eisen und Magnesium auf. Daher erhöht sich der Zn-Gehalt bei abnehmendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt bzw. zunehmendem MgO-/ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalt.

#### Inkompatible Spurenelemente

Die inkompatiblen Spurenelemente sind Barium, Rubidium, Zirkon und Niob (Abb. 36b).

Ba und Rb haben sehr große Ionenradien (1.43 Å u. 1.49 Å) und relativ kleine elektrische Ladungen. Dagegen besitzen Zr und Nb hohe elektrische Ladungen und kleine Ionenradien (0.8 Å u. 0.69 Å).

- Ba : Geht in die früh gebildete Alkalifeldspat-Phase ein. Bei den Plagioklasen führen die intermediären (Andesin-Labradorit) das meiste Ba. So ist der Ba-Wert bei ca. 2,5--3 Gew.%  $\text{K}_2\text{O}$  am größten.
- Rb : Tritt bevorzugt in K-reichen Mineralen auf. Es hat in der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) die höchsten Werte bei einem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt zwischen 64 und 66 Gew.%, d.h. es ist relativ einheitlich in der gesamten Bu-Folge vertreten (s.a. Mittelwerte, Tab. 4).
- Zr : Steigt deutlich mit zunehmendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt, so daß die oberste Schicht (Bu VI) die höchsten Zr-Werte von 300--316 ppm erreicht.
- Nb : Wird bevorzugt in Pyroxenen und Ti-haltigen Mineralen aufgenommen. Daher treten auch bei den größten  $\text{TiO}_2$ -Werten die größten Nb-Gehalte auf. Dagegen zeigt es keinerlei Abhängigkeit vom  $\text{SiO}_2$ -Gehalt.
- Auch der Yttrium-Wert wird nicht vom  $\text{SiO}_2$ -Anteil beeinflusst (Abb. 36c).

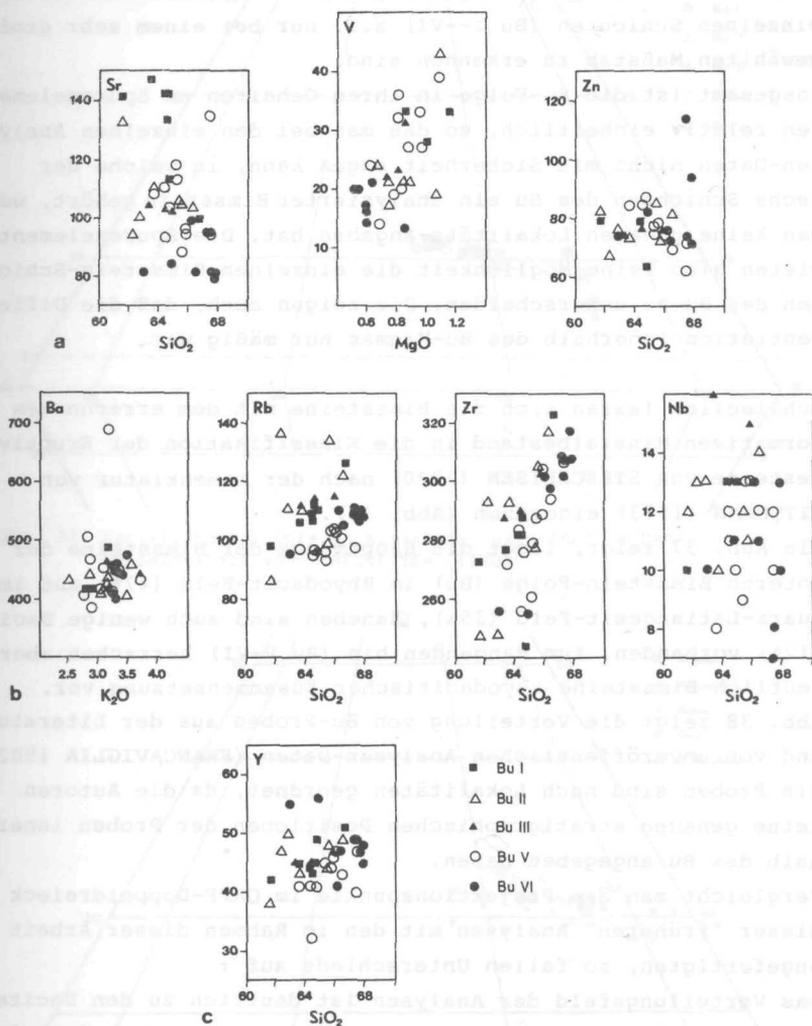


Abb. 36: Spurenelementgehalte gegen SiO<sub>2</sub> bzw. MgO bzw. K<sub>2</sub>O der Unteren Bimsstein-Folge (Bu); a) kompatible Spurenelemente, b) inkompatible Spurenelemente, c) Yttrium-Gehalt

Bei der Betrachtung der darstellenden Diagramme (Abb. 36a--c) darf man jedoch nicht vergessen, daß die Unterschiede in den einzelnen Schichten (Bu I--VI) z.T. nur bei einem sehr groß gewählten Maßstab zu erkennen sind.

Insgesamt ist die Bu-Folge in ihren Gehalten an Spurenelementen relativ einheitlich, so daß man bei den einzelnen Analysen-Daten nicht mit Sicherheit sagen kann, in welche der sechs Schichten des Bu ein analysierter Bimsstein gehört, wenn man keine genauen Lokalitäts-Angaben hat. Die Spurenelemente bieten also keine Möglichkeit die einzelnen Bimsstein-Schichten des Bu zu unterscheiden. Sie zeigen auch, daß die Differentiation innerhalb des Bu-Magmas nur mäßig war.

Schließlich lassen sich die Bimssteine mit dem errechneten normativen Mineralbestand in die Klassifikation der Eruptivgesteine von STRECKEISEN (1980) nach der Nomenklatur von RITTMANN (1973) einordnen (Abb. 37).

Wie Abb. 37 zeigt, liegt die Hauptmenge der Bimssteine der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) im Rhyodacit-Feld (47%) und im Quarz-Latitandesit-Feld (35%), daneben sind auch wenige Dacite (12%) vorhanden. Zum Hangenden hin (Bu V+VI) herrschen aber deutlich Bimssteine rhyodacitischer Zusammensetzung vor.

Abb. 38 zeigt die Verteilung von Bu-Proben aus der Literatur und von unveröffentlichten Analysen-Daten (FRANCAVIGLIA 1982). Die Proben sind nach Lokalitäten geordnet, da die Autoren keine genauen stratigraphischen Positionen der Proben innerhalb des Bu angegeben haben.

Vergleicht man die Projektionspunkte im QAPF-Doppeldreieck dieser "früheren" Analysen mit den im Rahmen dieser Arbeit angefertigten, so fallen Unterschiede auf :

Das Verteilungsfeld der Analysen ist deutlich zu den Daciten hin verschoben. Da die Berechnung der Analysen nach dem gleichen Programm erfolgt ist (RITTMANN-Norm-Programm, HEWERS & STENGELIN 1973), können diese Differenzen nur aufgrund methodischer Ursachen erklärt werden.

Zu der geochemischen Entwicklung der Unteren Bimsstein-Folge läßt sich zusammenfassend Folgendes sagen :

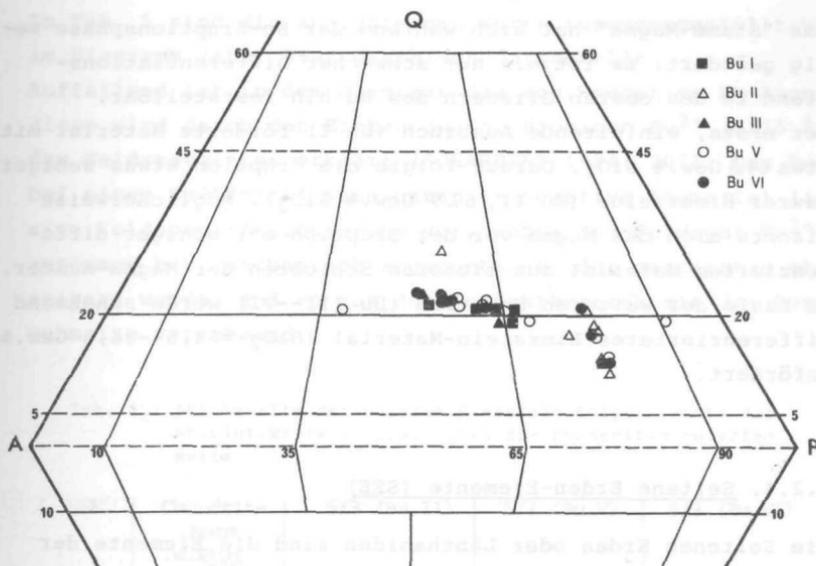


Abb. 37: Verteilung der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) im QAPF-Doppeldreieck von STRECKEISEN (1980)

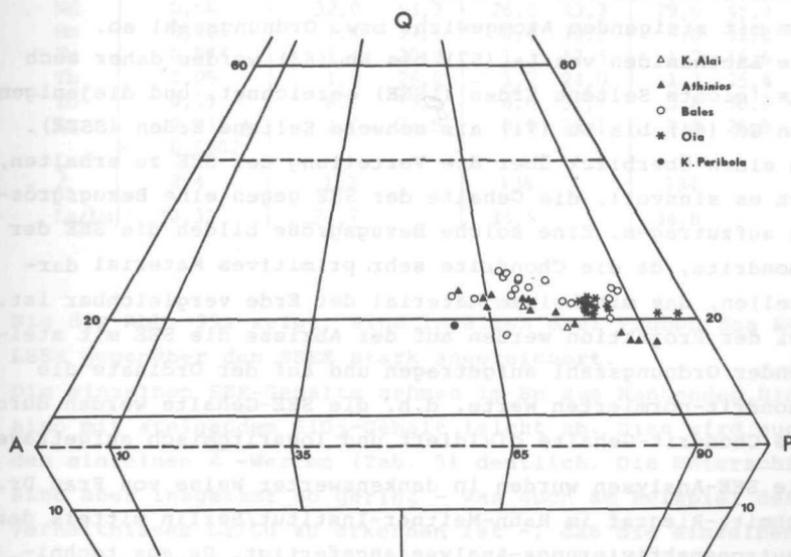


Abb. 38: Verteilung der Analysen der Unteren Bimsstein-Folge aus Daten in der Literatur (Balos: PICHLER & KUSSMAUL, 1972, GÜNTHER, 1972, FRANCAVIGLIA; unveröff. 1982; Alai: PUCHELT & SCHOCK, 1972; Athinios u. Dia: FRANCAVIGLIA, 1982; Peribola: KUSSMAUL, 1971)

Das "Stamm-Magma" hat sich während der Bu-Eruptionsphase wenig geändert. Es ist ein nur schwacher Differentiations-Trend zu den oberen Gliedern des Bu hin feststellbar.

Der erste, einleitende Ausbruch (Bu I) förderte Material mit etwa 64,5 Gew. %  $\text{SiO}_2$ . Darauf folgte die Eruption etwas weniger saurer Bimssteine (Bu II, 63,9 Gew. %  $\text{SiO}_2$ ). Möglicherweise mischte sich das Magma vor der Eruption mit weniger differenziertem Material aus tieferen Schichten der Magma-Kammer. Im Laufe der weiteren Eruption (Bu III--VI) wurde zunehmend differenzierteres Bimsstein-Material ( $\text{SiO}_2 = 64,5 - 66,5$  Gew. %) gefördert.

#### 2.2.4. Seltene Erden-Elemente (SEE)

Die Selteneren Erden oder Lanthaniden sind die Elemente der Ordnungszahlen von 57 (Lanthan) bis 71 (Lutetium). Sie kommen als 3-wertige Kationen vor, nur Europium kann auch in reduziertem Zustand 2-wertig auftreten. Die Ionenradien nehmen mit steigendem Atomgewicht bzw. Ordnungszahl ab.

Die Lanthaniden von La (57) bis Eu (63) werden daher auch als leichte Seltene Erden (LSEE) bezeichnet, und diejenigen von Gd (64) bis Lu (71) als schwere Seltene Erden (SSEE).

Um einen Überblick über die Verteilung der SEE zu erhalten, ist es sinnvoll, die Gehalte der SEE gegen eine Bezugsgröße aufzutragen. Eine solche Bezugsgröße bilden die SEE der Chondrite, da die Chondrite sehr primitives Material darstellen, das mit keinem Material der Erde vergleichbar ist. Bei der Projektion werden auf der Abszisse die SEE mit steigender Ordnungszahl aufgetragen und auf der Ordinate die chondrit-normalierten Werte, d.h. die SEE-Gehalte werden durch die Chondrit-Gehalte dividiert und logarithmisch aufgetragen.

Die SEE-Analysen wurden in dankenswerter Weise von Frau Dr. Schmitt-Riegraf im Hahn-Meitner-Institut/Berlin mittels der Neutronenaktivierungs-Analyse angefertigt. Da aus technischen Gründen die Anzahl der Proben auf sechs Analysen beschränkt bleiben mußte, konnten nur drei neue Proben aus der Unteren Bimsstein-Folge analysiert werden.

In Tab. 5 sind die analysierten Werte zusammengestellt und im Diagramm (Abb. 39a) graphisch dargestellt. Auffallend ist in dem Diagramm die sog. negative Eu-Anomalie; diese wird durch den Einbau des großionigen  $\text{Eu}^{2+}$  (1.25 Å) in das Feldspatgitter erklärt (SCHARBERT 1984: 207). Das heißt, bei einem Eu-"Knick" nach unten (= negative Anomalie) liegt eine Feldspatfraktionierung vor, wobei der Feldspat  $\text{Eu}^{2+}$  aufgenommen hat, mechanisch abgequetscht oder gravitativ abge-saigert wurde, und so aus dem Kontaktbereich mit der Restschmelze verschwand.

Tab. 5 : SEE-Gehalte der Unteren Bimsstein-Folge; rechts die Absolut-Werte in ppm, links die chondrit-normierten Werte

SEE	Chondrit-Norm (WEDEPOHL 1975)	5/3 (Bu II)		5/7 (Bu V)		5/9 (Bu VI)	
La	0,32	33,4	104	30,2	94,4	28,9	90,3
Ce	0,94	68,7	73,1	63,5	67,6	60,4	64,3
Nd	0,60	32,0	53,3	26,0	43,3	29,0	48,3
Sm	0,20	7,4	37,1	6,4	32,3	6,6	32,8
Eu	0,073	1,4	20,0	1,3	17,3	1,2	16,6
Tb	0,05	1,3	26,2	1,2	24,0	1,3	25,4
Yb	0,19	6,7	35,5	6,0	31,7	5,8	30,7
Lu	0,031 + 0,0002	1,0	31,8	0,9	29,1	0,8	26,9
$\Sigma$	2,4	152		136		134	
La/Lu	10,32	33,7		33,5		34,8	

Wie die Abb. 39a zeigt, sind in allen drei Proben des Bu die LSEE gegenüber den SSEE stark angereichert.

Die einzelnen SEE-Gehalte nehmen im Bu zum Hangenden hin, also mit steigendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt leicht ab. Dies wird auch in den einzelnen  $\Sigma$ -Werten (Tab. 5) deutlich. Die Unterschiede sind aber insgesamt so gering - was auch am Beispiel des Verhältnisses La/Lu zu erkennen ist -, daß die einzelnen Schichten des Bu als weitgehend einheitlich bezeichnet werden können.

Ein Vergleich mit den SEE-Daten für die Untere Bimsstein-

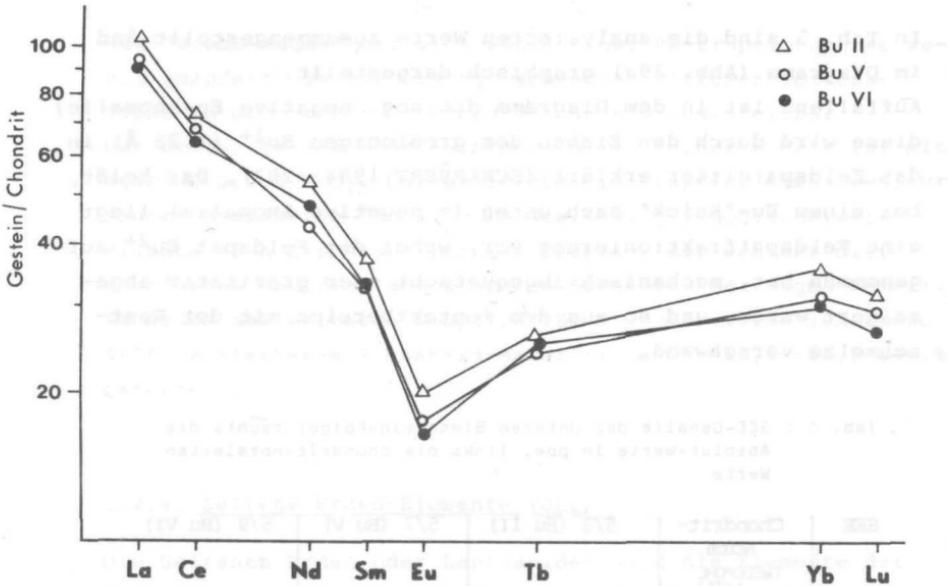


Abb. 39a : Lage der SEE der Unteren Bimsstein-Folge im Diagramm SEE gegen chondrit-normierte SEE-Werte

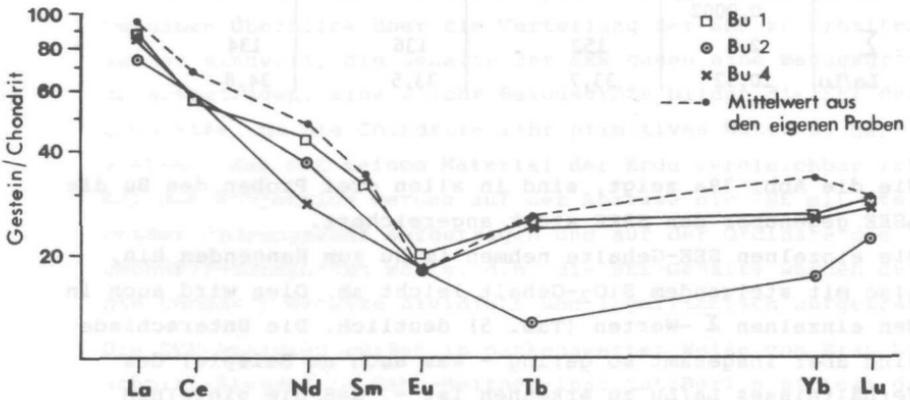


Abb. 39b : SEE-Daten von PUCHELT & SCHOCK (1972) und SCHOCK (1977) umgerechnet (nach der Chondrit-Norm von WEDEPOHL 1975) und neu gezeichnet

Folge aus der Literatur (PUCHELT & SCHOCK 1972, SCHOCK 1977) zeigt eine weitgehende Übereinstimmung mit den neu berechneten Seltenen Erden (Abb. 39b). Nur der Yb-Wert liegt bei den eigenen Proben etwas höher.

### 2.3. Pyroklastische Schichten ( $T_{5/2}$ ) zwischen der Unteren (Bu) und der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm)

Nach der Bildung der Bu-Caldera herrschte eine längere Zeit vulkanische Ruhe, in der eine starke Erosion und auch Umlagerungen stattfanden, die sich zum Teil zu mächtigen Horizonten anhäuften.

Die dann erneut aufflammende, explosive Tätigkeit des Thera-Vulkans förderte wiederum verschiedene Aschen und Schlacken- sowie Bimssteinlapilli, die  $T_{5/2}$ -Schichten.

Für diese Schichten liegen bisher keine Altersdatierungen vor. Das Alter kann aber eingegrenzt werden anhand der Datierungen des Liegenden (Bu= ca. 100 000 Jahre) und des Hangenden (Bm= ca. 50 000 Jahre).

#### 2.3.1. Megaskopische Beschreibung

Die  $T_{5/2}$ -Schichten sind vorwiegend im zentralen Teil der Insel (von K. Alai bis K. Plaka-S) abgelagert und erhalten. Im Süden zwischen K. Loumaravi und K. Akrotiri wurden die Schichten weitgehend erodiert. Hier sind nur wenige, geringmächtige Aschen- und Schlackenlapilli-Horizonte zu finden. Im unteren Teil der  $T_{5/2}$ -Schichten wurde infolge eines Glutwolken-Ausbruches ein Ignimbrit [ $T_4$ ] im S-Teil der Bu-Caldera unterhalb von Thira abgelagert. Er erstreckt sich von Thira bis nach Imerovigli und besteht aus mindestens vier 'flow'-Einheiten (Abb. 40).

Die 'flow'-Einheiten sind deutlich durch Absätze voneinander getrennt, ähneln sich aber lithologisch sehr. Die Grundmasse ist rosabeige und besteht aus Ascheteilchen und verschiedenen Klein-Lapilli (bis 5 mm Durchmesser). In der

Grundmasse liegen vorwiegend eckige bis kantengerundete ebenfalls rosabeige gefärbte Bimssteine von Lapilli- bis Blockgröße, sowie Lavabrocken und Schlackenlapilli und wenige Xenolithe. Die einzelnen Komponenten sind in der Längsachse eingeregelt (Abb. 41).

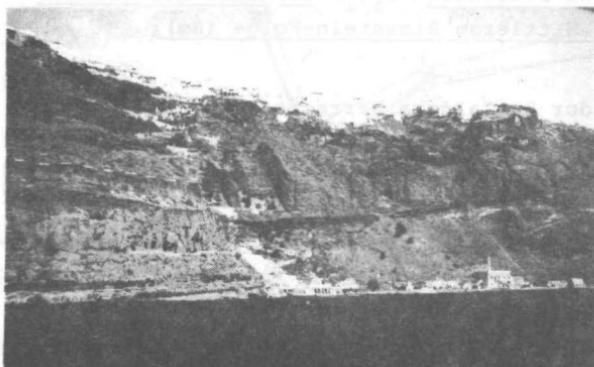


Abb. 40 :

Ignimbrit [I<sub>4</sub>]  
unterhalb Thira  
mit mind. vier  
'flow'-Einheiten

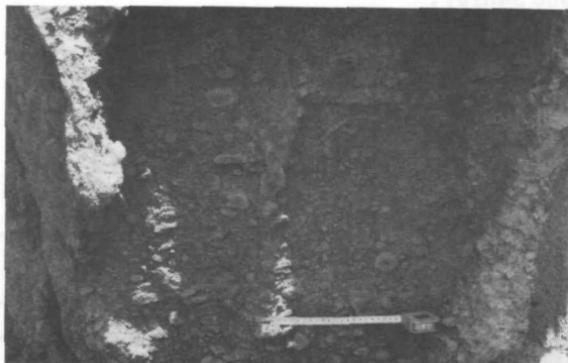


Abb. 41 :

In der Längsachse  
eingeregelt  
Bimssteinlapilli  
und -bomben in  
aschiger Grund-  
masse des Ignim-  
brites [I<sub>4</sub>] bei  
Thira

Der Ignimbrit ist insgesamt wenig verfestigt, "sandet" leicht ab und zeigt keine bis eine nur geringe Verschweissung in den oberen Partien der einzelnen 'flows'. Ebenfalls bei Thira (Profil 12) steht über dem Ignimbrit ein 'pyroclastic flow' an. Er hat eine sehr geringe laterale Ausdehnung - d.h. er ist nur in diesem Profil zu finden - ,

so daß anzunehmen ist, daß der 'flow' aus einem seitlich gelegenen Eruptionszentrum stammt und an der Außenseite der Caldera nach E ausgeflossen ist.

Am Top dieses 'flows' finden sich keil- bis sichelförmige Strukturen, wie sie von WALKER (1972) als "degassing pipes" (Entgasungsröhren) beschrieben worden sind. Diese "Röhren" sind mit gerundeten Bimssteinlapilli und Gesteinsfragmenten in Lapilli-Größe gefüllt (Abb. 42).

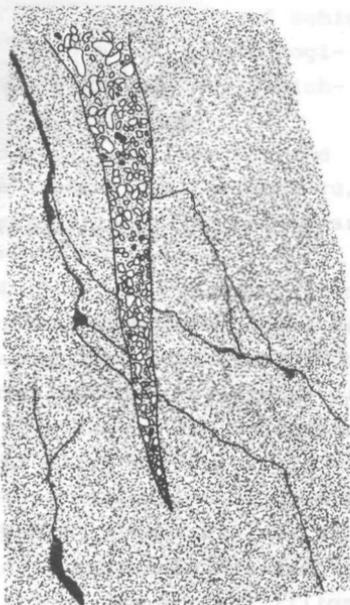
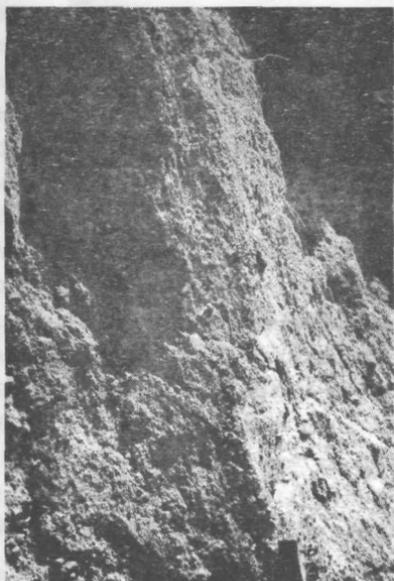


Abb. 42 : "degassing pipes" am Top des 'pyroclastic flow' bei Thira; die Entgasungsröhren sind mit Bimssteinlapilli und Gesteinsfragmenten aufgefüllt

Ein ca. 20 m mächtiger darüberlagernder Bodenhorizont zeugt wiederum von einer vulkanischen Ruhepause.

Die danach ausgeworfenen Aschen sowie Schlacken- und Bimssteinlapilli bilden mehrere Horizonte, in denen sie in wenigen cm-mächtigen Schichten wechsellagern. Die größte Mächtigkeit erreichen diese Schichten am K. Alai (Abb. 43; eine

detaillierte Profilbeschreibung s. im Anhang, Profil 11).

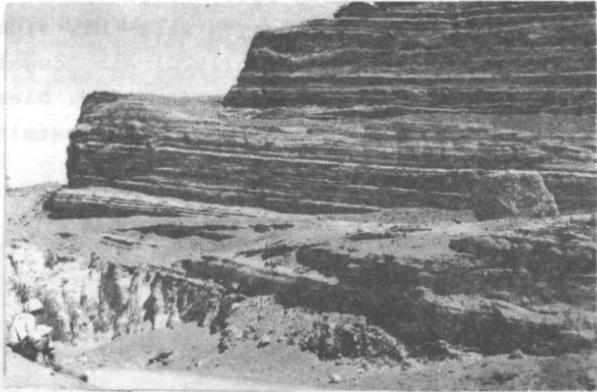


Abb. 43 :  $T_{5/2}$ -Schichten am K. Alai (Profil 11), Wechsella-  
gerung von Aschen, Schlacken- und Bimssteinlapilli

Die Aschen sind meist sehr feingeschichtet und zeigen z.T. Schrägschichtung bzw. lamellare Schichtung.

Die Bimsstein- und Schlackenlapilli-Lagen sind ebenfalls weitgehend gut geschichtet, z.T. auch gradiert.

In der  $T_{5/2}$ -Folge tritt kein eindeutiger Leithorizont auf, da sich die einzelnen Schichtglieder lithologisch alle mehr oder weniger ähneln. Einzig auffallend ist ein Horizont von wechsellagernden rosaroten Aschen und schwarzen Schlackenlapilli, der in den Profilen von K. Plaka-S bis K. Alai zu finden ist.

Es läßt sich jedoch nicht mit Sicherheit sagen, ob es sich in allen Profilen um ein- und denselben Horizont handelt, da er sich durch Erosion und teilweise Schuttbedeckung lateral nicht durchgehend verfolgen läßt. Auch sind unterschiedliche Liegend- und Hangend-Schichten in den einzelnen Profilen zu finden.

Den Abschluß der  $T_{5/2}$ -Folge bilden schwarze Schlackenlapilli, die nach oben in Schlackenbomben übergehen.

Sehr wahrscheinlich gehören auch die rosa Aschen und schwarzen Schlackenlapilli mit den abschließenden Schlackenbomben

in Profil 14 bei Oia zu den Ablagerungen des Thera-Vulkans. Die Schichten 12--15 (s. Profilbeschreibung 14 im Anhang) sind jenen oben erwähnten Schichten lithologisch sehr ähnlich. Es handelt sich ebenfalls um feinkörnige, geschichtete rosa-orange Aschen und schwarze Schlackenlapilli. Da die Rotfärbung aber nur eine Oxidation des Eisens bedeutet, kann diese natürlich jederzeit in jeder Schicht auftreten. Und da im Profil 14 bei Oia die Mittlere Bimsstein-Folge (Bm) als charakteristischer Bezugshorizont fehlt, ist eine genauere stratigraphische Einstufung der "roten" Schichten nicht möglich. Es handelt sich um eine rein lithologische Ähnlichkeit, die eine Zusammengehörigkeit der Schichten vermuten läßt.

Gesteins-Analysen der oberen Schlackenlapilli von Oia und vom K. Alai lassen ebenfalls keine eindeutigen Aussagen zu, da es sich bei allen Proben um Quarz-Latiandesite bzw. Quarz-Andesite handelt.

Die Hangend-Schichten im Profil 14 (Oia) sind dagegen lithologisch derart unterschiedlich von den Hangend-Schichten der anderen Profile, daß angenommen werden kann, daß diese Schichten von den Vulkanen im Norden der Insel (z.B. dem Megalo Vouno) stammen.

### 2.3.2. Mikroskopische Beschreibung

#### a) Mineralbestand

Die T<sub>5/2</sub>-Schichten bestehen zum größten Teil aus Asche-Ablagerungen. Die Bimsstein- und Schlackenlapilli bilden keine charakteristischen Horizonte und besitzen zudem meist sehr kleine Lapilli (mm bis 1-2 cm), so daß keine Dünnschliffe davon angefertigt wurden.

Es wird daher nur der Ignimbrit (12/8, Profil 12, Thira) mikroskopisch beschrieben.

Probe 12/8 : Der Ignimbrit zeigt unter dem Mikroskop eine aschig-glasige Grundmasse, in der gut gerundete bis kantengerundete, blasige Komponenten und Xenolithe bis 6--7 mm Größe liegen. Daneben treten Einsprenglinge von großen, hypidiomorphen Plagioklas-Kristallen (848 µm--1,2 mm) auf und Pyroxene, die meist stark zerbrochen

und korrodiert sind. Die Komponenten und Phänokristalle sind nur schwach eingeregelt und weisen keinerlei Verschweißung auf.

#### b) Lichtbrechung

Von einigen Bimssteinen der  $T_{5/2}$ -Folge wurde ebenfalls die Lichtbrechung der Gläser gemessen. Es ergab sich ein Durchschnittswert von  $1.532 \pm 0.0001$ , bei einem mittleren  $SiO_2$ -Gehalt von 61,3 Gew.%. Die Bimssteine liegen somit im Bereich der Bimssteine der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm, s. Kap. 2.4.).

Die Bimsstein-Proben von Oia haben dieselben Lichtbrechungswerte wie die Bimssteine vom K. Alai. Dies ist ein weiterer Hinweis dafür, daß es sich im Profil bei Oia doch um Schichten des Thera-Vulkans handelt.

#### c) Dichte

Die Dichte-Messungen von den Schichtgliedern der  $T_{5/2}$ -Folge ergaben für die Bimssteine und Schlacken folgende Werte :

Bimssteine = 0.62--0.99, Mittelwert: 0.86

Schlacken = 1.45--1.56, Mittelwert: 1.50

Anhand der Dichte-Werte läßt sich allerdings nichts über die Zugehörigkeit einer Probe zu einer bestimmten Schicht sagen. Die Messungen wurden lediglich zu dem Zweck gemacht, Bimssteine und Schlacken in strittigen Fällen unterscheiden zu können, und nachzuprüfen, ob die Einteilung nach PERLAKI (1966) auch für die Bimssteine und Schlacken auf Santorin zutrifft (s.a. Kap. 2.1.2.c).

#### 2.3.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch-petrographische Entwicklung der $T_{5/2}$ -Folge

Da die Schichten der  $T_{5/2}$ -Folge - ebenso wie die Schichten der  $T_{5/1}$ - und der  $T_{5/3}$ -Folgen - geochemisch noch nicht bearbeitet worden sind, wurden von acht Proben geochemische

Analysen mittels der RFA durchgeführt (s. Tab. 16 im Anhang). Die Variationsbreite und die Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente sind aus Tab. 6 ersichtlich.

Tab. 6 : Variationsbreite und Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente in der T<sub>5/2</sub>-Folge

	Schlacken	Ø	Bimssteine	Ø
SiO <sub>2</sub>	53,4 -- 61,3	56,6	60,6 -- 62,6	61,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,7 -- 17,7	16,5	14,9 -- 15,6	15,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4 -- 8,4	7,5	5,4 -- 6,3	6,0
MnO	0,15 -- 0,18	0,14	0,14 -- 0,15	0,14
MgO	1,85 -- 5,66	3,53	1,37 -- 1,70	1,56
CaO	4,4 -- 9,5	7,0	3,8 -- 4,2	4,0
Na <sub>2</sub> O	2,9 -- 5,4	4,0	4,6 -- 4,8	4,7
K <sub>2</sub> O	1,0 -- 2,3	1,5	2,1 -- 2,5	2,3
TiO <sub>2</sub>	0,77 -- 0,99	0,91	0,8 -- 0,93	0,86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13 -- 0,23	0,15	0,24 -- 0,27	0,25
H <sub>2</sub> O	0,2 -- 1,5	0,8	2,5 -- 4,9	3,6
Total		98,7		99,9
Rb	35 -- 79	54	75 -- 94	85
Sr	163 -- 246	194	147 -- 177	161
Y	18 -- 41	28	40 -- 41	40
Zr	111 -- 239	166	224 -- 245	238

Die diagrammatische Darstellung der Hauptelemente im Diagramm nach HARKER (Abb. 44) macht die Variation der Gewichtsprozent der Oxide in Abhängigkeit vom SiO<sub>2</sub>-Anteil deutlich. Mit zunehmendem SiO<sub>2</sub>-Gehalt sind im wesentlichen abnehmende CaO-, MgO- und Gesamteisen-Gehalte verbunden. Die Alkalien zeigen dagegen einen generellen Aufwärts-Trend mit zunehmendem SiO<sub>2</sub>.

Auffallend ist dabei der deutliche Sprung bei ca. 55 Gew.% SiO<sub>2</sub> von etwa 1 nach 2,5 Gew.% für K<sub>2</sub>O und von 3 nach 5 Gew.% für Na<sub>2</sub>O. Dagegen variieren TiO<sub>2</sub> und MnO kaum.

Weiterhin läßt sich ein schwacher Differentiations-Trend bei den einzelnen Profilen vom Liegenden zum Hangenden hin erkennen.

Auch die Spurenelemente weisen eine deutliche Abhängigkeit vom SiO<sub>2</sub>-Gehalt auf (Abb. 45).

Rubidium, Zirkon und Yttrium zeigen eine kontinuierliche

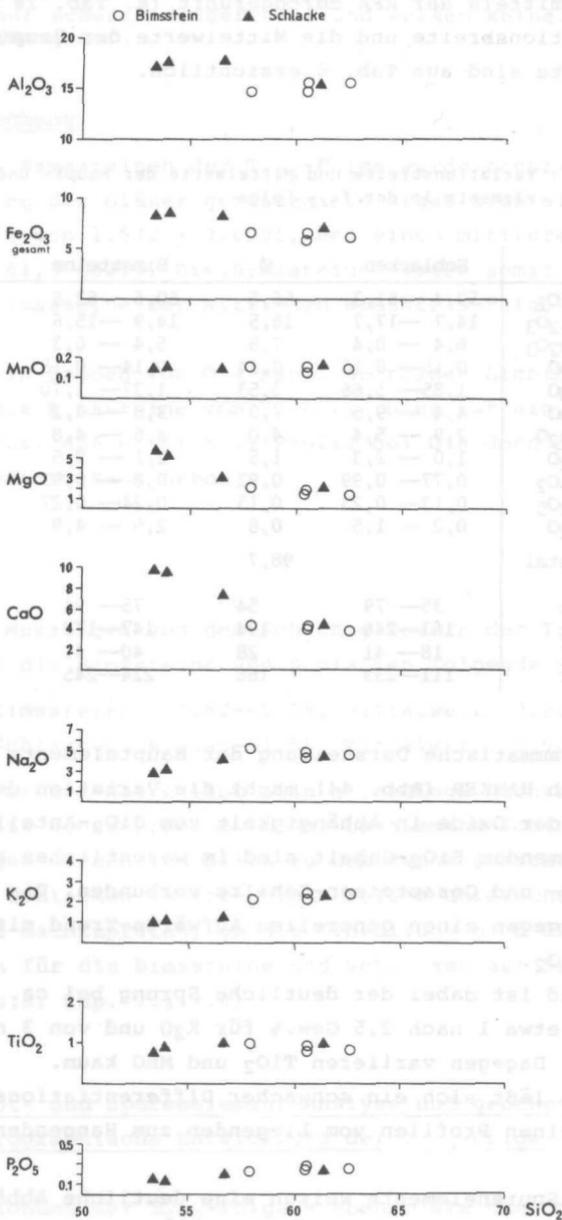


Abb. 44 : Verteilung der Hauptelemente der T<sub>5/2</sub>-Schichten im Diagramm nach HARKER (1909)

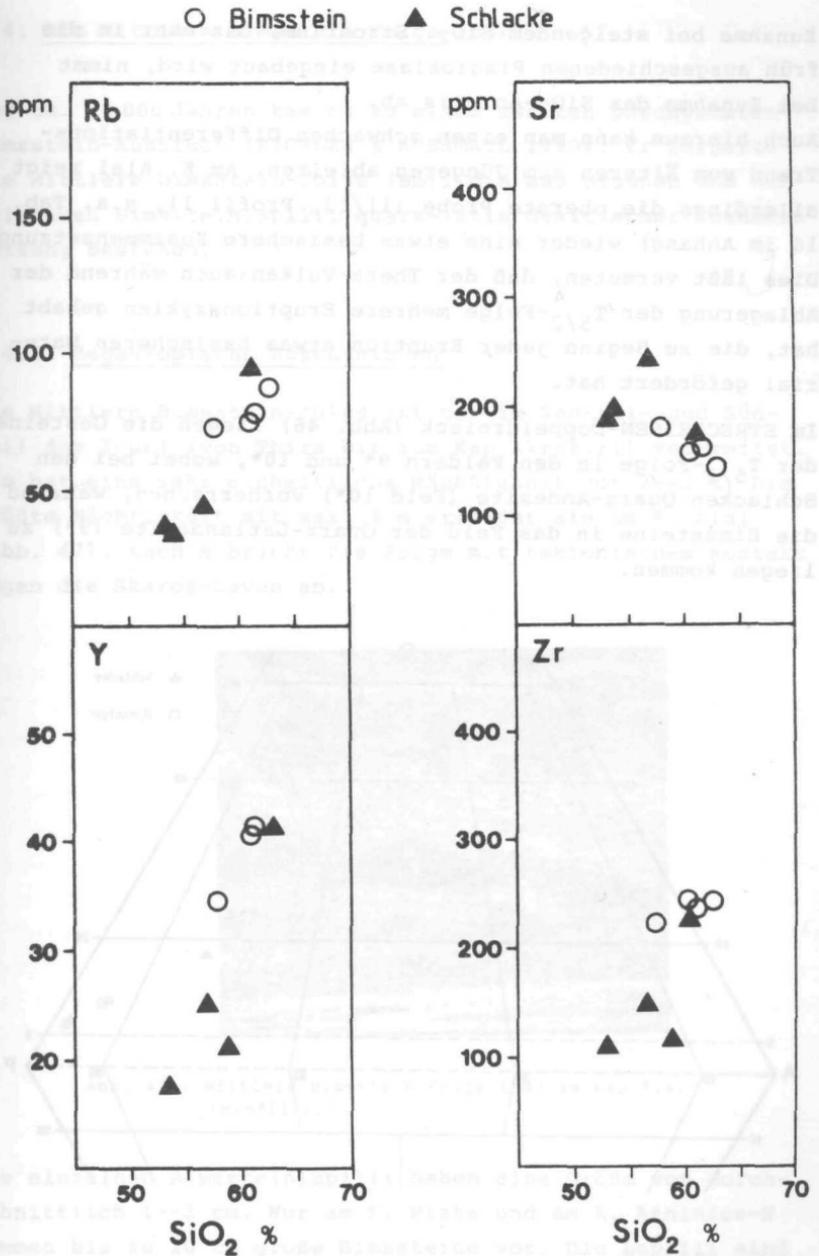


Abb. 45 : Darstellung der Schichten der  $T_{5/2}$ -Folge im Diagramm Spurenelemente gegen  $SiO_2$



## 2.4. Die Mittlere Bimsstein-Folge (Bm) (Bm)

Vor ca. 50 000 Jahren kam es zu einem zweiten paroxysmalen Bimsstein-Ausbruch (PICHLER & KUSSMAUL 1980). Er förderte die Mittlere Bimsstein-Folge (Bm), die aus braunen und dunkelgrauen Bimssteinlapilli quarz-latiandesitischer Zusammensetzung bestehen.

### 2.4.1. Megaskopische Beschreibung

Die Mittlere Bimsstein-Folge ist nur im Zentral- und Süd-Teil der Insel (von Thira bis zum Kap Akrotiri) verbreitet. Sie hat eine sehr einheitliche Mächtigkeit von 2--3 m. Die größte Mächtigkeit mit max. 4 m erreicht sie am K. Alai (Abb. 47). Nach N bricht die Folge mit tektonischem Kontakt gegen die Skaros-Laven ab.

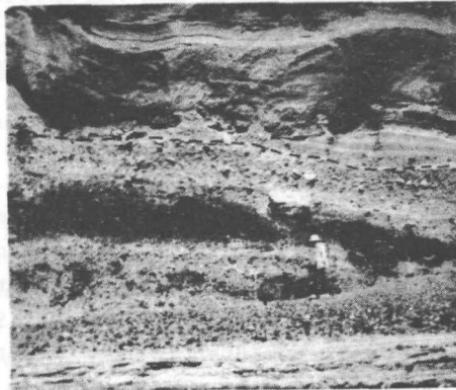


Abb. 47 : Mittlere Bimsstein-Folge (Bm) am Kap Alai  
(Profil 11)

Die einzelnen Bimssteinlapilli haben eine Größe von durchschnittlich 1--3 cm. Nur am K. Plaka und am K. Athinios-S kommen bis zu 20 cm große Bimssteine vor. Die Lapilli sind im frischen Zustand scharfkantig, durch die Verwitterung werden sie gelblich-braun und "sanden" stark ab. Die einzelnen Poren sind bis 6 mm, z.T. auch bis 1--1,5 cm groß und meist

subparallel bis parallel angeordnet. Die Poren sind röhrenförmig und z.T. ausgelängt, die Glaszwischenwände sind faserig. In den Blasenhohlräumen befinden sich Lavalapilli, Asche- teilchen und Einsprenglinge, vorwiegend von Feldspäten. Die gleichmäßig durchhaltende Mächtigkeit der Schicht-Folge, der mehr oder weniger einheitliche Durchmesser der Bimsstein- lapilli und der geradlinige Verlauf der Schicht sprechen für eine 'pumice fall'-Ablagerung (Abb. 48).

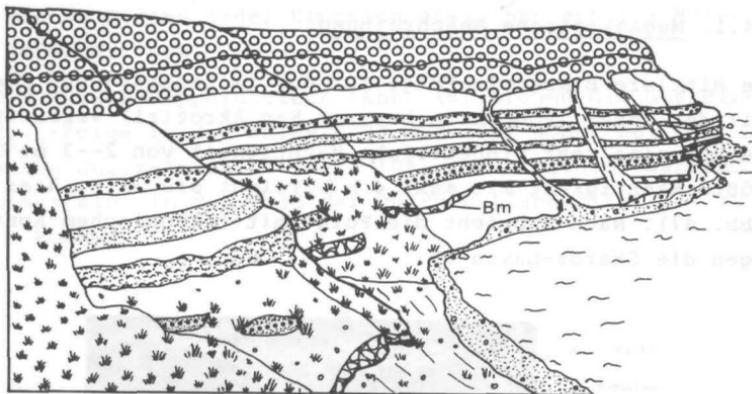


Abb. 48 : Mittlere Bimstein-Folge (Bm), 'pumice fall'- Ablagerung am K. Aspronisi

An den Treppen von Thira (Profil 12) ist die Bm-Folge allerdings stark verschweißt. Sie bildet hier einen schwarzen, glasig-harten ignimbrischen Horizont mit deutlicher Auslängung und Abplattung der Komponenten (Abb. 49).

Auch die weniger verschweißten Partien haben noch deutlich ausgelängte und eingeregelt Komponenten (s.a. PICHLER 1963). Die megaskopisch gut erkennbaren Feldspat-Kristalle sind ebenfalls eingeregelt.

Unterhalb des ignimbrischen Horizontes treten bei Thira ca. 60 cm völlig unverschweißte Bimssteinlapilli auf, die ebenfalls der Bm-Folge zuzurechnen sind.

Die starke Verschweißung der Bm-Folge, die nur bei Thira auftritt - nach Süden geht die Schicht in den unverschweißten 'pumice fall' über -, spricht dafür, daß das Eruptionszen-

trum in unmittelbarer Nähe gelegen hat.



Abb. 49 : Stark verschweißte Bm-Folge bei Thira (Profil 12)

In den anderen Profilen ist der Bm lithologisch und auch geochemisch (s. Kap. 2.4.3.) außerordentlich einheitlich. Er zieht sich als deutlich erkennbarer Leithorizont entlang der Caldera-Wände von der S-Spitze bis zur Skaros-Bastion.

Die hochexplosive Eruption führte auch diesmal zum Einbruch des Schlotes und zur Bildung einer Caldera, der Bm- oder auch Skaros-Caldera. Diese lag vermutlich etwas N von Thira, von der M.P.Elias-Bucht bis südlich von K. Tourlos. Diskordanzen und Verwerfungszonen südlich des M.P. Elias und bei Thira unterstützen diese Vermutung (s.a. KUSSMAUL 1971: 34).

Die Bm-Caldera wurde im Folgenden von ca. 30 horizontal gelagerten Lavaströmen des Skaros-Vulkans, sowie der  $T_{5/3}$ -Schichten des Thera-Vulkans wieder weitgehend aufgefüllt.

#### 2.4.2. Mikroskopische Beschreibung

##### a) Mineralbestand

Die Bimssteine der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm) haben eine glasige, kleinporige Grundmasse. Die Poren sind meist rundlich

und z.T. auch in der Längsachse eingeregelt und ausgelängt. Das Glas ist stellenweise schlierig. Die Phänokristalle liegen meist regellos in der Glasmatrix, können aber auch in größeren Blasen Hohlräumen als Kristall-Aggregate auftreten. Die Einsprenglinge werden nach der Häufigkeit ihres Auftretens geordnet kurz beschrieben :

Plagioklas : 332  $\mu\text{m}$ --2 mm große, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle mit Verzwilligungen nach dem Karlsbader-Gesetz, seltener nach dem Albit- oder Periklin-Gesetz. Die Kristalle sind randlich oft resorbiert und zeigen z.T. auch Kern-Korrosionen. Plagioklas-Bruchstücke sind meist "glatt", porzellanartig gefärbt und z.T. in sich zerbrochen. Die Bruchstellen sind teils mit Glas wieder verheilt. Die Plagioklas-Bruchstücke zeigen keinerlei Verzwilligung, sind aber häufig zoniert. Als Einschlüsse finden sich in allen Plagioklasen oft Apatitnadeln und Glas. In der Grundmasse treten überwiegend Pl-Mikrolithe auf, die Karlsbader und/oder Albit-Zwillinge zeigen und vorwiegend einen tafeligen Habitus nach (010) haben.

Klinopyroxen : 227--575  $\mu\text{m}$  große, hypidiomorphe bis xenomorphe Kristalle, randlich meist resorbiert und oft auch zerbrochen. Die Kristalle sind häufig nach (100) verzwilligt und haben z.T. eine Zwillingslamelle ausgebildet. Selten zeigen sie einen schwachen Pleochroismus von grüngelb nach blaßgrün. Sie haben oft Einschlüsse von Glas und/oder Plagioklas. Ein Teil der Klinopyroxene ist vom Kern ausgehend fast völlig korrodiert.

Orthopyroxen : Die Orthopyroxene treten gegenüber den Klinopyroxenen zurück. Es sind 80--472  $\mu\text{m}$  große, meist längliche, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle mit schwachem bis deutlich ausgeprägtem Pleochroismus von rosa-gelblich nach blaugrün. Sie zeigen eine gerade Auslöschung mit einem Achsenwinkel von  $2V_x \approx 51^\circ$ . Zusammen mit dem negativen opt. Charakter ergibt das einen Hypersthen.

#### Akzessorien :

Erz : 104--172  $\mu\text{m}$  große, opake, meist gerundete Körner. Daneben treten auch hypidiomorphe Kristalle auf, die nach ihren Kristallflächen für einen Magnetit sprechen. Wo bei der Ti-Anteil mehr oder weniger groß ist, so daß es Übergänge zu Titanomagnetit gibt.

Hämatit : Tritt sehr häufig als rot-orange Schüppchen in den Proben aus dem S-Teil der Insel auf (K. Mavros--K. Plaka). In den Proben von K. Alai und Thira ist er nicht zu finden. Oft kann man auch Verwachsungen mit Magnetit beobachten.

Apatit : Er ist farblos und meist dünnadelig und kommt als Einschluß in Plagioklas, seltener in Pyroxen vor.

Der ignimbrische Bm von Thira (12/11, Profil 11) zeigt unter dem Mikroskop stark verschweißte Glasschlieren, die weder Blasen Hohlräume noch kleinere Zwischenräume aufweisen. Zwischen diesen stark verschweißten Partien liegen auch etwas blasigere Partien, in denen die Kristalle (Pl, Opx, Cpx) senkrecht zur Druckrichtung ausgelängt und eingeregelt sind. Sie sind meist xenomorph, randlich resorbiert und korrodiert. Die Xenolith-Komponenten sind 2--3 mm groß und etwas ausgelängt, z.T. zeigen sie einen deutlichen Reaktionssaum. Bei den meisten Xenolithen handelt es sich um Vulkanite mit vorwiegend porphyrischem Gefüge.

#### b) Modaler Mineralbestand

Der ungefähre Anteil der einzelnen Minerale in den Bimssteinen der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm) wurde mittels Modalanalysen (point-counter-Verfahren) festgestellt. In Tab. 7 sind die Ergebnisse der Messungen aufgeführt.

Tab. 7 : Modalanalysen der Bimssteine der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm)

Proben-Nr.	3/1	4/10	7/12	12/10
Glas	49,5	54	50	58
Poren	42	36,5	42	34
Einsprengl.	8,2	9,4	7,3	7,6
davon entfällt auf die einzelnen Minerale (umgerechnet auf 100) :				
Plagioklas	65,8	46,6	52	60,5
C-Pyroxen	11	13,8	12,3	13,8
O-Pyroxen	12	5,3	6,8	12
Magnetit	11	7,2	8	12,8
Apatit	0,1	0,2	0,1	0,3
Hämatit	-	26,8	20,4	-

Wie auch in der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) ist der Glas-Anteil höher als der Porengehalt, was aber - wie bereits erwähnt (s.S. 59) - an der Art des Verfahrens liegen kann.

Die Einsprenglinge machen nur einen geringen Prozentsatz (zusammen 7--9 Vol.%) innerhalb des Gesteins aus. Davon nimmt der Plagioklas mit ungefähr 46--65 Vol.% den größten Anteil ein, dann folgen die Pyroxene mit ca. 20--25 Vol.%, wobei der Klinopyroxen etwas häufiger auftritt.

Der Apatit-Anteil ist fast vernachlässigbar gering, da er ja nur als Einschluß in den größeren Kristallen vorkommt. Hämatit ist - wie bereits oben erwähnt - nur in den Proben der Süd-Profile stark angereichert.

### c) Lichtbrechung

Die gemessenen Lichtbrechungen ergaben für die Gläser der Bimsstein-Proben einen recht einheitlichen Wert von  $n = 1.530$ . Abb. 50 zeigt die Werte der einzelnen Proben, geordnet von Süden nach Norden.

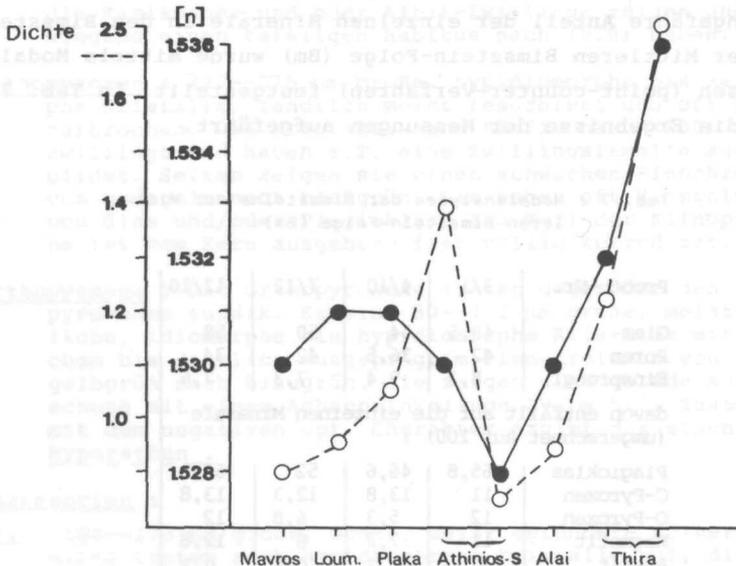


Abb. 50 : Lichtbrechungs (●)- und Dichte-Werte (o) der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm) in Abhängigkeit von der geographischen Lage der Proben

Man sieht, daß die Lichtbrechung nach N (Profil 12, Thira) zum Ausbruchspunkt hin stark ansteigt. Bei Probe 12/11 ( $n =$

1.536) handelt sich es um ein Glas des stark verschweißten Ignimbrites. Probe 9/13b zeigt sehr geringe Werte, was auf eine etwas stärker saure Zusammensetzung der Bimssteine hindeutet; dies bestätigt sich auch in der geochemischen Analyse (63 Gew.%  $\text{SiO}_2$ ).

Die Messungen stimmen mit denen von GÜNTHER (1972: 49) weitgehend überein.

#### d) Dichte

Die Dichte-Messungen der Bimssteine zeigen ebenfalls relativ einheitliche Werte (0.9--1.2). Nur die Dichte des Bimssteins von Athinios-S (9/13a,  $\rho=1.4$ ) und die des Ignimbrits von Thira (12/11,  $\rho=2.5$ ) liegen wesentlich höher.

In Abb. 50 wurde die Dichte gemeinsam mit der Lichtbrechung in Abhängigkeit von der geographischen Lage der Proben aufgetragen. Man sieht deutlich die Übereinstimmung in Dichte und Lichtbrechung der einzelnen Proben. Betrachtet man die Ergebnisse der Dichte-Messungen des Bm im Vergleich mit denen der Unteren Bimsstein-Folge (Bu, s. Abb. 32), fällt auf, daß die Werte für den Bm deutlich höher liegen. Dies spiegelt auch den unterschiedlichen Chemismus der beiden Bimsstein-Folgen wider (Bu=  $\emptyset$  65,1 Gew.%  $\text{SiO}_2$ , Bm=  $\emptyset$  62,3 Gew.%  $\text{SiO}_2$ ).

#### 2.4.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm)

Auch von der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm) wurden die Haupt- und Spurenelemente mittels der RFA gemessen. Die Ergebnisse der Analysen und die daraus berechneten normativen Mineralbestände (nach der RITTMANN- und der CIPW-Norm) sind aus der Tab. 16 im Anhang zu ersehen.

Die wichtigsten normativen Minerale sind Oligoklas (57.6 Vol.%), Sanidin (16.5 Vol.%) und Quarz (15.4 Vol.%). Die mafischen Minerale treten demgegenüber mit zusammen 10.6 Vol.% stark zurück; die Pyroxene nehmen davon zusammen 8 Vol.% ein,

der Rest verteilt sich auf Magnetit, Ilmenit und Apatit. Die Einheitlichkeit der Mittleren Bimsstein-Folge kommt auch im Chemismus deutlich zum Ausdruck. Tab. 8 zeigt die geringe Variationsbreite des Bm.

Tab. 8 : Variationsbreite und Mittelwert der Haupt- und Spurenelemente der Mittleren Bimsstein-Folge (Bm)

	Variationsbreite	Ø
SiO <sub>2</sub>	61,5 -- 63,7	62,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,6 -- 15,6	15,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,4 -- 5,9	5,7
MnO	0,14 -- 0,16	0,15
MgO	1,15 -- 1,46	1,33
CaO	3,3 -- 3,7	3,5
Na <sub>2</sub> O	4,5 -- 5,5	5,0
K <sub>2</sub> O	2,4 -- 2,5	2,4
TiO <sub>2</sub>	0,72 -- 0,85	0,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16 -- 0,23	0,21
H <sub>2</sub> O	1,6 -- 4,3	3,3
Total		99,8
Rb	89 -- 98	92
Sr	138 -- 158	150
Y	43 -- 52	48
Zr	223 -- 270	243
V	30 -- 59	48
Zn	98 -- 101	95
Nb	8 -- 12	10
Ba	327 -- 410	370

Auch in den diagrammatischen Darstellungen (Abb. 51 u. 52) der Haupt- und Spurenelemente wird deutlich, wie eng geschart die einzelnen Proben der Bm-Folge liegen.

Im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 53) liegen die Projektionspunkte ebenfalls dicht beieinander, im Feld der Quarz-Latiandeseite (Feld 9\*). Dies deutet auf einen einmaligen Eruptionsakt für die Bm-Folge hin.

Ein Vergleich mit den Daten aus der Literatur (Abb. 54) zeigt, daß dort die Q-Komponente im Durchschnitt höher liegt als bei den eigenen Proben.

Da die Daten von PUCHELT & SCHOCK (1972) und PICHLER & KUSSMAUL (1972) meist mit anderen Analyse-Verfahren gemessen wur-

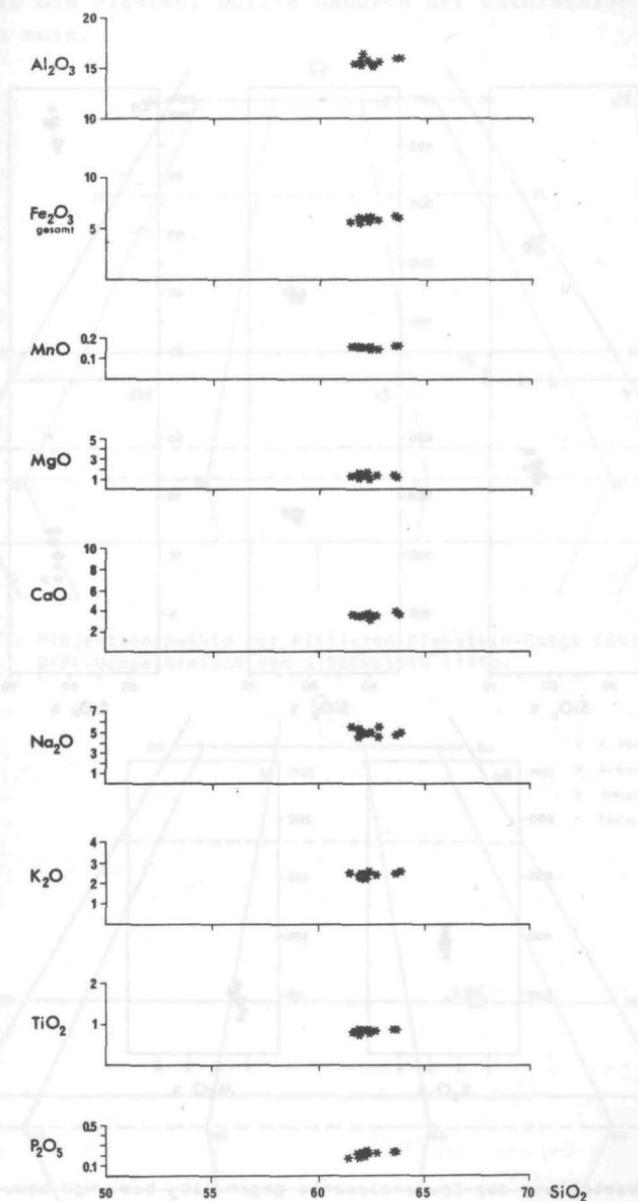


Abb. 51 : Hauptelement-Oxide gegen SiO<sub>2</sub> der Bm-Folge

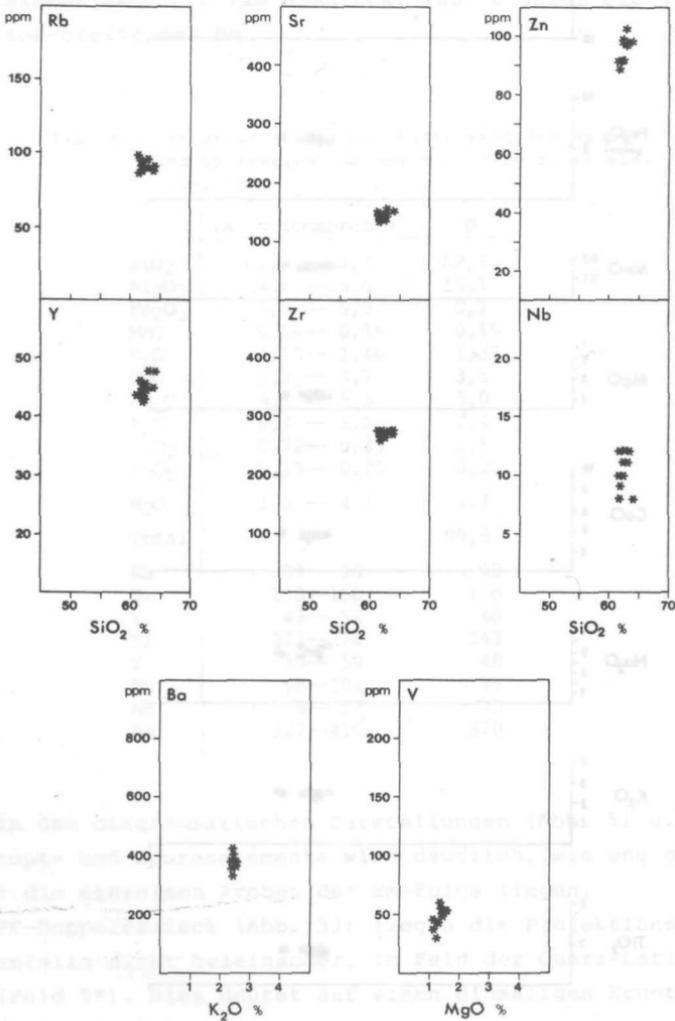


Abb. 52 : Verteilung der Spurenelemente gegen  $\text{SiO}_2$  bzw.  $\text{MgO}$  bzw.  $\text{K}_2\text{O}$  bei den der Mittleren Binsstein-Folge (Bm)

Da die Daten von FUCHS & SCHWAB (1972) und FUCHS & FUCHS (1973) mit den Daten der Mittleren Binsstein-Folge (Bm) verglichen werden können, ist die Verteilung der Spurenelemente bei den Binsstein-Folgen (Bm) mit der Verteilung der Spurenelemente bei den Binsstein-Folgen (Bm) verglichen werden können.



## 2.5. Pyroklastische Schichten ( $T_{5/3}$ ) zwischen der Mittleren (Bm) und der Oberen (Bo) Bimsstein-Folge

Wiederum herrschte eine Zeit lang vulkanische Ruhe. Dann brach der Vulkan erneut aus und es kam zur Ablagerung von verschiedenen Aschen-, Schlacken- und kleineren Bimsstein-Horizonten, die durch Eruptionspausen und Erosion unterbrochen wurde. Es entstanden Erosionsrinnen und Cañons, die ihrerseits mit Lahar-Ablagerungen, Umlagerungs-Horizonten und jüngerem pyroklastischem Material aufgefüllt wurden. Zum Teil wurden diese Schichten erneut von Erosionsdiskordanzen abgeschnitten (Abb. 55). In den Eruptionspausen konnten sich außerdem verschiedene Paläoböden ausbilden, die zum Teil hervorragende Leithorizonte ergeben.



Abb. 55 : Erosionsrinnen und -diskordanzen innerhalb der  $T_{5/3}$ -Schichten im ehem. Steinbruch am Kap Therma

### 2.5.1. Megaskopische Beschreibung

Die  $T_{5/3}$ -Folge ist auf der ganzen S-Hälfte der Insel verbreitet, von der Skaros-Bastion bis zum K. Akrotiri. Die größte Mächtigkeit mit ca. 30 m hat sie bei Thira (Profil 12). Am besten aufgeschlossen sind die Schichten aber im Profil 11, am K. Alai. Dieses Profil wurde bereits 1977 von FRIEDRICH et al. beschrieben.

Die  $T_{5/3}$ -Folge beginnt mit Ablagerungen von quarz-latiandesitischen Schlackenlapilli und graubraunen Aschen. Bei Thira treten in derselben stratigraphischen Position ein 'pyroclastic flow' und ein Lahar auf, die aber Schlackenlapilli (12/12) gleicher chemischer Zusammensetzung erhalten. Darüber folgt ein ca. 1 m mächtiger Bimsstein-Horizont, der sich mit erosionsbedingten Unterbrechungen von Thira bis zum K. Aspronisi verfolgen läßt. Die einheitliche Mächtigkeit, die gleichförmige Korngröße (1--2 cm) und die Ablagerungsform lassen auf einen 'pumice fall' schließen. Am K. Aspronisi zeigt der Horizont eine normale Gradierung (0,5-3 cm--0,5-1 cm). Die Bimssteine haben ebenfalls eine quarz-latiandesitische Zusammensetzung. Dieser Horizont ist auch auf Therasia aufgeschlossen (Probe V 25, MAIER-LINDEN) und kann daher als Leithorizont zur Korrelation der beiden Inseln gebraucht werden.

Anschließend wurden Schlackenlapilli (0,5--2 cm) und dunkelbraune Aschen im schnellen Wechsel abgelagert, die zum Hangenden hin in eine ca. 0,5--2 m mächtige reine Schlackenlapilli-Schicht quarz-andesitischer Zusammensetzung übergehen. Nach erneuter Ablagerung von geringmächtigen Aschen-Horizonten (0,3--1 m), folgte eine Zeit vulkanischer Ruhe, die im N durch Bodenhorizonte und Umlagerungen, im S durch Erosion belegt ist. Die Bodenhorizonte enthalten z.T. Wurzeln und Blätter (Abb. 56).

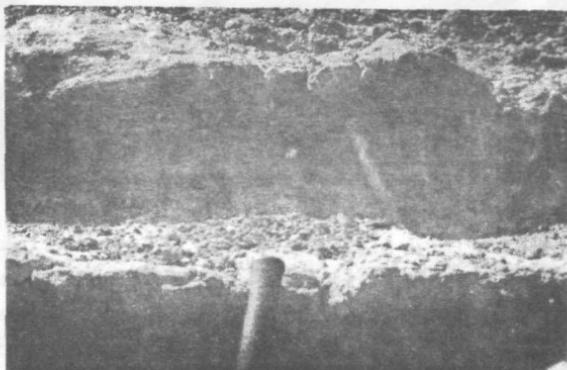


Abb. 56 :

Fossile Wurzeln  
im Bodenhorizont  
der  $T_{5/3}$ -Folge  
am Kap Alai

Bei Balos und am K. Alai wurden aus diesem Bodenhorizont Proben entnommen, die im Senckenberg-Museum (Dr. F. SCHAAR-SCHMIDT) auf Pollen und Sporen hin untersucht wurden. Leider brachte auch diese Untersuchung kein verwertbares Material. Dieser Boden-Horizont entspricht der Schicht 16 von FRIEDRICH et al. (1977: 33). Es folgt ein ca. 0,3--0,5 m mächtiger Bimsstein-Horizont, mit beigeen Lapilli von 1--2 cm Größe.

Darüber lagert ein charakteristischer, ca. 3--4 m mächtiger Leithorizont, der über ganz Thera verbreitet ist, und auch auf Therasia zu finden ist (vergl. MAIER-LINDEN in Vorb.). Es handelt sich um eine Folge von : (von unten nach oben)

rosa Aschen  
Schlackenlapilli  
weiß-graues Asche-Doppelband  
Schlackenlapilli  
weiß-graues Asche-Band  
Schlackenlapilli bis -bomben



Abb. 57 :

Leithorizont der  
T<sub>5/3</sub>-Folge am Kap  
Plaka

Die Schlackenlapilli zeigen einen einheitlichen Chemismus, es handelt sich durchweg um Quarz-Latiandesite. Die Aschen-"Bänder" sind gut verfestigt, z.T. feingeschichtet mit Schrägschichtungslamellen, z.T. enthalten sie reichlich Pisolithe (Abb. 58 a+b). Pisolithe sind lapilligroße, konzentrisch aufgebaute Aschekügelchen, die als feuchte Aggregate, z.B. bei Eruptionsregen, gebildet werden. Sie haben oft ei-

nen Kern (Lapilli oder Kristall), um den sich die Ascheteilchen legen (= armored lapilli, WATERS & FISHER 1971).



Abb. 58 a :

Fingeschichtetes Asche-Band mit Schrägschichtungen und eingebombten Lapilli, am Kap Alai



Abb. 58 b :

Pisolithe (accretionary lapilli) im Asche-Band, bei Balos

Der unterste rosa Aschen-Horizont entspricht der Schicht 14 von FRIEDRICH et al. (1977: 33). FRIEDRICH fand darin einen inkohlten Holzrest einer Zypressen-Art (Cupressacea), der

nach <sup>14</sup>C-Bestimmungen ein Alter von ungefähr 37 000 Jahren hat. Danach können die Pflanzenfossilien mit dem KALABAKI I und II-Interstadial von N-Griechenland (WJUMSTRA 1969) korreliert werden, welches dem Weichsel-Interstadial von NW-Europa entspricht.

Das Asche-Doppelband ist neben den Bimsstein-Folgen (Bu, Bm, Bo) der einzig durchgehend verfolgbare Leithorizont. Daher wurde versucht mit Hilfe von Korngrößen-Analysen der Aschen und auch der Pisolithe das ungefähre Eruptionszentrum und die Windrichtung zu bestimmen. Das Ergebnis wird im nächsten Kapitel (2.5.2.) ausführlich dargelegt.

Nach der Ablagerung dieses markanten Leithorizontes wurden wieder in der Hauptsache Schlackenlapilli mit Durchmesser zwischen 0,5 und 3 cm gefördert, deren Schichten von kleineren Asche-Horizonten unterbrochen werden. Am K. Alai zeigen einige dieser Aschen wiederum fossile Wurzeln, Blätterste und Abdrücke von Bäumen. Nach den Bestimmungen von FRIEDRICH (1978) handelt es sich bei den Pflanzenfossilien um Blätter und Abdrücke von Ölbäumen, Pistazien, Zypressen und Palmen-Arten, sowie um Tamarisken. Diese Pflanzen, sowie palynologische Untersuchungen weisen darauf hin, daß das Klima zu dieser Zeit in etwa dem heutigen Mittelmeerklima entsprach.

Es folgt eine ca. 5--6 m mächtige Wechselagerung von schwarzen Schlackenlapilli und Aschen. Die Aschen zeigen nur im Süden der Insel eine auffällig gelb-orange Färbung. Diese Verfärbung wurde wahrscheinlich sekundär durch Oberflächenwasser hervorgerufen.

Bei Thira, am K. Plaka-S und etwas südlich davon finden sich in etwa derselben stratigraphischen Position ebenfalls schwarze Schlackenlapilli im Wechsel mit Aschen. Die Schlacken sind hier aber außerordentlich reich an Olivin-Phänokristallen bis 4 mm Länge. Da bisher in den Schichten des Thera-Vulkans keine primären Olivin-Kristalle gefunden wurden, ist es sicher, daß diese olivinreichen Schlacken von einem Ausbruch des Kokkino Vouno-Vulkans im N stammen, der vorwiegend schwarze Schlackenlapilli mit Olivin-Kristallen förderte und dessen

Produkte eine sehr ähnliche chemische Zusammensetzung haben (vergl. KUSSMAUL 1971, Tab. 2b 11, eigene Pr.12/18a, s. Anhang Tab. 16).

Mit der Ablagerung einer weiteren ca. 2--3 m mächtigen Wechselagerung von Schlackenlapilli und Lapilli-Aschen endeten zunächst die Eruptionen des Thera-Vulkans.

### 2.5.2. Korngrößen-Analysen des Aschen-Leithorizontes der T<sub>5/3</sub>-Folge

Für die Korngrößen-Analysen der Aschen wurden dieselben Verfahren und Darstellungen zugrunde gelegt, wie sie für Sedimentgesteine üblich sind (SCHNEIDERHÖHN 1953, MÜLLER 1964, VOSSMERBÄUMER 1976).

Für die Siebung wurden die Aschen-Proben mit den Fingern zerrieben und in die einzelnen Komponenten zerlegt, sowie die Pisolithe separiert. Zum Teil waren die Proben aber so verfestigt, daß sie vorbehandelt werden mußten. Die nur schwach verfestigten Aschen konnten mit einem Holzmörser vorsichtig zerlegt werden. Bei den stärker verfestigten Aschen wurden zwei verschiedene Verfahren angewandt (z.T. einzeln, bei manchen Proben auch beide kombiniert) :

1. Benzinsprengung
2. Frostsprengung mit fl. Stickstoff (-196°C)

Anschließend wurden die Proben bei 110°C getrocknet und 100 g in einem elektromagnetischen Rüttelsieb (Retax-Labormaschine) mit einem kompletten Siebsatz (0,063--6.3 mm) 10 Min. lang gesiebt. Danach wurde jeweils der halbe Siebsatz ca. 3 Min. lang per Hand nachgesiebt. Auf die Bestimmung der Tonfraktion < 63  $\mu$  wurde verzichtet, da für die Untersuchungen nur die mittleren Korndurchmesser (Md) von Interesse waren, die in den meisten Summenkurven erreicht wurden.

Für die Analysen standen auch die Aschen-Proben von Therasia (von Frau MAIER-LINDEN freundlicherweise überlassen) zur Verfügung.

Die Ergebnisse werden als Kornsummenkurven dargestellt. Dabei wird nach MÜLLER (1964) die Korngröße (in mm) im logarithmischen Maßstab auf der Abzisse, die Kornhäufigkeit (in %) im linearen Maßstab auf der Ordinate aufgetragen. Jeder Wendepunkt der Kurve entspricht dabei einem Maximum.

Für den oberen Aschen-Horizont liegt das Maximum ca. zwischen 0,125 und 0,315 mm, das untere Asche-Doppelband ist etwas feinkörniger, das Maximum liegt hier zwischen 0,063 und 0,125 mm.

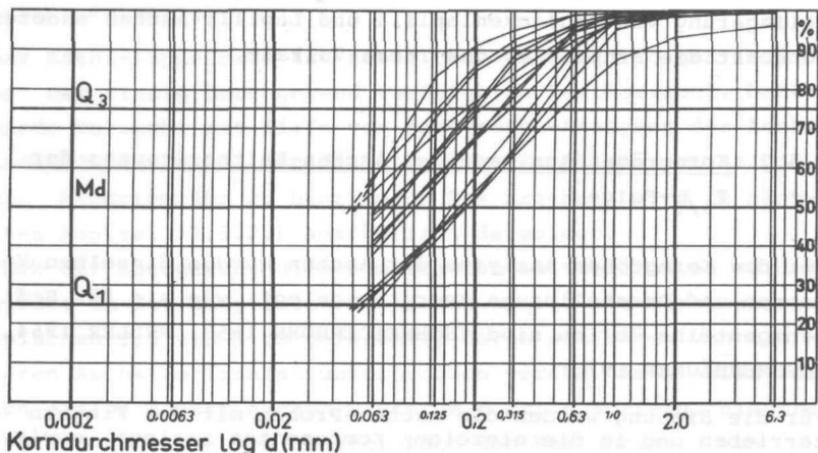


Abb. 59 a : Summenkurve des oberen Aschen-Bandes der T<sub>5/3</sub>-Folge

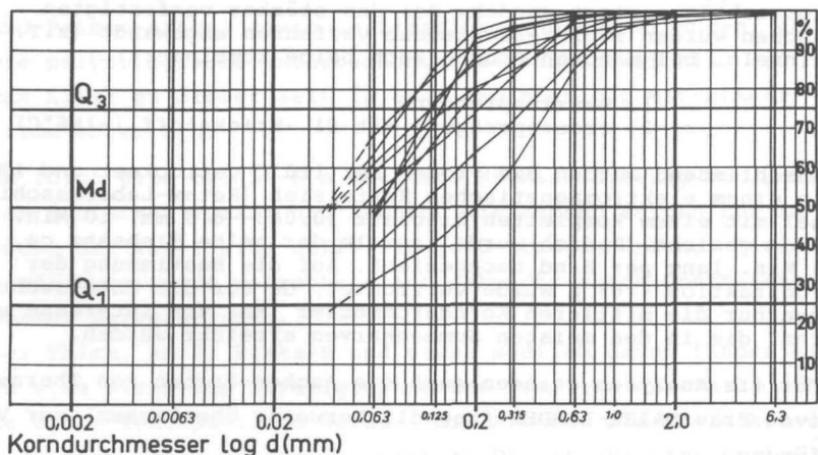


Abb. 59 b : Summenkurve des unteren Asche-Doppelbandes

Die relativ flachen Summenkurven (Abb. 59 a+b) zeigen, daß die Aschen sehr schlecht sortiert sind. Dies bestätigen auch die errechneten Werte der Sortierung ( $S_o$ ), die einen

Wert  $> 2$  (Manolas-S = 2.72, Manolas-N = 2.79, K. Plaka-S = 2.28, Thira = 2.65) haben (nach einem Nomenklatur-Vorschlag von FÜCHTBAUER 1959 ist  $So = Q_3/Q_1 = > 2 =$  sehr schlecht sortiert).

Die mittleren Korndurchmesser ( $Md =$  die Korngröße, bei der die Summenkurven die 50%-Linie schneidet) der einzelnen Proben wurden zur Erstellung einer Isolinien-Karte verwendet (Abb. 60).

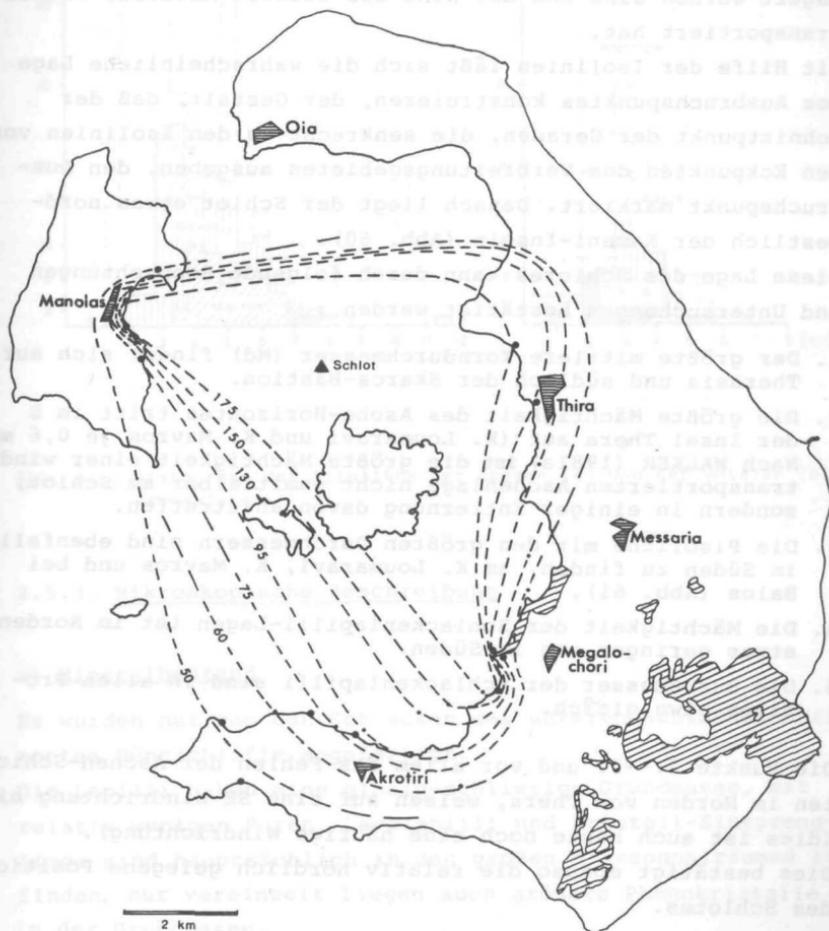


Abb. 60 : Isolinien-Karte des oberen Aschen-Horizontes der T<sub>5/3</sub>-Folge

Es fällt auf, daß die Isolinien im Bereich von K. Athinios und K. Plaka einen erheblichen Knick aufweisen, d.h. der Md-Wert steigt plötzlich wieder an. Da dort der Phyllit als morphologische Erhebung ansteht, liegt die Vermutung nahe, daß die Morphologie die Sedimentation der Aschen beeinflusst hat, d.h., daß dort die größten Ascheteilchen im Lee abgelagert worden sind und der Wind das feinere Material weitertransportiert hat.

Mit Hilfe der Isolinien läßt sich die wahrscheinliche Lage des Ausbruchspunktes konstruieren, der Gestalt, daß der Schnittpunkt der Geraden, die senkrecht zu den Isolinien von den Eckpunkten des Verbreitungsgebietes ausgehen, den Ausbruchspunkt markiert. Danach liegt der Schlot etwas nordwestlich der Kameni-Inseln (Abb. 60).

Diese Lage des Schlotes kann durch folgende Beobachtungen und Untersuchungen bestätigt werden :

1. Der größte mittlere Korndurchmesser (Md) findet sich auf Therasia und südlich der Skaros-Bastion.
2. Die größte Mächtigkeit des Asche-Horizontes tritt im S der Insel Thera auf (K. Loumaravi und K. Mavros je 0,6 m). Nach WALKER (1981a) ist die größte Mächtigkeit einer windtransportierten Aschenlage nicht unmittelbar am Schlot, sondern in einiger Entfernung davon anzutreffen.
3. Die Pisolithe mit den größten Durchmessern sind ebenfalls im Süden zu finden, am K. Loumaravi, K. Mavros und bei Balos (Abb. 61).
4. Die Mächtigkeit der Schlackenlapilli-Lagen ist im Norden etwas geringer als im Süden.
5. Die Durchmesser der Schlackenlapilli sind in allen Profilen etwa gleich.

Die Punkte 2.--5. und vor allem das Fehlen der Aschen-Schichten im Norden von Thera, weisen auf eine SE-Windrichtung hin (dies ist auch heute noch eine häufige Windrichtung).

Dies bestätigt ebenso die relativ nördlich gelegene Position des Schlotes.

Die Aschen sehr schlecht sortiert sind. Dies bestätigen auch die errechneten Werte der Sortierung (Md). Sie weisen

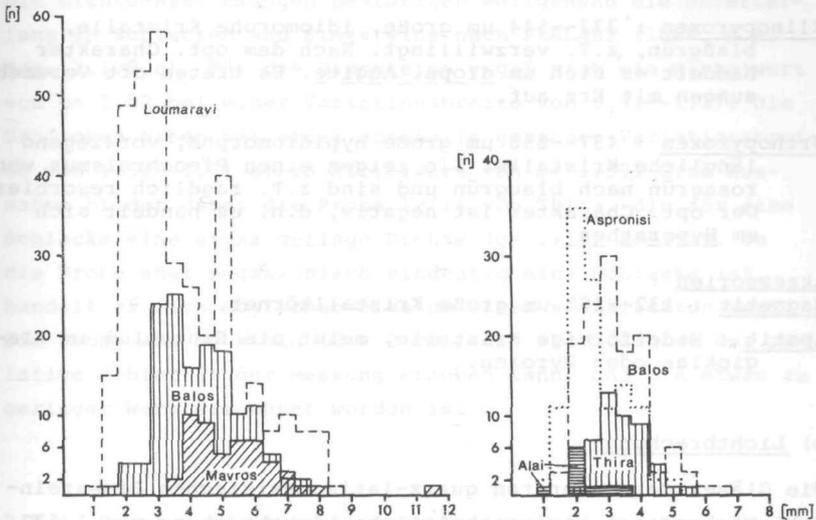


Abb. 61 : Histogramm der Pisolithe der oberen (a) und der unteren (b) Aschenlage

### 2.5.3. Mikroskopische Beschreibung

#### a) Mineralbestand

Es wurden nur von den Schlacken des unteren Schlacken-Horizontes Dünnschliffe angefertigt.

Die Lapilli haben eine glasig-schlierige Grundmasse, mit relativ wenigen Poren. Lavalapilli und Kristall-Einsprenglinge sind hauptsächlich in den großen Blasen Hohlräumen zu finden, nur vereinzelt liegen auch größere Phänokristalle in der Grundmasse.

An Phänokristallen sind vorhanden :

Plagioklas : bis 1 mm große, hypidiomorphe Kristalle, nach dem Karlsbader- und Albit-Gesetz verzwillingt. Viele

Kristalle sind zerbrochen und vom Kern aus korrodiert. Die größeren Kristallbruchstücke zeigen fast alle eine Zonierung.

Klinopyroxen : 332--544  $\mu\text{m}$  große, idiomorphe Kristalle, blaßgrün, z.T. verzwillingt. Nach dem opt. Charakter handelt es sich um diops. Augite. Es treten oft Verwachsungen mit Erz auf.

Orthopyroxen : 437--858  $\mu\text{m}$  große hypidiomorphe, vorwiegend längliche Kristalle. Sie zeigen einen Pleochroismus von rosagrün nach blaugrün und sind z.T. randlich resorbiert. Der opt. Charakter ist negativ, d.h. es handelt sich um Hypersthen.

Akzessorien :

Magnetit : 132--285  $\mu\text{m}$  große Kristallkörner.

Apatit : Nadelförmige Kristalle, meist als Einschuß im Plagioklas oder Pyroxen.

#### b) Lichtbrechung

Die Gläser der untersten quarz-latiandesitischen Bimssteinschicht besitzen eine einheitliche Lichtbrechung von 1.537. Damit haben die Bimssteine der  $T_{5/3}$ -Folge den höchsten Lichtbrechungswert. Dies war auch zu erwarten, da sie mit durchschnittlich 60.3 Gew.% den kleinsten  $\text{SiO}_2$ -Wert aller untersuchten Bimssteine aufweisen (Abb. 62). Die strichpunkttierten Pfeile geben eine Differentiations-Entwicklung an.

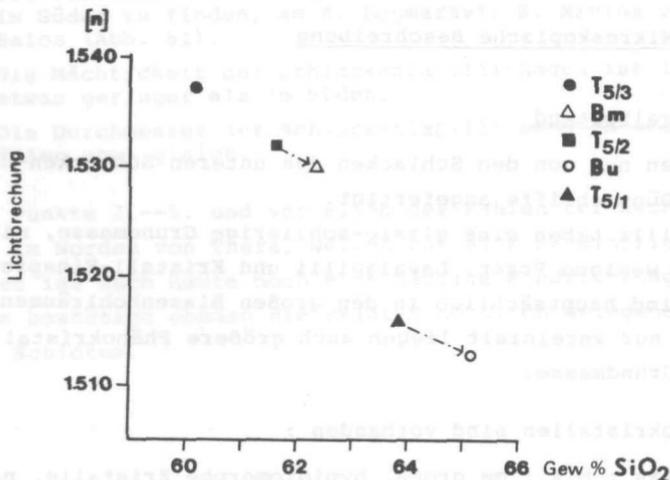


Abb. 62 : Durchschnittl. Lichtbrechungswerte in Abhängigkeit vom  $\text{SiO}_2$ -Gehalt der Bimssteine der 5 Schicht-Folgen des Thera-Vulkans

### c) Dichte

Die Dichte-Bestimmungen bestätigen weitgehend die Unterteilung in Schlacken und Bimssteine nach PERLAKI (1966, s.a. Kap. 2.1.2.c). Für die Bimssteine ergab sich ein Mittelwert von  $\rho = 1.02$  bei einer Variationsbreite von 0.91--1.17. Die Schlacken haben bei einer ebenfalls geringen Variationsbreite von 1.51--1.71 einen Mittelwert von  $\rho = 1.59$ . Eine Ausnahme bildet dabei die Probe 12/14 von Thira, die für eine Schlacke eine etwas geringe Dichte ( $\rho = 1.13$ ) besitzt. Da die Probe aber megaskopisch eindeutig eine Schlacke ist, handelt es sich möglicherweise um einen verfälschten Wert. Die Probe war so klein ( $\phi = 2$  cm), daß sich dadurch der relative Fehler in der Messung erhöhen kann, und ein etwas zu geringer Wert errechnet worden ist.

### 2.5.4. Haupt- und Spurenelement-Analyse und geochemisch- petrographische Entwicklung der T<sub>5/3</sub>-Folge

Aus den Schlacken- und Bimsstein-Schichten der T<sub>5/3</sub>-Folge wurden insgesamt 24 Proben analysiert. Die Ergebnisse der Analysen, sowie die RITTMANN- und CIPW-Normen sind in Tab. 16 im Anhang zusammengefaßt.

Tab. 9 zeigt die Variationsbreite und die Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente.

In der diagrammatischen Darstellung nach HARKER (1909, Abb. 63) zeigt sich vor allem in den Hauptelement-Oxiden Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O, sowie MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und CaO ein deutlicher Differentiations-Trend, wobei die saureren Glieder (1. Schlacken-Horizont, Bimsstein-Horizont) zuerst gefördert wurden, bis hin zu den weniger sauren Schlacken des Leit-Horizontes. Die Olivin-Schlacken müssen getrennt gesehen werden, da sie zu den Förderprodukten des Kokkino Vouno-Vulkans gehören.

Der Differentiations-Trend spiegelt sich auch in den Gehalten der Spurenelemente wider (Abb. 64). Rubidium, Zirkon und Yttrium werden bei Zunahme des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes deutlich angereichert, wohingegen der Strontium-Wert bei zunehmender

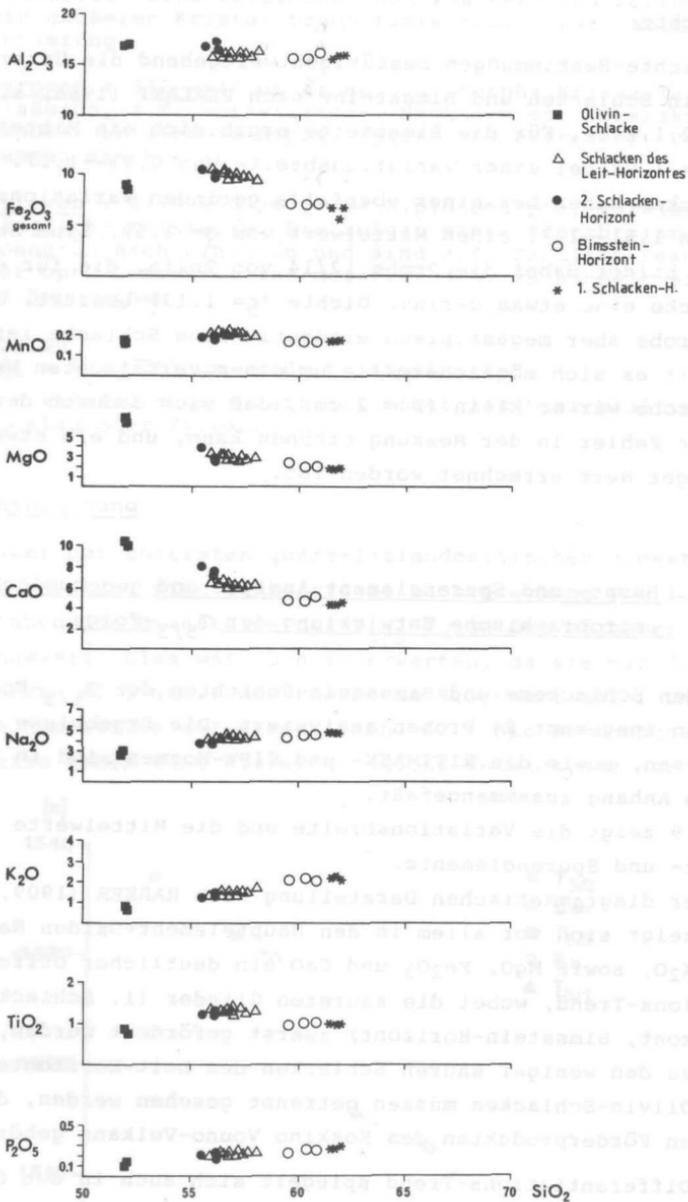


Abb. 63 : Verteilung der Hauptelement-Oxide gegen SiO<sub>2</sub> (HARKER-Diagramm) der T<sub>5/3</sub>-Schichten

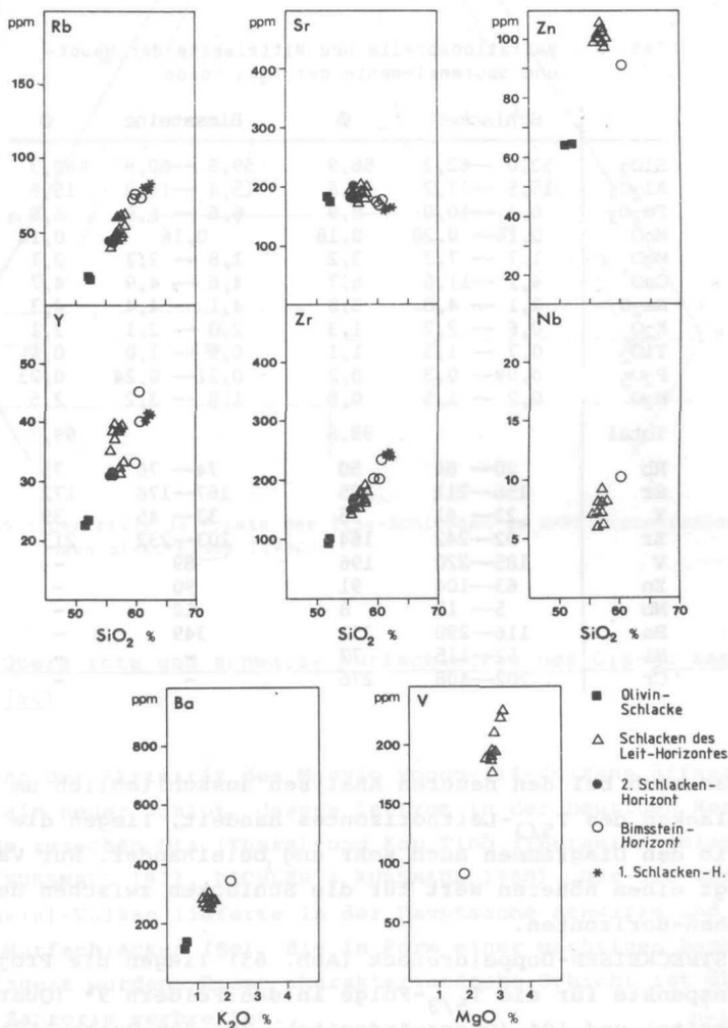


Abb. 64 : Spurenelemente gegen SiO<sub>2</sub> bzw. MgO bzw. K<sub>2</sub>O der T<sub>5/3</sub>-Folge

Differentiation abnimmt. Die Werte für Niob, Zinn, Vanadium und Barium können durch die Umstellung der RFA in Tübingen nur für die neueren Analysen angegeben werden.

Tab. 9 : Variationsbreite und Mittelwerte der Haupt- und Spurenelemente der T<sub>5/3</sub>-Folge

	Schlacken	Ø	Bimssteine	Ø
SiO <sub>2</sub>	52,0 -- 62,2	56,9	59,6 -- 60,8	60,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,5 -- 17,2	16,8	15,4 -- 15,9	15,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4 -- 10,0	8,9	6,6 -- 6,9	6,8
MnO	0,14 -- 0,20	0,18	0,16	0,16
MgO	1,7 -- 7,3	3,2	1,8 -- 2,3	2,1
CaO	4,2 -- 11,0	6,7	4,6 -- 4,9	4,7
Na <sub>2</sub> O	2,1 -- 4,8	3,8	4,1 -- 4,4	4,3
K <sub>2</sub> O	0,6 -- 2,2	1,3	2,0 -- 2,1	2,1
TiO <sub>2</sub>	0,7 -- 1,3	1,1	0,9 -- 1,0	0,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09 -- 0,3	0,2	0,21 -- 0,24	0,23
H <sub>2</sub> O	0,2 -- 1,5	0,8	1,8 -- 3,2	2,5
Total		99,8		99,7
Rb	20 -- 84	50	74 -- 76	75
Sr	158 -- 211	185	167 -- 178	172
Y	23 -- 41	35	33 -- 45	39
Zr	92 -- 242	164	203 -- 232	213
V	185 -- 220	196	89	-
Zn	63 -- 104	91	90	-
Nb	5 -- 12	8	10	-
Ba	116 -- 290	251	349	-
Ni	52 -- 115	77	-	-
Cr	202 -- 408	276	-	-

Da es sich bei den neueren Analysen ausschließlich um die Schlacken des T<sub>5/3</sub>-Leithorizontes handelt, liegen die Punkte in den Diagrammen auch sehr eng beieinander. Nur Vanadium zeigt einen höheren Wert für die Schlacken zwischen den Aschen-Horizonten.

Im STRECKEISEN-Doppeldreieck (Abb. 65) liegen die Projektionspunkte für die T<sub>5/3</sub>-Folge in den Feldern 9\* (Quarz-Latandesite) und 10\* (Quarz-Andesite). Bei den Quarz-Andesiten handelt es sich nur um die Schlacken des zweituntersten Horizontes. Die T<sub>5/3</sub>-Folge hat insgesamt einen sehr einheitlichen Chemismus. Dies läßt darauf schließen, daß es sich um einen einzigen Magmaherd handelte, wobei das Magma bereits zu Beginn des T<sub>5/3</sub>-Zyklus stärker differenziert war.

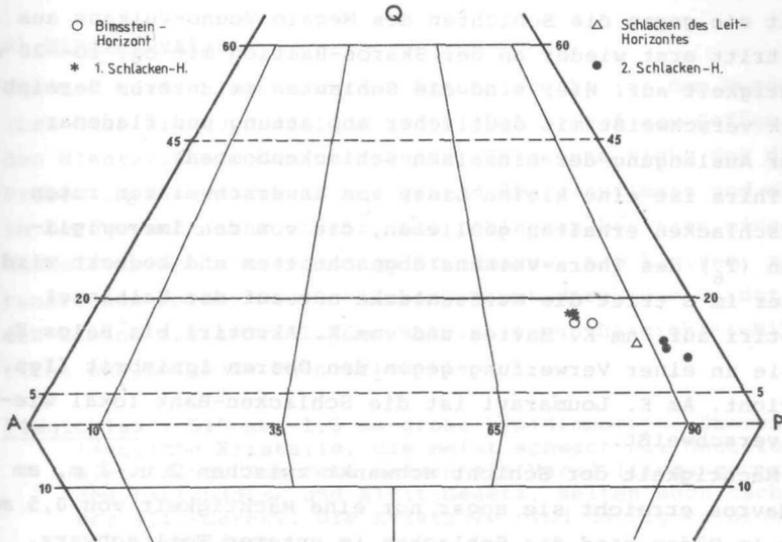


Abb. 65 : Darstellende Punkte der  $T_{5/3}$ -Schichten im QAPP-Doppeldreieck nach STRECKEISEN (1980)

## 2.6. Obere rote und schwarze Wurfslacken des Oia-Vulkans (Sc)

Während der Aktivität des Megalo Vouno-III-Vulkans öffnete sich ein neuer Schlot, dessen Zentrum in der heutigen Meeresstraße zwischen Oia (Thera) und Kap Tinó (Therasia) gelegen hat (KUSSMAUL 1971, PICHLER & KUSSMAUL 1980). Der Oia (oder Therasia)-Vulkan lieferte in der Hauptsache schwarze und rote Wurfslacken (Sc), die in Form einer mächtigen Bank abgelagert wurden. Diese charakteristische Schicht ist über ganz Santorin verbreitet.

### 2.6.1. Megaskopische Beschreibung

Die Wurfslacken-Bank erreicht ihre größte Mächtigkeit von ca. 50 m am Kap Tinó (Therasia) und bei Oia. Weiter nach N

zu taucht die Schicht unter den Meeresspiegel ab. Nach E keilt sie gegen die Schichten des Megalo Vouno-Vulkans aus und tritt erst wieder an der Skaros-Bastion mit ca. 10--20 m Mächtigkeit auf. Hier sind die Schlacken im unteren Bereich stark verschweißt mit deutlicher Abplattung und fladenartiger Auslängung der einzelnen Schlackenbomben.

Bei Thira ist eine kleine Linse von unverschweißten roten Wurf Schlacken erhalten geblieben, die von den Imerovigli-Laven ( $T_6$ ) des Thera-Vulkans abgeschnitten und bedeckt wird. Weiter im S tritt die Wurf Schlacke nur auf der Halbinsel Akrotiri auf, am K. Mavros und vom K. Akrotiri bis Balos-E, wo sie an einer Verwerfung gegen den Oberen Ignimbrit (Ign.) abbricht. Am K. Loumaravi ist die Schlacken-Bank lokal wieder verschweißt.

Die Mächtigkeit der Schicht schwankt zwischen 2 u. 3 m, am K. Mavros erreicht sie sogar nur eine Mächtigkeit von 0,5 m. Hier im Süden sind die Schlacken im unteren Teil schwarz, gehen nach oben aber in kugel- bis spindelförmige rote Schlackenbomben über. Die einzelnen Schlacken haben einen Durchmesser von 1-3--30 cm (im S) bis 30--40 cm, max. 1 m (im N). Im Süden treten an der Basis der Schlackenbank gehäuft Xenolithe (Grundgebirgs-Xenolithe und Lavalapilli-bis blöcke) auf, so daß der Eindruck entsteht, daß zu Beginn der Eruption Umlagerungen mit Aufnahme von Fremdmaterial stattgefunden haben.



Abb. 66 :

Obere rote Wurf-  
schlacke (Sc)  
bei Oia

## 2.6.2. Mikroskopische Beschreibung

### a) Mineralbestand

Von den Wurfeschlacken wurden Proben sowohl aus dem Norden (bei Oia) als auch aus dem Süden (Balos) auf das Gefüge und den Mineralinhalt hin untersucht. Es zeigte sich, daß die Proben im Mineralinhalt weitgehend übereinstimmen und sich im Gefüge auch sehr ähneln. Die Schlacken besitzen eine dunkelrote schlackig-glasige Grundmasse, mit kleinen, z.T. rundlichen Poren. Die Rotfärbung kommt durch die Oxidation des Eisens zustande. In der Matrix liegen Plagioklas-Mikrolithe und folgende Phänokristalle :

Plagioklas : 515  $\mu\text{m}$ --1,5 mm große hypidiomorphe, überwiegend längliche Kristalle, die meist schwach bis deutlich zoniert sind. Zum Teil zeigen sie Verzwilligungen nach dem Karlsbader- und Albit-Gesetz, selten auch nach dem Periklin-Gesetz. Die Kristalle sind häufig zerbrochen und korrodiert.

Klinopyroxen : 172--458  $\mu\text{m}$  große, meist idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle, die z.T. verzwilligt und z.T. randlich 'smektitisiert' sind.

Orthopyroxen : 175--736  $\mu\text{m}$  große idiomorphe, z.T. auch xenomorphe Kristalle mit stengeligem Habitus; sie löschen gerade aus und zeigen einen schwachen Pleochroismus von gelbgrün nach blaßgrün. Es treten Verwachsungen mit Magnetit auf.

Magnetit : Rundliche Körner, verwachsen mit Plagioklas und Pyroxen.

Apatit : Nadelförmige Kristalle, als Einschluß im Plagioklas und Pyroxen.

In einigen Schlacken finden sich Olivin-Xenokristalle (bis 1,3 mm) in glasiger Grundmasse.

### b) Dichte

Bereits im Handstück fällt auf, daß die Wurfeschlacken (Sc) relativ massig sind und verhältnismäßig wenig Hohlräume aufweisen. Die Dichte-Bestimmungen ergaben daher einen entsprechend hohen Durchschnittswert von  $\rho = 1.98$ .

2.6.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse

Von den Oberen Wurf-schlacken (Sc) wurden vier neue Proben aus dem S-Teil Theras geochemisch analysiert. Die Ergebnisse, sowie die RITTMANN- und CIPW-Normen sind der Tab. 16 im Anhang zu entnehmen.

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 10) sind die Variationsbreite und der Mittelwert der Haupt- und Spurenelemente zusammengestellt, sowie zum Vergleich eine Analyse der Wurf-schlacken auf Therasia (PV 15, Kap Simandir, SCHNEIDER 1968) und von der Skaros-Bastion (V4, MAIER-LINDEN, in Vorb.).

Der Vergleich der Analysen aus dem S-Teil mit denen von der Skaros-Bastion und von Therasia zeigt eindeutig, daß es sich um ein- und dieselbe Schichtfolge handelt, die auf allen drei Inseln der Santorin-Gruppe verbreitet ist (s.a. KUSSMAUL 1971).

Die Wurf-schlacken haben eine quarz-latiandesitische Zusammensetzung.

Tab. 10 : Variationsbreite und Mittelwert der Oberen Wurf-schlacken (Sc)

	Variationsbreite	Ø	PV 15	V4
SiO <sub>2</sub>	57,2 -- 58,4	57,6	58,8	57,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,8 -- 16,2	16,0	16,0	16,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,4 -- 9,5	9,4	8,8	9,3
MnO	0,18 -- 0,20	0,19	0,18	0,18
MgO	2,7 -- 3,0	2,8	2,7	2,9
CaO	6,3 -- 6,5	6,4	6,2	6,5
Na <sub>2</sub> O	4,0 -- 4,5	4,2	4,2	3,9
K <sub>2</sub> O	1,3 -- 1,5	1,4	1,6	1,4
TiO <sub>2</sub>	1,27 -- 1,29	1,28	1,19	1,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21 -- 0,22	0,22	0,22	0,22
H <sub>2</sub> O	0,24 -- 0,32	0,28	0,47	0,36
Total		99,8	100,3	99,5
Rb	52 -- 63	58	70	57
Sr	187 -- 202	197	190	175
Y	31 -- 39	35	41	36
Zr	161 -- 179	173	182	155
V	--	183	169	166
Zn	--	99	88	87
Nb	--	7	-	9
Ba	--	304	256	255

## 2.7. Die Oberen Ignimbrite (Ign.)

Nach der Ablagerung der Sc-Wurfschlacken erfolgte eine längere Ruheperiode, in welcher sich ein Paläoboden (Akrotiri-/Millo-Paläosol) bildete. Reste der Vegetationsdecke konnten an der Basis der darüberliegenden Oberen Ignimbrite gefunden und datiert werden. Danach ergab sich für den Ignimbrit ein Alter von ca.  $18\ 000 \pm 200$  Jahren (PICHLER & FRIEDRICH 1976, FRIEDRICH et al. 1977).

Nach WIJMSTRA (1969) stimmt dieses Alter sehr gut mit dem PHILIPPI-Interstadial (20 000--16 000 Jahre) von N-Griechenland bzw. mit dem Weichsel-Interstadial NW-Europas überein. Bei Balos-E (Profil 6) markieren Windkanter, die ebenfalls an der Basis der Ignimbrite liegen, die Paläo-Oberfläche.

### 2.7.1. Megaskopische Beschreibung

Die Oberen Ignimbrite sind auf Thera nur an wenigen Stellen aufgeschlossen, nämlich im N-Teil (am Megalo Vouno, am K. Kolombo, unterhalb von Oia und oberhalb der Skaros-Bastion) und im S-Teil (vom K. Therma bis Balos-E und E des K. Mavrorachidi), wo sie ein Paläorelief auffüllten. Auf Therasia treten die Oberen Ignimbrite in der Bucht von Millo und etwas SW vom K. Tinó auf.

Bei der Profilaufnahme konnten erstmals fünf verschiedene 'flow'-Einheiten unterschieden werden, die anhand der drei charakteristischsten Profile dargestellt werden (Abb. 67).

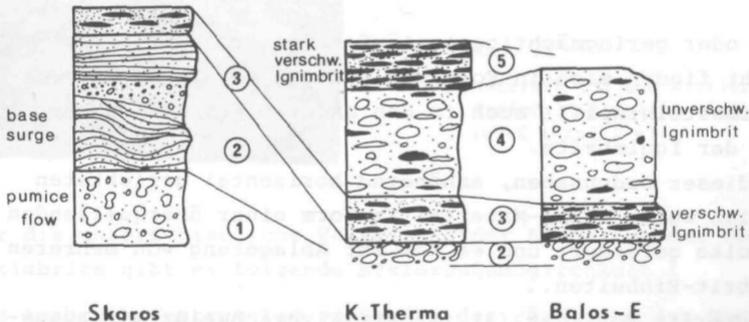


Abb. 67 : Ignimbrit-Profile von der Skaros-Bastion, Kap Therma und Balos-E

In der 1. Phase eruptierte zunächst ein 'pumice flow' (1, 3--4 m mächtig). Er wird von einer mächtigen (7--8 m) 'base surge'-Ablagerung (2) überdeckt. Der 'base surge'-Horizont ist nur an der Skaros-Bastion (Profil 13) aufgeschlossen. Er besteht aus braungelben Bimssteinlapilli von wenigen mm bis 15 cm. Im unteren Bereich wechseln sehr kleine (mm--3 cm) mit mittelgroßen (bis 6 cm) Lapilli, nach oben wird die Schicht grobkörniger, mit Bimssteinen bis 10 cm Durchmesser. Im Mittelteil wird die Schicht von Schrägschichtungslamellen und vor allem 'dune' und 'antidune'-Schichtungen geprägt (Abb. 68).



Abb. 68 : 'base surge'-Ablagerung (2) der Oberen Ignimbrite (Ign.) oberhalb der Skaros-Bastion

Reste oder geringmächtige Ausläufer dieser 'base surge'-Schicht finden sich in Form von wenigen ca. 2--10 cm großen Bimssteinlapilli auch in den anderen Profilen an der Basis der Ignimbrite.

Nach dieser bodennahen, annähernd horizontal gerichteten Eruption wurde Magma-Material in Form einer überquellenden Glutwolke gefördert und es kam zur Ablagerung von mehreren Ignimbrit-Einheiten.

Der unterste Horizont (3) ist stark verschweißt mit ausgedehnten obsidianartigen "Flammen", die in einer glasigen,

aschig-schlackigen Grundmasse eingebettet sind. Die Farbe innerhalb des untersten Ignimbrites wechselt von schwarzbraun nach rosabraun (Abb. 69).

Darüber liegt ein zweiter ca. 5--6 m mächtiger Ignimbrit (4), der unverschleißt ist und dessen Komponenten nur mäßig ausgelängt sind. Es sind meist gelbe Bimssteine (von Lapilli- bis Blockgröße), die aus der rotbraunen, aschigen Matrix deutlich herauswittern (Abb. 70).

Die letzte Ignimbrit-Einheit (5) ist wieder stark verschleißt. Sie ist schwarzbraun und als harte Bank deutlich von der Verwitterung herauspräpariert. Diese Schicht ist nur am Kap Therma erhalten geblieben (Abb. 71).

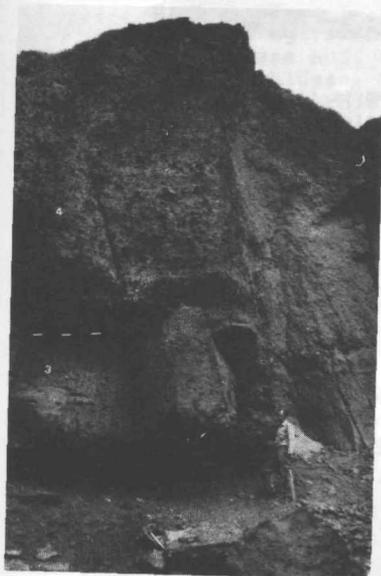


Abb. 69 :

Unterste (3) und mittlere (4)  
Ignimbrit-Einheiten bei Ba-  
los-E (Profil 6)

Für die unterschiedliche Verteilung der Einheiten der Oberen Ignimbrite gibt es folgende Erklärungsmöglichkeit :

Das Ausbruchszentrum lag zu Beginn der Förderung der Oberen Ignimbrite im Norden, etwas nördlich der Skaros-Bastion. Es kam zur Ablagerung des 'pumice flow' (1) und des 'base surge' (2).

Nach dieser Eruptions-Phase änderte sich die Schlotform. Der Vulkan riß etwa bei K. Therma auf, so daß ein seitliches Ausfließen der Ignimbrit-Einheiten (3--5) nach Süden die Folge war.



Abb. 70 : Unverschweißter Ignimbrit (4) am K. Therma, mit deutlich herauswitternden Bimsstein-lapilli



Abb. 71 :

Ignimbrit Folge (3, 4 und 5) am Kap Therma

### 2.7.2. Mikroskopische Beschreibung

Sowohl von den Bimssteinen der 'base surge'-Ablagerung (a) als auch von dem verschweißten (b) und dem unverschweißten (c) Ignimbrit sind Dünnschliffe angefertigt worden.

- a) Die Bimssteinlapilli des 'base surge'-Horizontes (2) besitzen eine hyalin-schaumige Grundmasse. Die Blasen Hohlräume sind bis zu 4 mm groß und meist ausgelängt. Sie bilden eine wabenartige Struktur, die eine leichte Verschweißung andeuten. Die Glaszwischenwände und die kleineren Poren zeigen z.T. ein Pseudofluidalgefüge. Die Einsprenglinge liegen teils zu Agglomeraten verwachsen in den Blasen Hohlräumen. Es handelt sich um :

Plagioklas : 460  $\mu\text{m}$ --1,4 mm große idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle, die einfach oder polysynthetisch verzwillingt sind. Es treten auch schwach zonierte Plagioklase auf. Häufig finden sich Glas- und Apatit-Einschlüsse. Viele Kristalle sind zerbrochen, randlich resorbiert und/oder korrodiert.

Klinopyroxen : 218--667  $\mu\text{m}$  große hypidiomorphe bis xenomorphe Kristalle; sie sind häufig verzwillingt und zeigen Korrosionsbuchten.

Orthopyroxen : 173  $\mu\text{m}$ --1,1 mm große idiomorphe bis hypidiomorphe, meist längliche Kristalle. Sie besitzen eine gerade Auslöschung und einen Pleochroismus von schwach rosagrün nach blaßgrün. Der opt. Charakter ist negativ; es treten Verwachsungen mit Klinopyroxen auf.

Magnetit : Hypidiomorphe bis xenomorphe Kristalle, 116--486  $\mu\text{m}$  groß und oft verwachsen mit Pyroxen.

Hämatit : 114  $\mu\text{m}$  große, rot-orange Schüppchen.

Apatit : Tritt in Form kleiner (bis 69  $\mu\text{m}$ ) Nadeln als Einschuß im Plagioklas, seltener im Pyroxen auf.

Außerdem finden sich einige Vulkanit-Xenolithe, die kantengerundet sind und meist ein porphyrisches Gefüge haben.

- b) Der verschweißte Ignimbrit (3) besitzt eine glasige, stark verschweißte Grundmasse mit ausgelängten, parallel angeordneten Blasen zügen. Teils liegen die Glasschlieren fast ohne Zwischenraum direkt aufeinander und "umfließen" die

Einsprenglings-Kristalle, Lapilli und Xenolithe. Bei den Lapilli handelt es sich um abgeplattete Schlacken und Bimssteine, die meist keine scharfen Korngrenzen mehr zeigen. Die Xenolithe sind überwiegend porphyrische Vulkanite. Die Phänokristalle sind z.T. sehr groß (1--3 mm), sie sind oft resorbiert und teils auch korrodiert, können aber auch idiomorph bis hypidiomorph sein. Es handelt sich wieder um Plagioklas, sowie Klino- und Orthopyroxen. Teilweise sind die Kristalle in "Fließrichtung" eingeregelt.

- c) Der unverschweißte Ignimbrit (4) hat eine hyalin-aschige Grundmasse, in der mäßig ausgelängte Schlacken- und Bimssteinlapilli liegen. Die länglichen Blasen Hohlräume in den einzelnen Lapilli bilden ein enges Geflecht, in dem große Einsprenglinge und Vulkanit-Xenolithe liegen. Es sind wiederum dieselben Einsprenglinge (Pl, Cpx, Opx), die auch in den beiden anderen Ablagerungen gefunden wurden, wobei ebenfalls der Plagioklas zahlenmäßig überwiegt. Daneben treten zahlreiche Magnetit-Körner auf.

### 2.7.3. Haupt- und Spurenelement-Analyse

Von den Bimssteinen aus dem 'base surge'-Horizont oberhalb der Skaros-Bastion, sowie von den Bimssteinen an der Basis des ersten Ignimbrites am K. Therma und von Balos-E wurden neue Proben geochemisch analysiert. Die Ergebnisse sind in Tab. 16 im Anhang aufgeführt. Tab. 11 zeigt die Variationsbreite und den Mittelwert der drei Bimsstein-Proben, sowie die Analyse des Ignimbrites von Therasia (V 27, Bucht von Millo, MAIER-LINDEN in Vorb.).

Der Vergleich der Analysen macht deutlich, daß es sich bei der Probe von Therasia ebenfalls um die Bimsstein-Ablagerungen an der Basis der "Oberen Ignimbrite" handeln muß, da die Haupt- und Spurenelement-Gehalte nahezu identisch sind. Die Ergebnisse der Analysen von GÜNTHER (1972: 66) stimmen mit den eigenen Analysen gleichfalls sehr gut überein. GÜNTHER analysierte das gesamte Ignimbrit-Profil von Balos-E

(NE von Akrotiri) und konnte zeigen, daß ein Zusammenhang zwischen dem Chemismus und dem Grad der Verschweißung besteht, wobei die stark verschweißten Horizonte die niedrigsten  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehalte aufweisen. Dieser Zusammenhang ist auf die von der Zusammensetzung abhängige Viskosität, die Temperatur und den Gasgehalt zurückzuführen.

Tab. 11 : Variationsbreite und Mittelwert des 'base surge'-Horizontes und Werte des Ignimbrites von Therasia (V 27)

	Variationsbreite	$\bar{\phi}$	V 27
$\text{SiO}_2$	63,2 -- 65,3	64,3	65,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,9 -- 15,2	15,1	15,1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,8 -- 5,5	5,1	4,8
$\text{MnO}$	0,14 -- 0,15	0,14	0,14
$\text{MgO}$	1,0 -- 1,5	1,2	1,0
$\text{CaO}$	3,0 -- 3,6	3,3	3,0
$\text{Na}_2\text{O}$	4,7 -- 4,9	4,8	5,3
$\text{K}_2\text{O}$	2,1 -- 2,5	2,3	2,4
$\text{TiO}_2$	0,67 -- 0,74	0,69	0,67
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,17	0,17	0,17
$\text{H}_2\text{O}$	0,2 -- 2,2	1,5	1,5
Total		98,6	99,6
Rb	73 -- 78	76	75
Sr	123 -- 142	134	129
Y	44 -- 47	46	46
Zr	207 -- 219	215	212
V	46 -- 72	59	66
Zn	71 -- 86	80	80
Nb	9 -- 10	9	9
Ba	376 -- 417	391	412

Nach der Eruption der Ignimbrite ruhte die vulkanische Tätigkeit für eine ungewöhnlich lange Zeit von ca. 15 000 Jahren. Erst dann erwachte der Vulkan erneut, und in einem dritten paroxysmalen Ausbruch wurde die Obere Bimsstein-Folge (Bo) gefördert, die die Minoischen Siedlungen auf Santorin zerstört und vollständig bedeckt hat. Der Bo setzt sich aus 3 Einheiten zusammen, wobei die oberste Schicht wiederum eine 'pumice flow'-Ablagerung ist (s.a. Kap. 2.2., Bu VI). Diese letzte Eruptionsphase führte zur Entleerung der Magmakammer und dem dadurch bedingten Einsturz des Vulkangebäudes. Es bildete sich die heutige Santorin-Caldera (ca. 1450 v. Chr.).

### III. GEOCHEMIE

#### 3.1. Petrochemische Einteilung und Entwicklung der pyroklastischen Serien des Thera-Vulkans

Aus dem gesamten Probenmaterial sind ca. 120 ausgewählte Proben auf Haupt- und Spurenelemente hin analysiert und nach der RITTMANN- und CIPW-Norm berechnet worden. Die RITTMANN-Norm und damit die QAPF- und die CI-Werte konnten aus technischen Gründen nur für 80 Proben berechnet werden. Dennoch ergeben die entsprechenden Diagramme (Abb. 72+73) einen ausreichenden Überblick über die Entwicklung der fünf Schicht-Einheiten.

Im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 72) nach STRECKEISEN (1980) liegt der überwiegende Teil (51%) aller pyroklastischen Gesteine im Feld 9\* der Quarz-Latiandesite. Davon entfällt etwa die Hälfte auf die beiden Bimsstein-Folgen (Bu u. Bm). Die nächst größere Gruppe (26%) bilden die Rhyodacite, die nahezu ausschließlich von den Proben der Unteren Bimsstein-Folge (Bu) stammen (Tab. 12). Dann folgen mit 12% die Quarz-Andesite, mit 8% die Dacite und mit 3% die Quarz-Latite, wobei die Quarz-Latite nur in den unteren Einheiten ( $T_{5/1}$  u. Bu) vertreten sind.

Tab. 12 : Verteilung der Gesteinstypen in den einzelnen Folgen des Thera-Vulkans

	$T_{5/1}$	Bu	$T_{5/2}$	Bm	$T_{5/3}$	gesamt	(%)
Quarz-Andesite	1	1	4	-	3	9	12
Quarz-Latiandesite	8	12	4	8	6	38	51
Quarz-Latite	1	1	-	-	-	2	3
Dacite	2	4	-	-	-	6	8
Rhyodacite	3	16	-	-	-	19	26

Insgesamt bilden die Projektionspunkte aller Proben eine "zusammenhängende Reihe", die eine Entwicklung von den Andesiten zu den Rhyodaciten hin zeigt. Die Andesite stellen dabei die "basischsten" Glieder der pyroklastischen Serien dar.

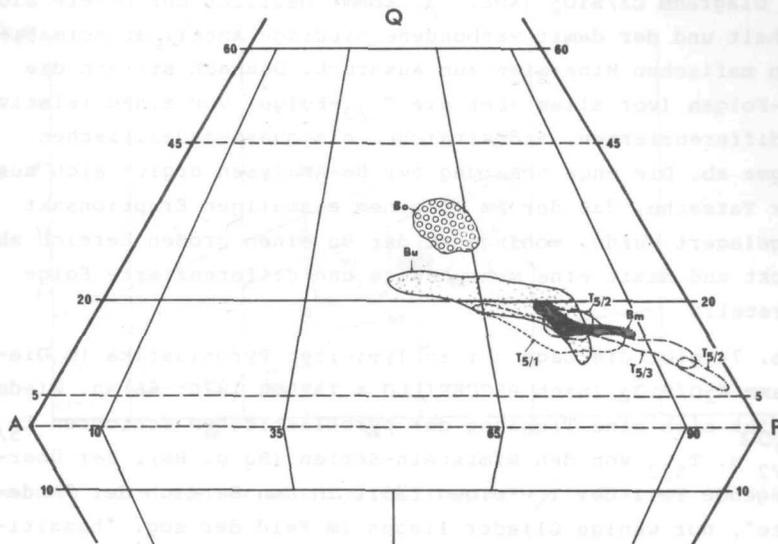


Abb. 72 : Die Verteilung der fünf pyroklast. Schicht-Folgen des Thera-Vulkans im QAPF-Doppeldreieck nach STRECKEISEN (1980)

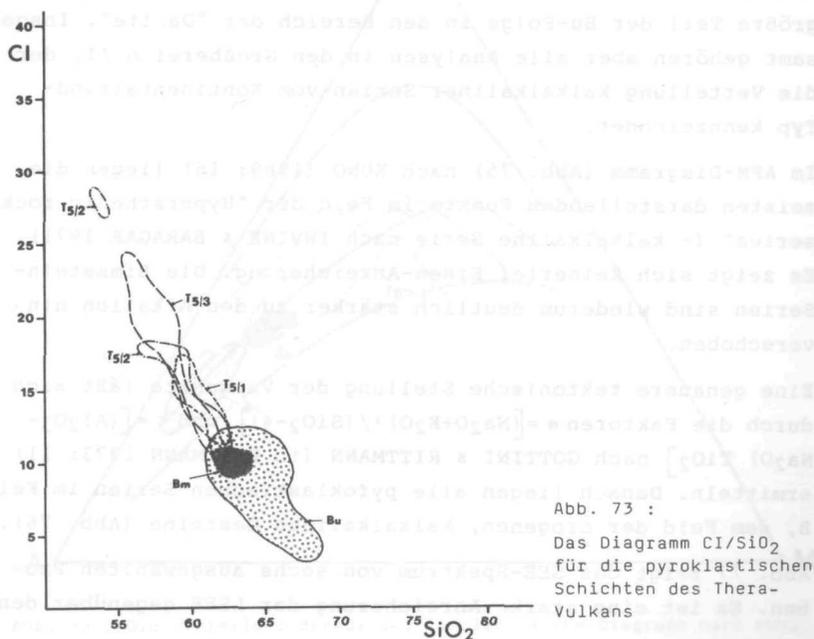


Abb. 73 :  
Das Diagramm CI/SiO<sub>2</sub>  
für die pyroklastischen  
Schichten des Thera-  
Vulkans

Im Diagramm  $CI/SiO_2$  (Abb. 73) kommt deutlich der höhere  $SiO_2$ -Gehalt und der damit verbundene niedrige Anteil an normativen mafischen Mineralen zum Ausdruck. Demnach stammen die  $T_5$ -Folgen (vor allem aber die  $T_{5/2}$ -Folge) von einem relativ undifferenzierten, andesitischen bis quarz-andesitischen Magma ab. Die enge Scharung der Bm-Analysen ergibt sich aus der Tatsache, daß der Bm in einem einmaligen Eruptionsakt abgelagert wurde, wohingegen der Bu einen großen Bereich abdeckt und damit eine mehrphasige und differenzierte Folge darstellt.

Abb. 74 gibt die Lage der analysierten Pyroklastika im Diagramm  $K_2O/SiO_2$  (nach PECCERILLO & TAYLOR 1976: 66) an. Wieder ergibt sich eine Trennung der pyroklastischen Schichten  $T_{5/1}$ ,  $T_{5/2}$  u.  $T_{5/3}$  von den Bimsstein-Serien (Bu u. Bm). Der überwiegende Teil der  $T_5$ -Folgen fällt in den Bereich der "Andesite", nur wenige Glieder liegen im Feld der sog. "basaltischen Andesite". Der Bm nimmt einen kleinen Bereich an der Grenze "Andesite" zu den "Daciten" ein, wobei mehr Projektionspunkte im Feld der "Andesite" liegen. Dagegen fällt der größte Teil der Bu-Folge in den Bereich der "Dacite". Insgesamt gehören aber alle Analysen in den Großbereich II, der die Verteilung kalkalkaliner Serien vom Kontinentalrand-Typ kennzeichnet.

Im AFM-Diagramm (Abb. 75) nach KUNO (1969: 16) liegen die meisten darstellenden Punkte im Feld der "Hypersthenic rock series" (= kalkalkaline Serie nach IRVINE & BARAGAR 1971). Es zeigt sich keinerlei Eisen-Anreicherung. Die Bimsstein-Serien sind wiederum deutlich stärker zu den Alkalien hin verschoben.

Eine genauere tektonische Stellung der Vulkanite läßt sich durch die Faktoren  $\sigma = \frac{[(Na_2O+K_2O)^2 / (SiO_2-4)]}{(Al_2O_3 - Na_2O) TiO_2}$  nach GOTTINI & RITTMANN (in RITTMANN 1973: 11) ermitteln. Danach liegen alle pyroklastischen Serien im Feld B, dem Feld der orogenen, kalkalkalinen Gesteine (Abb. 76).

Abb. 77 zeigt das SEE-Spektrum von sechs ausgewählten Proben. Es ist eine starke Anreicherung der LSEE gegenüber den

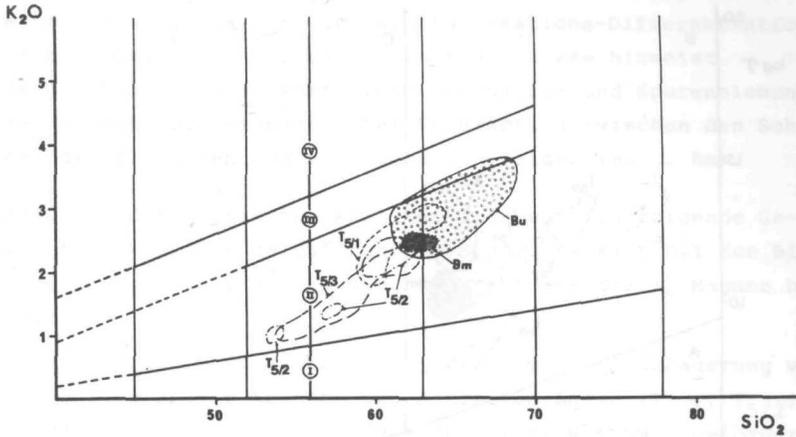


Abb. 74 : Die Lage der analysierten Pyroklastika im Diagramm  $K_2O/SiO_2$

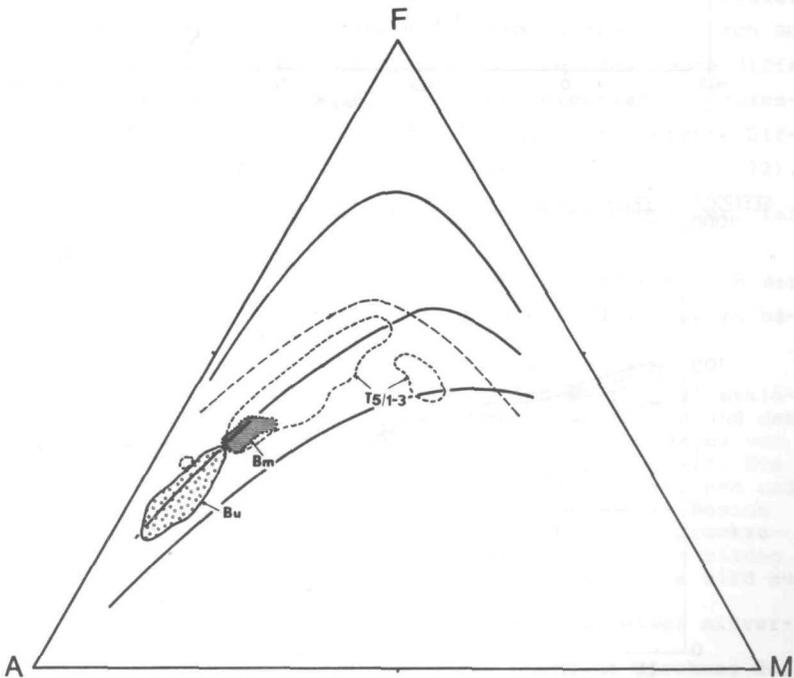


Abb. 75 : Die Verteilung der pyrokl. Serien im AFM-Diagramm nach KUNO (1969: 16), getrichelte Linie = Trennung zw. den Tholeiitischen und den Kalkalkalinen Gesteinen (nach IRVINE & BARAGAR 1971)

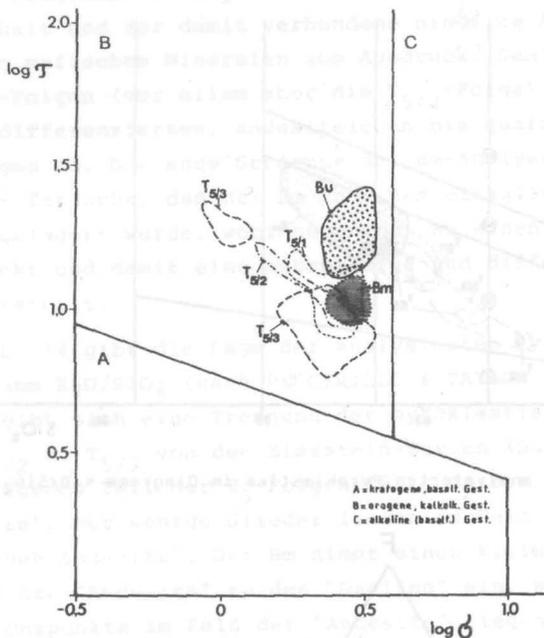


Abb. 76 :

Diagramm zur tektonischen Stellung der Schichtfolgen nach GOTTINI & RITTMANN (in RITTMANN 1973: 11)

SEE(PROBE)/SEE(CHONDRIT)

1000

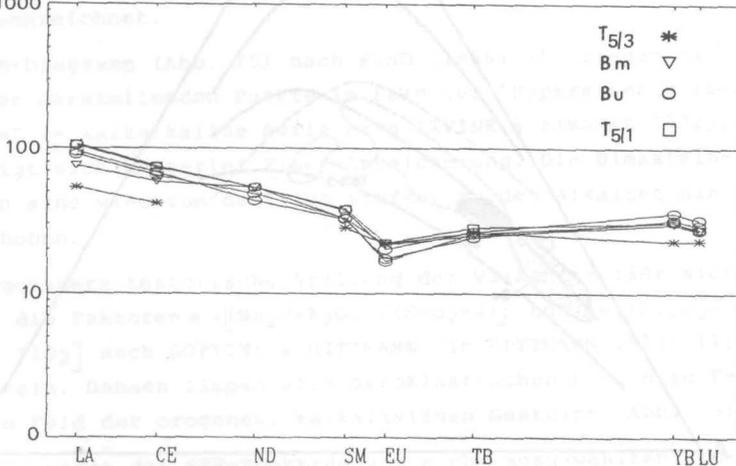


Abb. 77 : SEE-Spektrum von sechs ausgewählten Proben des Thera-Vulkans

SSEE zu erkennen. Außerdem fällt die deutliche negative Eu-Anomalie auf, die auf eine Kristallisations-Differentiation unter Beteiligung der basischen Plagioklase hinweist.

Im Gegensatz zu der Verteilung der Haupt- und Spurenelemente zeigt sich kein nennenswerter Unterschied zwischen den Schichten der  $T_5$ -Folgen und den Bimsstein-Folgen (Bu u. Bm).

Aufgrund der chemischen Analysen ergeben sich folgende Gesichtspunkte, die darauf hindeuten, daß es sich bei den Bimsstein-Folgen (Bu, Bm) um die Differentiate der  $T_5$ -Magmen handelt :

1. Eine Eruptionsphase begann jeweils mit der Ablagerung von weniger sauren Aschen- und Schlacken-Lagen ( $T_{5/1}$ ,  $T_{5/2}$ ,  $T_{5/3}$ ), die über einen längeren Zeitraum hinweg gefördert wurden.
2. Zwischen den Ablagerungen der  $T_5$ -Folgen und der Bimsstein-Folgen lagen meist längere Ruheperioden (belegt durch Bodenhorizonte und Umlagerungen), in denen das Magma differenzieren konnte. (Daß überhaupt Differentiationsprozesse stattgefunden haben, wird z.B. durch die leichte Differentiation innerhalb der Bu-Folge angezeigt, s.S. 72).
3. Betrachtet man die einzelnen Folgen in sich genauer, fallen weitere Besonderheiten auf :
  - a) Innerhalb der "basischeren"  $T_5$ -Folgen ändert sich der Chemismus jeweils von basisch zu sauer und wieder zu basisch.

Dies läßt sich evetuell durch sog. "magma-mixing" erklären, wie es SPARKS et al. (1977) auch für den Bu und den Bo von Santorin fordern. Dabei wird basisches Magma von unten zugeführt, das in das saure Magma intrudiert. Die lokale Überhitzung (des Magmas) bewirkt Konvektionen und Blasenbildungen. Durch diese Kombination von Intrusion basischer Schmelze und Aufbimsung kommt es zur Druckzunahme an den Grenzbereichen. Oberhalb des Magmas bilden sich Brüche in der Magmakammer und eine Eruption wird ausgelöst.

Der Ausdruck "magma-mixing" ist allerdings etwas mißverständlich :

Meines Erachtens nach findet keine homogene Mischung der beiden Magmen statt, sondern es werden lediglich Teile des basischeren Magmas bei der Eruption aus der Tiefe mit nach oben gefördert, so daß einige Komponenten eine etwas

basischere Zusammensetzung haben als die Hauptförderprodukte.

Diese Erklärung setzt voraus, daß

- die basischen Glieder in geringerer Mächtigkeit und Anzahl auftreten,
- basische und saure Komponenten innerhalb eines Horizontes auftreten.

Beides trifft in einigen Horizonten der  $T_5$ -Folgen zu. Es treten geringmächtige Horizonte mit basischen Komponenten auf. Und es gibt Schichten, in denen saure Bimssteine zusammen mit basischeren Schlacken vorkommen.

b) Die Bereiche der  $T_{5/2}$ -Folge und der Bm-Folge überdecken sich in den Diagrammen weitgehend. Die Geländebeobachtungen ergeben, daß zwischen den beiden Folgen keine längere Eruptionspause bestanden hat, daher gab es auch keine größeren Differentiations-Vorgänge. Innerhalb der  $T_{5/2}$ -Folge tritt wieder ein Wechsel von Andesiten zu Latianandesiten zu Andesiten auf, der sich ebenfalls durch "magma-mixing"-Vorgänge erklären läßt (s.o.), aber auch durch Intrusion von basischem Magma aus den tieferen Teilen der Magmakammer, wie von GÜNTHER & PICHLER (1973) und WALKER (1981b) angenommen wird.

c) Die  $T_{5/3}$ -Folge zeigt eine "normale" Abfolge von saurem Material an der Basis zu basischerem Material am Top der Folge. Dies weist auf eine Differentiation, d.h. möglicherweise auf eine stoffliche Zonierung in der Magmakammer hin (WALKER 1981b).

4. Zur Unterstützung der Theorie einer Magmendifferentiation muß festgestellt werden, ob genügend Ausgangsschmelze vorhanden ist, um die Menge differenzierten Materials zur Verfügung zu haben, die für die Bimsstein-Folgen notwendig ist. Dazu wird davon ausgegangen, daß sich die Menge des Magmas in der Menge der Eruptionsprodukte widerspiegelt. Deswegen wurde eine Volumenberechnung für die  $T_5$ -Folgen und die Bimsstein-Serien (Bu, Bm) durchgeführt. Dabei konnte nur das Volumenverhältnis in einem bestimmten Profilbereich (K.Loumaravi--K. Athinios-S) berechnet werden, da die laterale Verbreitung nicht genau festgelegt werden kann. Vorausgesetzt wird aber, daß das Verhältnis

der Schichten untereinander im gesamten Verbreitungsgebiet annähernd gleich ist, d.h. die Mächtigkeiten radial etwa gleichbleibend sind und alle Veränderungen (wie das Auskeilen der Schichten)  $\pm$  proportional sind. Diese Voraussetzung ist nicht unberechtigt, da die Schichten innerhalb der Caldera relativ gleichmäßige Mächtigkeiten zeigen.

Für die Volumenberechnung wurde eine Strecke von 6,8 km (Profilbereich s.o.) gewählt und eine Tiefe von 1m festgelegt. Multipliziert mit der durchschnittlichen Mächtigkeit ließ sich daraus das Volumen der einzelnen Gesteins-Serien errechnen. Von diesem Wert wurde für die Bimssteine des Bu ein Porenvolumen von 45%, für die etwas dichteren Bm-Bimssteine 40% und für die Schlacken 35% abgezogen. Bei den Ignimbriten und Aschen wurde der Wert bei 100% belassen.

Daraus ergab sich ein "Festgesteins-Äquivalent" für die pyroklastischen Schichten. Die Werte für die T<sub>5</sub>-Folgen sind dabei sicherlich noch zu niedrig, da die Folgen stark erodiert wurden, und sich dadurch die durchschnittliche Mächtigkeit verringert.

	Festgesteins-Äquivalente	Verhältnis
T <sub>5</sub> /1	106 000 m <sup>3</sup>	} 2 : 1
Bu	67 000 m <sup>3</sup>	
T <sub>5</sub> /2	39 000 m <sup>3</sup>	} 4 : 1
Bm	10 000 m <sup>3</sup>	
T <sub>5</sub> /3	82 000 m <sup>3</sup>	

5. Als Differentiationsvorgang scheint eine Kristall-Fraktionierung am wahrscheinlichsten. Sie drückt sich im geringen Anteil der mafischen Minerale aus (s.a. Abb. 73) und vor allem in den Spurenelement-Gehalten, wobei sich die Rb- und Ba-Werte in den 'Differentiaten' (Bu u. Bm) anreichern, die Sr- und V-Werte dagegen abnehmen.

	Rb	Ba	Sr	V
T <sub>5</sub> /1	89	401	177	107
Bu	107	444	105	25

	( Rb	Ba	Sr	V )
T <sub>5/2</sub>	69	-	177	-
Bm	92	370	150	48
T <sub>5/3</sub>	61	294	179	98

Dies alles sind Hinweise auf ein andesitisches Ausgangsmagma, aus dem durch Differentiation die charakteristischen Bimsstein-Serien entstanden sind.

Zusammenfassend zeichnet sich in den Diagrammen folgende Entwicklung ab :

Die pyroklastischen Serien Santorins sind typische Gesteine eines aktiven Kontinentalrandes, ähnlich den Mittleren Anden, d.h. einer Vulkanzone, die sich im Kollisions- und Subduktions-Bereich einer ozeanischen und kontinentalen Kruste entwickelt hat.

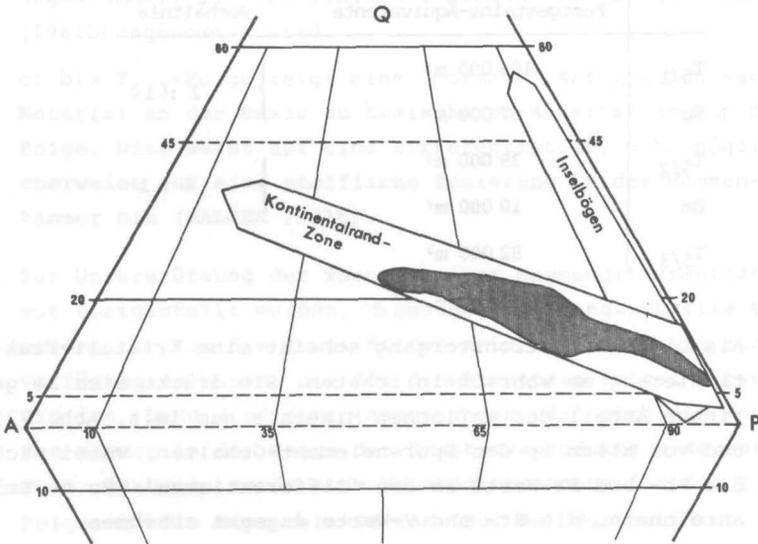


Abb. 78 : Verteilungsbereich von Kontinentalrand-Zonen, Inselbögen und von Santorin (schraffiert)

Dies läßt sich sehr deutlich im QAPF-Doppeldreieck zeigen, in welchem die Gesteins-Serien der zwei möglichen Typen des Subduktions-Vulkanismus (ozean./ozean. Platte = Inselbogen, ozean./kontinentale Platte = Kontinentalrand-Zone) deutlich getrennte Verteilungsfelder aufweisen. In Abb. 78 sind die Verteilungs-Bereiche solcher Vulkanzonen (s.a. RITTMANN 1981), sowie der Bereich Santorins (schraffiert) dargestellt.

### 3.2. Petrochemischer Vergleich der pyroklastischen Schichten von S-Thera mit den Laven von N-Thera

Der N-Teil der Insel Thera wird im Gegensatz zum Zentral- und Süd-Teil (90% pyrokl. Schichten) hauptsächlich von Laven aufgebaut, die schätzungsweise 70% des anstehenden Gesteins ausmachen. Sie wurden aus drei Vulkanzentren gefördert, dem Megalo Vouno-Vulkan, dem M.P. Elias-Vulkan und dem Skaros-Vulkan. Letzterer besteht sogar zu über 90% aus Laven.

In Tab. 13 sind die Variationsbreite und die Mittelwerte der Laven aus den drei Vulkanen, sowie die durchschnittliche Zusammensetzung der  $T_5$ -Folgen und der Bimsstein-Folgen aufgelistet. Die für die Laven verwendeten Daten wurden von Analysen aus der Literatur berechnet; dabei wurden nur diejenigen Daten berücksichtigt, deren Fundpunkte genau angegeben sind (KTENAS 1935, KUSSMAUL 1971, NICHOLLS 1971b, PICHLER & KUSSMAUL 1972, PUCHELT 1978, INNOCENTI et al. 1981).

Nach der RITTMANN-Norm und der Klassifikation von STRECKEISEN (1980) handelt es sich bei den Laven überwiegend um Andesite und Latiandesite. In der anglo-amerikanischen Literatur werden die Laven nach dem Differentiations-Index (DI) von THORNTON & TUTTLE (1960) bzw. nach dem  $K_2O/SiO_2$ -Diagramm von PECCERILLO & TAYLOR (1976: 66) als Basalte, "basaltische" Andesite und Andesite bezeichnet.

Zum Vergleich sind die Laven N-Theras und die pyrokl. Serien S-Theras in den folgenden Diagrammen (Abb. 79--82) einander gegenübergestellt.

Tab. 13 : Variationsbreite und Mittelwerte der Laven N-Theras, sowie die durchschnittliche Zusammensetzung der T<sub>5</sub>-Folgen und der Bimsstein-Serien

	Skaros - S <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>1</sub>		M.P. Elias-Vulkan		Megalo Vouno-Vulk.		T <sub>5</sub> - Folgen	Bimsst. Folgen	Thera- Vulkan
	Variationsbr.	Ø	Ø	Ø	Variationsbr.	Ø	Variationsbr.	Ø	Variationsbr.	Ø	Ø	Ø	Ø
SiO <sub>2</sub>	49,2 --57,7	54,1	66,3	53,3 --61,0	57,6	50,2 --67,1	54,9	59,4	65,4	62,2			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,1 --19,9	17,3	14,3	16,2 --18,4	17,3	14,5 --20,2	17,7	15,7	14,5	15,1			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,4 --11,3	9,3	5,2	6,7 --10,1	8,9	4,2 --11,1	8,9	7,1	4,2	5,6			
MnO	0,15-- 0,22	0,17	0,14	0,10-- 0,21	0,15	0,09-- 0,20	0,15	0,15	0,11	0,13			
MgO	2,8 -- 7,0	5,2	1,6	1,7 -- 3,7	2,9	0,63-- 7,5	4,4	2,5	0,91	1,7			
CaO	6,4 --11,6	8,5	3,2	4,4 -- 7,1	5,2	2,2 --11,8	8,5	5,3	2,6	4,0			
Na <sub>2</sub> O	2,5 -- 4,3	3,2	5,2	3,6 -- 4,5	4,0	2,2 -- 4,8	3,3	4,2	4,8	4,5			
K <sub>2</sub> O	0,47-- 1,62	1,04	2,6	1,0 -- 3,2	2,2	0,2 -- 3,4	1,3	2,0	0,13	0,16			
TiO <sub>2</sub>	0,8 -- 1,3	1,0	0,8	0,6 -- 1,4	1,1	0,5 -- 1,3	1,0	0,9	0,6	0,7			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09-- 0,37	0,24	0,24	0,12-- 0,29	0,21	0,04-- 0,33	0,17	0,2	0,13	0,16			
Rb	17-- 58	42	92	56-- 72	65	2--136	64	73	103	88			
Sr	125--212	180	141	181--268	224	123--345	198	178	120	149			
Ba	171--310	226	552	--	483	98--565	286	347	419	383			
Cr	7--174	90	-	--	58	2--102	39	-	-	-			
Ni	3-- 62	34	-	1-- 24	9	5-- 63	21	-	-	-			
V	212--246	229	-	--	153	--	257	124	33	79			
Co	20-- 31	26	-	13-- 18	16	--	-	-	-	-			

Was schon in Tab. 11 zum Ausdruck kommt, nämlich daß sich für die Laven N-Theras eine durchschnittlich basischere Zusammensetzung ergibt, bestätigt sich auch in den verschiedenen Diagrammen.

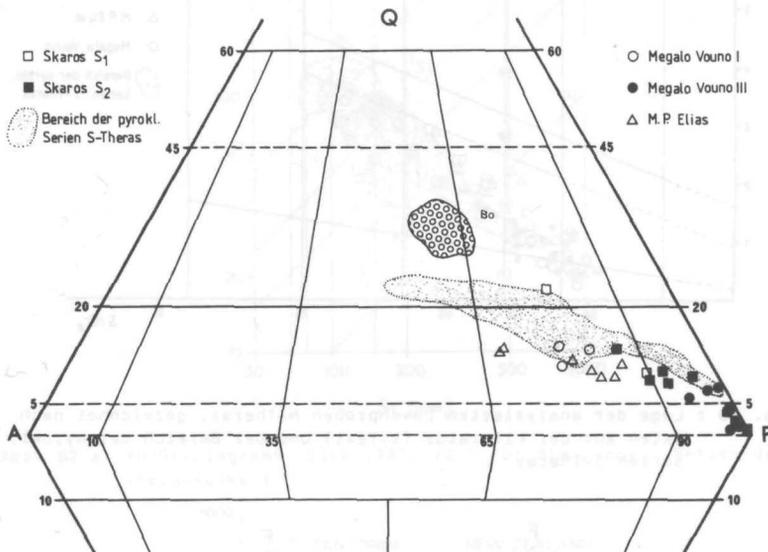


Abb. 79 : Projektionspunkte der Laven N-Theras und der Bereich der pyroklast. Serien S-Theras (punktiert) im QAPF-Diagramm

Im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 79) liegen die Projektionspunkte der Laven zum größten Teil im gleichen Bereich wie diejenigen der pyroklastischen Serien, es treten aber auch Andesite (Feld 10) auf.

Im Diagramm  $K_2O/SiO_2$  (Abb. 80) ergibt sich ebenfalls ein vergleichbares Verteilungsfeld, wobei aber einige Laven einen  $SiO_2$ -Gehalt unter 53 Gew.% haben.

Die Abb. 81 a+b zeigen, daß die Laven reicher an Magnesium und Eisen sind, was ihre basischere Zusammensetzung widerspiegelt. Das Rb/Sr-Diagramm (Abb. 82 a+b) verzeichnet für die Laven z.T. weitaus geringere Rb-Gehalte.

Insgesamt machen die Diagramme deutlich, daß die Laven weniger differenziertes Material enthalten.

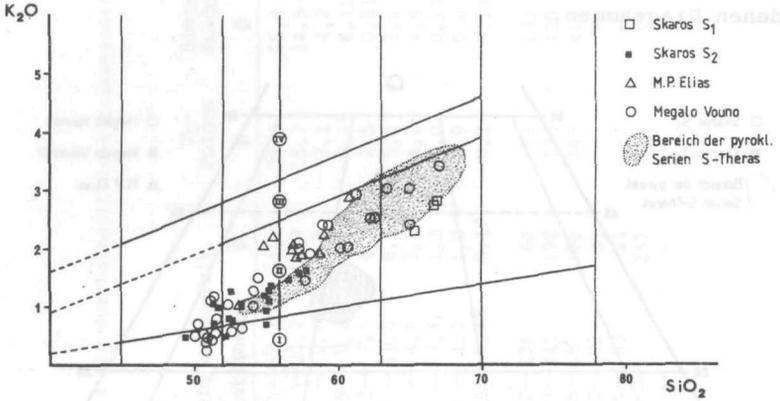


Abb. 80 : Lage der analysierten Lavenproben N-Theras, gezeichnet nach Daten aus der Literatur (s. Text) und der Bereich der pyrokl. Serien S-Theras

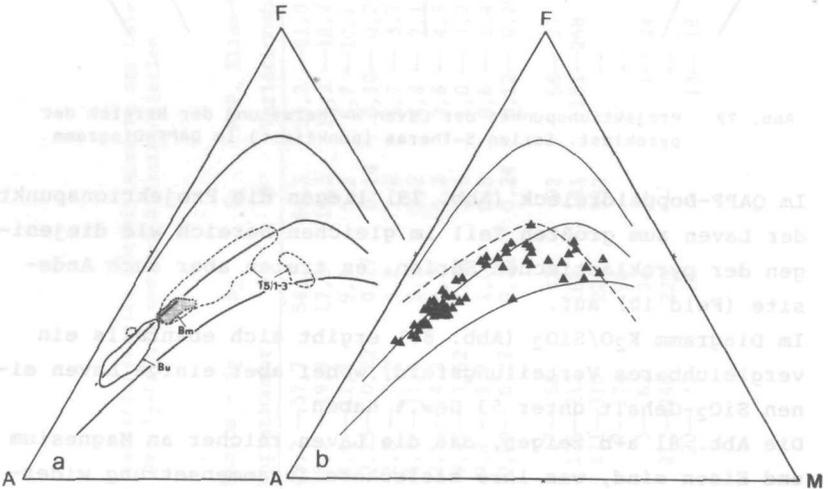


Abb. 81 : Pyroklast. Schichten des Thera-Vulkans (a), Vulkanite N-Theras (b, nach PUCHELT 1978: 135) im AFM-Diagramm

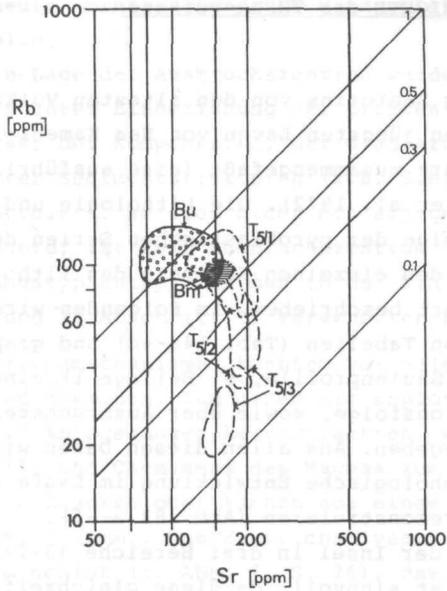


Abb. 82 a: Rb/Sr-Diagramm (GILL 1981: 127) für die pyrokl. Serien des Thera-Vulkans

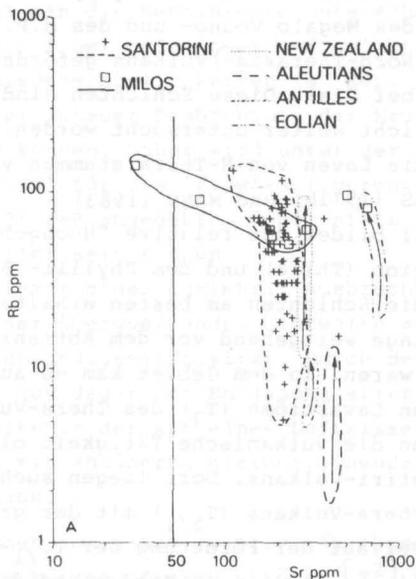


Abb. 82 b: Das Verhältnis Rb/Sr für die Lavas N-Theras (BARTON et al. 1983: 280)

#### IV. VULKANGESCHICHTE des THERA-Vulkans

Die Entwicklung Santorins von den ältesten Vulkaniten im Süden bis zu den jüngsten Laven von Nea Kameni ist bereits in Kap. 1.3. kurz zusammengefaßt (eine ausführliche Beschreibung s. PICHLER et al. 1972). Die Lithologie und die stratigraphische Abfolge der pyroklastischen Serien des Thera-Vulkans ist in den einzelnen Kapiteln des lithologischen Teils detailliert beschrieben. Im Folgenden wird daher vor allem anhand von Tabellen (Tab. 14a--d) und graphischen Darstellungen (Säulenprofile, s. Beilage 1) eine Übersicht über die Eruptionsfolge, sowie über Ausbruchszentren und -mechanismen gegeben. Aus allen diesen Daten wird dann versucht, die morphologische Entwicklung im Laufe der Vulkangeschichte zu rekonstruieren (Abb. 83 a--f).

Die Gliederung der Insel in drei Bereiche (S-Teil, Zentral-Teil, N-Teil) ist sinnvoll, da diese gleichzeitig auch drei unterschiedliche Ablagerungsbereiche darstellen. Im Norden wurden vorwiegend Laven und nur wenig pyroklastisches Material vor allem des Megalo Vouno- und des M.P. Elias-Vulkans, sowie des Oia-(Nord-Therasia-)Vulkans gefördert (Ausnahme:  $T_{5/3}$ -Schichten bei Oia). Diese Schichten sind in der vorliegenden Arbeit nicht weiter untersucht worden. Ausführliche Arbeiten über die Laven von N-Thera stammen von KUSSMAUL (1971), NICHOLLS (1971b) und MANN (1983).

Den Zentral-Teil bildet das relative "Hochgebiet" zwischen der Skaros-Bastion (Thira) und dem Phyllit-'Berg' (K. Plaka-S). Hier sind die Schichten am besten erhalten, da sie durch ihre "höhere" Lage weitgehend vor dem Abtransport durch das Meer geschützt waren. In dem Gebiet kam es auch zum Ausfließen der einzigen Lavaströme ( $T_3$ ) des Thera-Vulkans.

Im S-Teil begann die vulkanische Tätigkeit mit den Ablagerungen des Akrotiri-Vulkans. Dort liegen auch die ältesten Schichten des Thera-Vulkans ( $T_{5/1}$ ) mit der größten Mächtigkeit. Erst im Verlauf der Förderung der  $T_{5/1}$ -Folge wanderte das Haupt-Eruptionszentrum nach Norden und der S-Teil war (und ist es bis heute) vorzugsweise Abtragungsgebiet. Der

damals wie heute vorherrschende NW-Wind spielt dabei sicherlich eine Rolle.

Die vermutete Lage der Ausbruchszentren wurde nach Gelände-Beobachtungen unter Einbeziehung der größten Mächtigkeiten, der Durchmesser der Komponenten, der Gradierung der Schichten und anderer Sedimentstrukturen (z.B. Schrägschichtungen etc.) rekonstruiert. Wo dies nicht mit einiger Sicherheit geschehen konnte, ist kein Ausbruchszentrum angegeben.

Der Ablagerungstyp entspricht den in der Klassifikation (Kap. 1.6.) und in Abschnitt II verwendeten Begriffen.

Bei den Ausbruchsmechanismen konnten vor allem zwei Vorgänge unterschieden werden. Zum einen die Explosiv-Ausbrüche, die die 'fall'-Ablagerungen hervorbrachten, wobei es je nach Viskosität und Chemismus des Magmas zum Auswurf von Bimssteinen, Schlacken oder Aschen aus einem meist zentral gelegenen Schlot kommt. Das Eruptionsniveau liegt dabei relativ tief im Schlot (s. Abb. 7, S. 26), das entweichende Gas wird zu einem dichten Gasstrahl zusammengefaßt und schießt mit großer Gewalt senkrecht empor (RITTMANN 1981). Zum anderen muß man die Mechanismen unterscheiden, die einen 'pyroclastic flow' oder 'pumice flow' entstehen lassen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten (s. Kap. 1.6., S. 17 ff), die aber nur bei genauer Beobachtung der Eruption selbst geklärt werden können. Daher wird unter der Rubrik 'Ausbruchsmechanismus' für die 'flow'-Ablagerungen der wahrscheinlichste Prozeß angegeben, wobei stets auch mehrere Faktoren beteiligt sein können.

Nur der Mechanismus eines Ignimbrit-Ausbruchs ist eindeutig als der einer überquellenden Glutwolke anzusehen, die eine hohe Geschwindigkeit besitzt. Durch den Druck-Abfall kommt es dabei zur dauernden Entgasung aller Partikel, so daß die Glutwolke in der Art eines Luftkissenbootes über weite Strecken mit annähernd gleichbleibender Geschwindigkeit fließen kann.

Die Laven stammen von einem relativ zähflüssigen Magma ab, das in Form von kurzen, dicken Strömen  $[T_3^2]$  aus einem seitlichen Schlot (Parasitärkrater) ausfloß.

Nach den paroxysmalen Ausbrüchen der drei Bimsstein-Folgen kam es jeweils zur fast völligen Entleerung der Magmakammer, die den Einbruch des Vulkan-Gebäudes nach sich zog, so daß sich eine Caldera bildete.

Es läßt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob diese Einbruchskessel in der Folgezeit wieder vollständig mit Laven und pyroklast. Ablagerungen aufgefüllt wurden, so daß erneut ein mehr oder weniger regelmäßiger Strato-Vulkan entstand. Eine zumindest teilweise Wiederauffüllung der Bu-Caldera durch den nachfolgenden Ignimbrit ( $T_4$ ), sowie der Bm-Caldera durch die Skaros-Laven sind im Gelände zu beobachten (Kap. II, s.a. PICHLER et al. 1972).

Eine vollständige Auffüllung ist jedoch unwahrscheinlich, zumal bei zähflüssigen Explosiv-Ausbrüchen nur ein geringer Teil des pyroklastischen Materials in die Caldera zurückfällt (RITTMANN 1981).

Hinweise auf eine vor dem Bo-Ausbruch existierende Innen-Hohlform der Insel geben die Schichten der  $T_{5/3}$ -Folge, die an einigen Stellen deutlich mit  $20--24^\circ$  zur Caldera hin einfallen, sowie auch die Anlagerung von Bo-Bimssteinen an einer Paläo-Oberfläche unterhalb von Thira, die ebenfalls ein Einfallen (ca.  $25--30^\circ$ ) zur Caldera hin besitzt (zu ähnlichen Ergebnissen kommen HEIKEN & McCOY 1984).

Alle diese Daten sind in den Tab. 14a--d übersichtlich dargestellt und bilden die Basis für die paläomorphologischen Karten. Für die Konstruktion dieser Karten wurden zunächst aufgrund der Verbreitung und der Lagerungsverhältnisse der pyroklast. Serien Höhenlinien-Karten interpoliert. Um einen opt. besseren Eindruck zu bekommen, wurde dann die Morphologie durch Schummerung dargestellt (Abb. 83a--f).

Tab. 14 a: Überblick über Schichtfolge, Ausbruchszentren und -mechanismen, sowie Ablagerungstyp der T5y3-Folge u. der Hangend-Schichten bis zur oberen Bimsstein-Folge (Bo)

Nord-Teil	Zentral-Teil	Süd-Teil	Ausbruchszentrum	Ablagerungstyp	Ausbruchsmechanismus	Alter
Oia--Skaros	Thira--K. Plaka-S	Balos-E--Akrotiri	Zentrum der heut. Caldera	pumice flow base surge pumice fall	Zs.-Bruch d. Eruptivsäule m. anshl. Abfl. -Eruption	3 500 Jahre (PICHLER & FRIEDRICH 1976)
	B O					13 000 Jahre (P & F 1976)
	B O d e n	0,5 m				
	7 m	Ignimbrit	NW Nea Kamani	mehrere flow-Einheiten	Glutwolken-Ausbruch	18 000 Jahre (P & F 1976)
	B O d e n / Umlagerungen	9 m				
		Erosion				
		4 m				
Obere rote und schwarze Wurfslacken (Sc)						
	3 m		Oia-Vulkan zw. Oia und Therasia	mächtige Wurfslacken-Hor.	expl. Schlackenwurf-tätigkeit	
	Lahar 5 m	Schlackenlapilli u. 8 m gr. Aschen	NW Nea Kamani	pyrocl. fall	Expl.-Eruption	
		gelborange A. 7 m				
		Schlackenlapilli m. dazw. gelag. kl. Aschen-Horizonten	NW Nea Kamani	pyrocl. fall	Expl.-Eruption	
	Leithorizont (Aschen-Bänder) Pisolithe	3 m	NW Nea Kamani	ash fall	Expl.-Eruption Eruptionsregen Änderung d. Chem.	37 000 Jahre (FRIEDRICH et al. 1977)
		Bimssteinlapilli		pumice fall	Expl.-Eruption zähfl. Magma	
		0,4 m				
	B O d e n / Umlagerungen	Erosion				
		0,4 m				
	Wechsel v. Aschen u. Schlackenlapilli	5 m	Zentrum d. heut. Caldera	pyrocl. fall	Expl.-Eruption Änderung d. Chem.	
		Bimssteinlapilli		pumice fall	Expl.-Eruption Änderung d. Chem.	
		1 m				
	Lahar 3 m			pyrocl. fall	Expl.-Eruption	
	Aschen u. Schlackenlapilli	1 m				

Megaló Vouno II-Vulkan  
Lava, rote Schlacke, schwarze Schlacken  
(PICHLER & KUSSMALL 1980)

Skaros-Laven  
effusive u. extrusive Laven  
(KUSSMALL 1971, PICHLER & KUSSMALL 1980)

Tab. 14 b: Fortsetzung ins Liegende, Mittlere Bimsstein-Folge (Bm) u. T5/2-Folge

Nord-Teil		Zentral-Teil	Süd-Teil	Ausbruchs-		Ablagerungs-	Ausbruchs-	Alter
Ola--Skaros		Thira--k.Plaka-S	Belos-E--Akrotiri	zentrum		typ	mechanismus	
<b>B o d e n</b>								
<b>Caldera-Einbruch</b>								
		Bm, ignimbrit.	E r o s i o n		W Thira	Ignimbrit	Glutwolkenausbr.	50 000 Jahre (PICHLER & KUSSMAUL 1980)
						2,5 m		
rote Aschen u. Schlacken		Schlackenbänken 2,5 m	F O S S O H E		W K. Alai	Wurfeschlacken Schlackenlap.	expl. Schlacken- wurf-tätigkeit	
						rote Aschen u. Schlacken 3,5 m		
Schlacken- Lapilli		Schlackenlap. u. Aschen im Wechsel 2,3 m			W K. Alai	pyrocl. fall	Expl.-Eruption Aenderung d. Chem.	
						W K. Alai		
Bimsstein- u. Schlack- Kenlap.		M.P. Elias Lava, Schlacken und Aschen (KUSSMAUL 1971 PICHLER & KUSSMAUL 1980)	B o d e n 0,3 m		W Thira	pumice fall	Expl.-Eruption Aenderung d. Chem.	
						W Thira		
		Aschen und Schlackenlapilli 2,5 m			N Thira	pyrocl. fall	Explosiv-Eruption	
						W Thira		
		pyrocl. flow 6 m			N Thira	pyrocl. flow	anschließ. über- fliegen m. ger. Geschwindigkeit	
						W Thira		
		Ignimbrit (T <sub>4</sub> )			N Thira	mehrere Ignim- bit-Binheiten	überque-lender Glutwolkenausbr. hohe Geschwind.	
						W Thira		

Tab. 14 c: Fortsetzung ins Liegende, Untere Bimsstein-Folge (Bu)

Nord-Teil	Zentral-Teil	Süd-Teil	Ausbruchs- zentrum	Ablagerungs- typ	Ausbruchs- mechanismus	Alter
Oia-Skaros	Thira--K.Plaka-S	Balos-E--Akrotiri				
Umlagerungen / Erosion						
Caldera-Einbruch						
Bu VI 3 m	8 m	Bu VI 15 m	Position der heutigen Kameni Inseln	pumice flow	Zusammenbruch d. Eruptionssäule m. anshl. seiti. Abfließen	
Block- Horizont	Block-Horizont 0,6 m			unregelmäßiger Horizont (bes. mächt. i. Depr.)	Schloträumung	
Bu V	26 m	Bu V 3 m	W K. Alai	pumice fall	Explosiv-Erupt.	
	Lahar 8 m	Bu IV 7 m	N Balos	pyrocl. flow	Überfließen b. geringem Druck	
		Block-Horizont		Block-Horizont	Schloträumung	
		Bu III 8 m	K. Loumaravi	pumice flow	Zusammenbr. d. Eruptionss. mit anschl. seiti. Abfließen	
		Bu II 1,8 m	W K. Alai	pumice fall	Explosiv- Eruption	100 000 Jahre (SEWARD et al. 1980)
		<b>Boden</b>				
	Bu I -Bimssteinlapilli u. Asche			fall	Explosiv- Eruption	

Tab. 14 d: Fortsetzung ins Liegende, T5/1-Folge

Nord-Teil	Zentral-Teil	Süd-Teil	Ausbruchszentrum	Ablagerungstyp	Ausbruchsmechanismus	Alter
Oia--Skaros	Thira--K. Plaka-S	Balos--E--Akrotiri				
	Boden/Erosion 0,4 m					
Megalo Vouno I Lava, Schlackenbänke, vulk. Breccie (KUSSMAUL 1971, PICHLER & KUSSMAUL 1980)	Aschen und Schlacken 3 m		etwa Position der Nea Kamini-Inseln	pyroclastic fall	Explosiv-Eruption	
	Lahar Umlager. 3 m					
	Lava (T <sub>3</sub> ) rote Wurf-schlacke 6 m		Flankenausbr. K. Alonaki			
	ash flow pyrocl. flow 7 m		W K. Plaka	ash flow pyroclastic flow	Überfließen b. geringem Druck	
B o d e n						
	tote Aschen und Schlacken 1-2 m	Boden 0,3 m	W K. Athinios	pyrocl. fall	Expl.-Eruption	
	Schlackenlapilli bis -bomben		zwischen K. Loumaravi und Balos	reine Schlacken-Horizonte	Schlackenwurf-Tätigkeit Aenderung d. Chem.	
	Bimssteinlapilli tauchen nach E zur Caldera hin unter den Meeresspiegel ab	0,4-0,5 m	wahrscheinlich ebenfalls K. Loumaravi	pumice fall	Expl.-Eruption Volumenzunahme Aenderung d. Chem.	
	Aschen und Schlacken (Pisolithe)	5-10 m	NW des K. Loumaravi	pyrocl. fall lokal: Erupt.-Regen	Expl.-Eruption gasreiches Magma	
		Akrotiri I+II	Halbinsel Akrotiri	Schlackenkegel Aschen-kegel LavafloWS und Dome	ejektive Erupt. Expl.-Eruption Extrusion	1 Mio. Jahre (SEWARD et al. 1980) 1,6 Mio. Jahre (FERRARA et al. 1980)

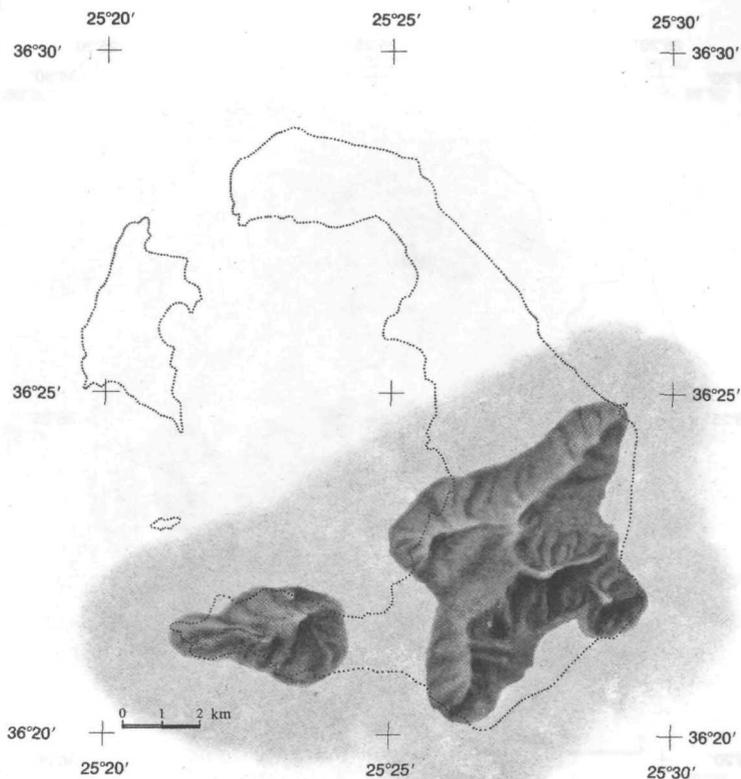


Abb. 83 a: Stadium 1: ca. 1.6--1 Mio. Jahre, Akrotiri-Folge. Die Situation zu Beginn der vulkanischen Tätigkeit. Das Grundgebirge hat sicherlich als Insel existiert (E-Insel). Im Bereich des heutigen Akrotiri (W-Insel) wurden die ersten vulkanischen Produkte, Bimsstein-Tuffe und Laven, gefördert.

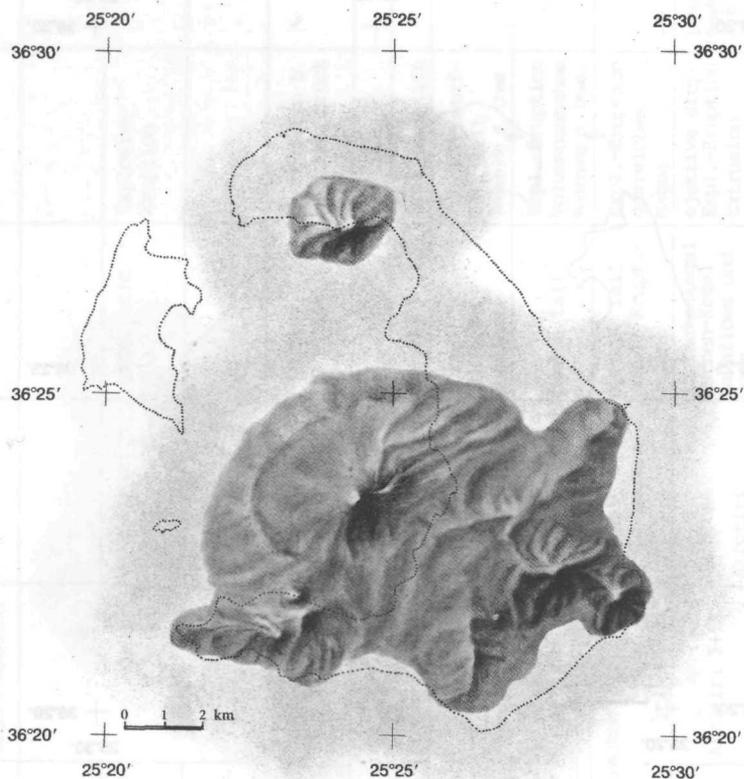


Abb. 83 b: Stadium 2: ca. 1 Mio.--100 000 Jahre, zur Zeit der  $T_5/1$ -Folge. Im Norden traten die ersten Laven aus dem Megalo Vouno-Vulkan aus. Im Süden baute sich ein Stratovulkan auf, durch dessen Ablagerungen die beiden Inseln zusammenwuchsen.

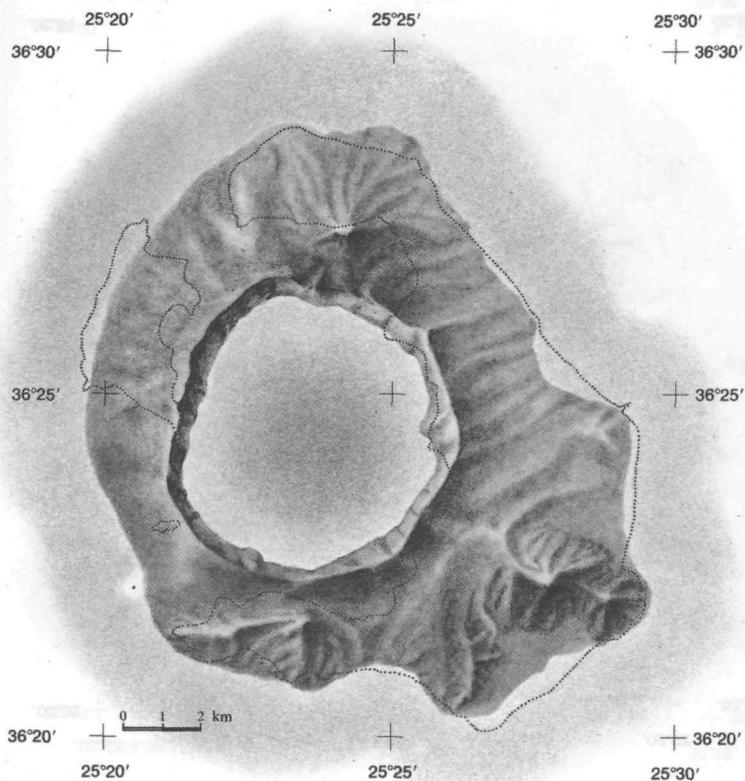


Abb. 83 c: Stadium 3: Vor ca. 100 000 Jahren. Die Situation nach dem Ausbruch der Unteren Bimsstein-Folge. Zunächst vergrößerten die Schichten der T<sub>5/1</sub>-Folge und der Bu-Folge die Insel, so daß der N- und S-Teil verbunden waren. Die ungeheuren Mengen vulkanischen Materials, die während des Ausbruchs der Bu-Folge gefördert wurden, entleerten die Magmakammer soweit, daß das Vulkangebäude zusammenbrach und sich eine Caldera bildete.

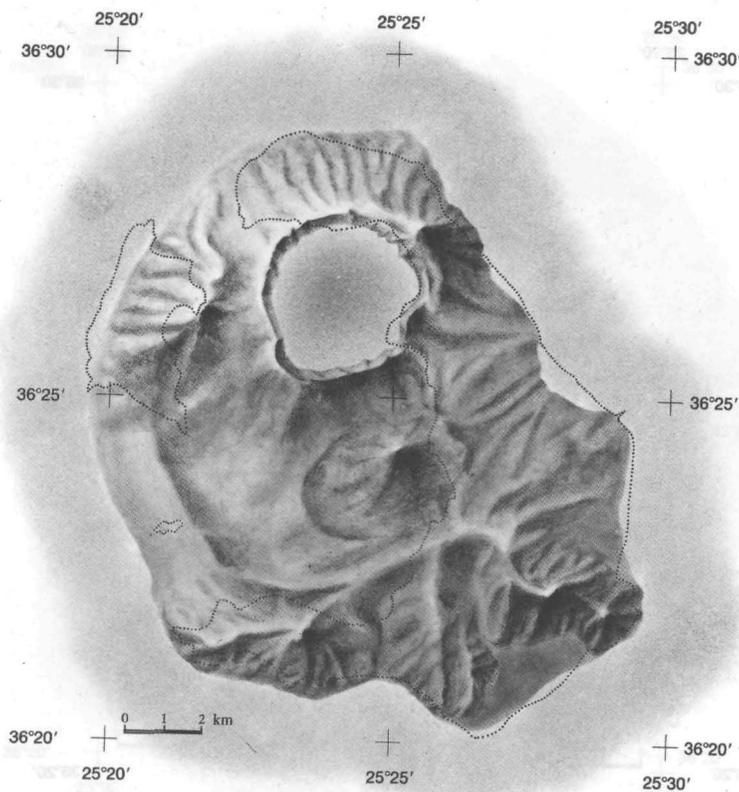


Abb. 83 d: Stadium 4: ca. 100 000--50 000 Jahre. Die Bu-Caldera wurde von den T<sub>5/2</sub>-Schichten zumindest teilweise wieder aufgefüllt, welche von einem Vulkan im Zentrum gefördert wurden. Dabei blieb möglicherweise der Rand der Bu-Caldera z.T. noch sichtbar. Im Norden entstand nach dem Ausbruch der Mittleren Bimsstein-Folge erneut eine Caldera, die jedoch wesentlich kleiner war. Auf Therasia wurden die ersten Laven (Th 1) gefördert.

3. Beschreibung der Caldera des Santorini  
 3.1. Caldera des Santorini

3.1. Caldera des Santorini

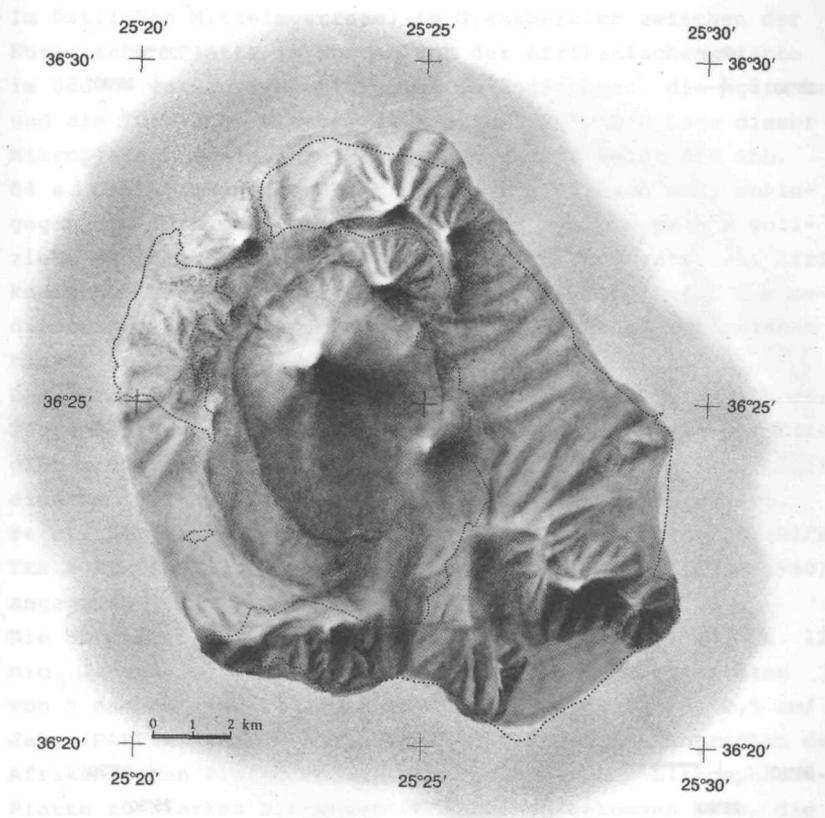


Abb. 83 e: Stadium 5: ca. 50 000--18 000 Jahre. Die  $T_{5/3}$ -Schichten die eine sehr große Mächtigkeit haben, bauten wahrscheinlich ebenfalls einen Stratovulkan auf. Die Caldera-Wände der Bu- und Bm-Folgen sind zur Verdeutlichung der vorangegangenen Stadien nochmals eingezeichnet, obwohl sie nicht nachweisbar sind. Im Norden wurden der Megalo Vouno-II-Vulkan, der M.P. Elias- und der Skaros-Vulkan tätig, sowie der Oia- bzw. N-Therasia-Vulkan, der im NW, im Bereich zwischen den heutigen Inseln Thera und Therasia, lag.

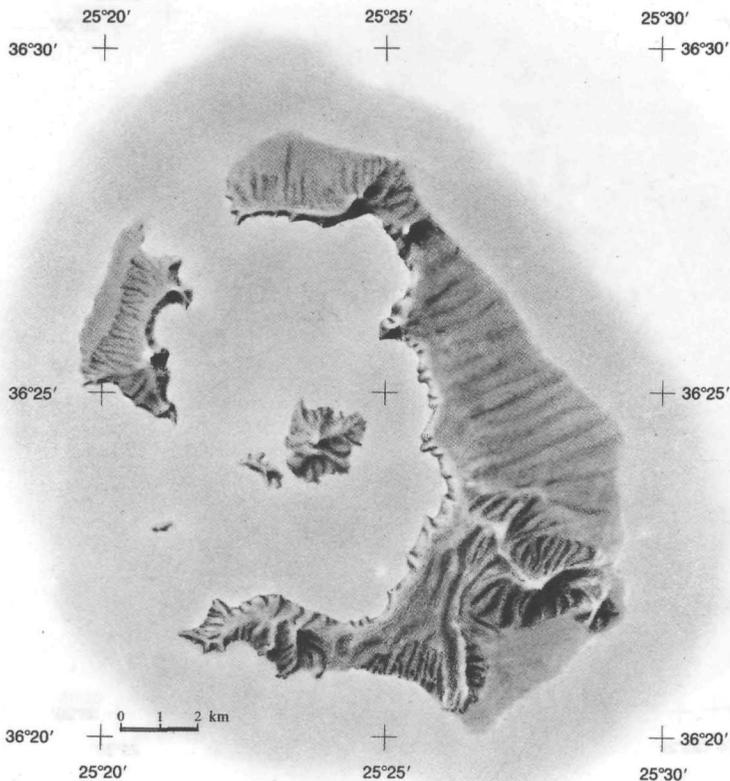


Abb. 83 f: Stadium 6: Gegenwärtige Situation. Das Stadium stellt das heutige Bild der Insel-Gruppe dar. Nach dem erneuten Zusammenbruch des Vulkangebäudes und der Bildung der Bo-Caldera, ca. 1450 v.Chr., entstand in deren Zentrum die jüngsten Vulkan-Inseln Paläa Kameni und Nea Kameni (197 v.Chr. bzw. 1707-1950).

## V. ÜBERBLICK über die GEOTEKTONIK der ÄGÄIS und die MAGMEN- GENESE SANTORINS

### 5.1. Geotektonik der Süd-Ägäis

Im östlichen Mittelmeerraum, im Grenzbereich zwischen der Eurasischen Platte im Norden und der Afrikanischen Platte im Süden, werden zwei Mikroplatten angenommen, die Ägäische und die Türkische Platte (Mc KENZIE 1970). Die Lage dieser Mikroplatten sowie ihre Relativbewegungen zeigt die Abb. 84 a. Die Afrikanische Platte bewegt sich nach NNE, wohingegen die Türkische Mikroplatte eine Bewegung nach W vollzieht und die Ägäische Platte sich entgegengesetzt zur Afrikanischen Platte relativ nach SW bewegt. Dabei wird der mediterrane Teil der Afrikanischen Platte unter die Ägäische Platte subduziert.

Das Abtauchen der Afrikanischen Lithosphären-Platte ist durch Tiefenmessungen von Erdbebenherden belegt (Abb. 84 b). Es ergibt sich entsprechend der südlichen Plattengrenze der Ägäis eine Benioff-Zone von der Form eines Amphitheaters (Abb. 84 c). Der Abtauchwinkel wird mit Werten zwischen  $32^\circ$  (RICHTER & STROBACH 1978) und  $40^\circ$  (COMNINAKIS & PAPAACHOS 1980) angegeben.

Die Subduktion begann nach FYTIKAS et al. (1976) vor ca. 12 Mio. Jahren, wobei die Zone der tektonischen Aktivitäten von N nach S wanderte. Die Abtauchrate beträgt ca. 2,5 cm/Jahr (PAPAACHOS & COMNINAKIS 1978). Durch das Abtauchen der Afrikanischen Platte soll es in der Ägäischen Lithosphären-Platte zu starken Dehnungen und Brüchen gekommen sein, die den Weg für vulkanische Aktivitäten freigaben. So hat sich dort, wo die Benioff-Zone etwa eine Tiefe von 150 km erreicht, ein Vulkanbogen (= Kykladenbogen) gebildet (Abb. 85). Die ersten Laven wurden hier vor ca. 3,1--2,7 Mio. Jahren (an der Grenze Pliozän/Pleistozän, Insel Sousaki) gefördert (FYTIKAS et al. 1976, BARBERI et al. 1977).

Zwischen dem vulkanischen Kykladenbogen und der Plattengrenze liegt ein Gürtel gefalteter Sedimente, die z.B. auf Kreta und dem Peleponnes zutage treten. Die beiden Inselbögen

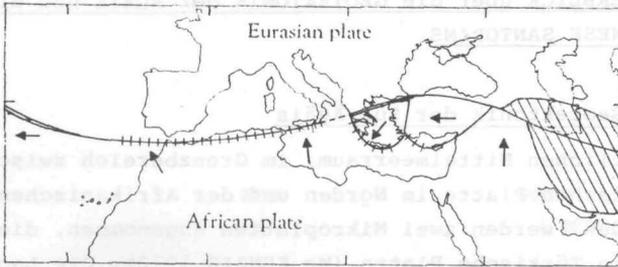


Abb. 84 a: Die Position der Plattengrenzen; die Pfeile markieren die Bewegungen relativ zur Eurasischen Platte (aus Mc KENZIE 1970: 242)

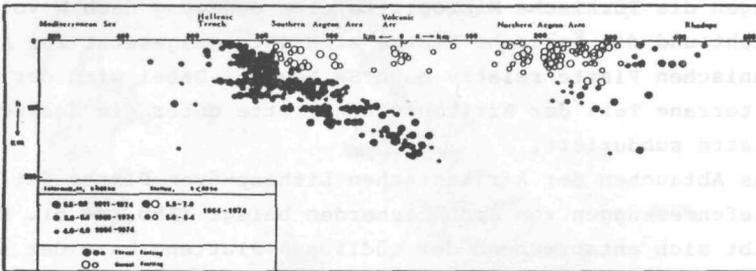


Abb. 84 b: Vertikale Verbreitung der Erdbebenherde in der Ägäis; schwarze Punkte= Herde in Gebieten horizontalen Druckes, Kreise= Herde in Gebieten mit horizontaler Dehnung (aus PAPAACHOS & COMNINAKIS 1978: 125)

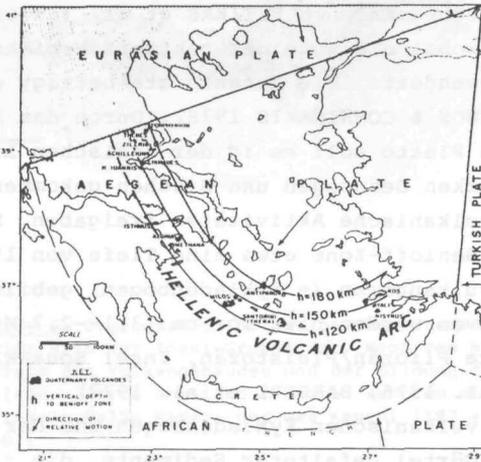


Abb. 84 c: Die Form der Benioff-Zone und die nach N größer werdende Abtauchtiefe (aus NINKOVICH & HAYS 1972: 336)

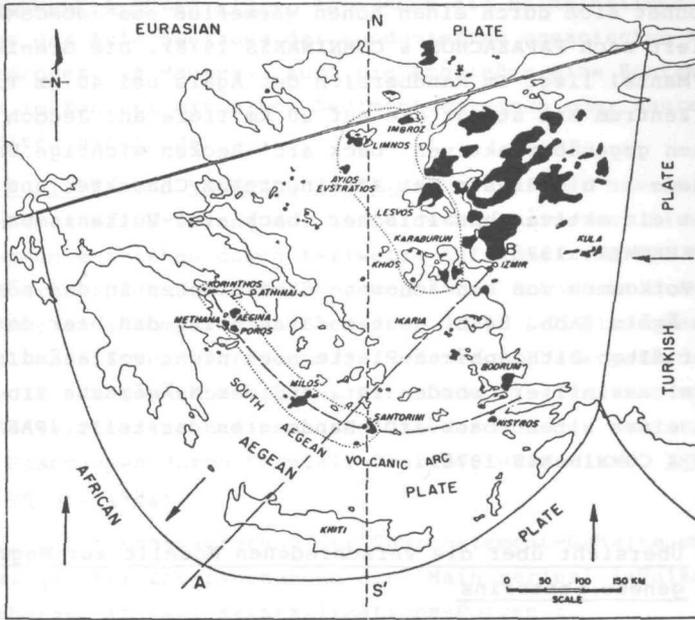


Abb. 85 : Die Lage des Vulkanbogens (= Kykladenbogen) in der Süd-Ägäis (aus NICHOLLS 1971a: 378)

werden zusammen als "Hellenischer Bogen" bezeichnet (NINKOVICH & HAYS 1972, BARTON et al. 1983, MANN 1983). Zu dem inneren vulkanischen Bogen gehört auch die Santorin-Inselgruppe, die eine zentrale Lage innerhalb des Bogens einnimmt. Die älteste submarine Lava Santorins hat ein K/Ar-Alter von 1,6 Mio. Jahren (FERRARA et al. 1980). Die vulkanischen Gesteine liegen auf ca. 23--30 km mächtiger kontinentaler Kruste (MAKRIS 1977), die aus paläozoischen bis mesozoischen Metamorphiten besteht. Die Metamorphite sind sowohl durch Hochdruck/Hochtemperatur-Metamorphose im Eozän als auch durch Niedrigdruck/Niedrigtemperatur-Metamorphose im Mittel- bis Obermiozän geprägt (DURR et al. 1978). Die Inselbögen und das Gebiet des Ägäischen Meeres hinter den Bögen wird von Mc KENZIE (1978) als relativ junges, kleines Inselbogen-Randbecken-System angesehen. Dieses 'back arc'-Becken oder Randmeer der Zentralen Ägäis

zeichnet sich durch einen hohen Wärmefluß aus (JONGSMA 1974, zitiert nach PAPAZACHOS & COMNINAKIS 1978). Die Grenze Kruste/Mantel liegt im Randbereich der Ägäis bei 40 km Tiefe, zum Zentrum hin steigt sie auf 20 km Tiefe an. Jedoch bestehen gegenüber aktiven 'back arc'-Becken wichtige Unterschiede : Die Kruste hat kontinentalen Charakter und es fehlt ein aktiver basaltischer 'back arc'-Vulkanismus (BERKHEMMER 1978).

Das Vorkommen von schwächeren Erbebenzonen in der nördlichen Ägäis (Abb. 84 b) deutet darauf hin, daß hier der Rest einer alten Lithosphären-Platte noch nicht vollständig vom Mantel assimiliert worden ist, und der N-Ägäische Trog der Rest eines alten 'back arc'-Randmeeres darstellt (PAPAZACHOS & COMNINAKIS 1978).

## 5.2. Übersicht über die verschiedenen Modelle zur Magmen- genese Santorins

Die Modelle zur Entstehung und Entwicklung der Vulkanite Santorins lassen sich in zwei Gruppen unterteilen :

1. Es wird ein primär basaltisches Stammagma aus den Teilschmelzen des Oberen Mantels angenommen;
2. es wird ein primär andesitisches Stammagma als Teilschmelze der abtauchenden ozeanischen Kruste angenommen.

PICHLER & STENGELIN (1968) und PICHLER et al. (1972) gehen von einem primär andesitischem Magma aus, das durch Aufschmelzung von Material des Oberen Mantels oder der Unteren Kruste gebildet wurde. Sie belegen dies mit den entsprechenden K/Rb- und Rb/Sr-Verhältnissen, die charakteristisch für Gesteine des Oberen Mantels sind. Hierfür spricht auch das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0.7040--0.7056. Die sauren Gesteine Santorins (Dacite--Rhyodacite) entstehen durch Anatexis der Oberen Kruste. Das Nebeneinander von verschiedenen Gesteinstypen erklären sie durch Kontamination von Krustenmaterial in die basischen bis intermediären Schmelzen.

Nach PUCHELT & HOEFS (1971) entstehen die kalkalkalinen Magmen aus der Aufschmelzung der subduzierten ozeanischen Kruste und/oder des Mantels. Auch sie schließen eine Kontamination im Kontakt mit alten Sedimentgesteinen oder sauren Magmatiten nicht aus.

PUCHELT (1978) und NICHOLLS (1971a) nehmen primär basaltische Magmen als Ursprung der Gesteine Santorins an. Diese Stammagmen entstehen durch teilweise Aufschmelzung des Mantels oberhalb der Benioff-Zone, wobei die Schmelzbildung durch die an inkompatiblen Elementen (oder LIL-Elementen) und Seltenen Erden angereicherte, wässrige Phase gefördert wird, die aus dem subduzierten Ozeanboden freigesetzt wird. Dabei entwickeln sich die sauren Glieder aus den basaltischen Stammagmen durch Kristall-Fraktionierung (s.a. INNOCENTI et al. 1981).

MANN (1983) trennt aufgrund der Spurenelement-Gehalte und mineralogischer Untersuchungen die 'Main series' (=Vulkanite N-Theras) in zwei Kristallisations-Folgen :

- a) Ein frühes Stadium von Basalten und Andesiten, das charakterisiert ist durch die Abscheidung von Ca-Plagioklas + Augit + Olivin, und
- b) ein Spätstadium von Andesiten und Rhyodaciten, das sich aus einer Plagioklas + Augit + Hypersthen + Magnetit + Apatit-Kristallisation entwickelt.

Die 'high alumina'-basaltischen Ausgangsschmelzen entstehen bei der Teilschmelzung des Oberen Mantels. Während des Aufstiegs verändert sich das Magma durch Kristallisation von Olivin + Pyroxen + Cr-Spinell und fraktioniert zu sauren Schmelzen bei Drucken, wie sie an der Basis der Ägäischen Kruste herrschen.

BARTON et al. (1983) nehmen aufgrund von Sr-Isotopen-Untersuchungen ebenfalls eine Herkunft des Stammagmas aus dem Mantel an. Durch Kontamination und Assimilation von Gesteinen der Unteren Kruste und einer zusätzlichen Kristall-Fraktionierung bilden sich die Dacite und Rhyodacite Santorins.

Die oben genannten Genese-Modelle basieren alle auf Untersuchungen der Laven von N-Thera.

Diese Serien (Megalo Vouno, M.P. Elias etc., s. Kap. 3.2.)  
 enthalten basischere, weniger differenzierte Gesteine, die  
 der Zusammensetzung des Stammagmas ähnlicher, und somit für  
 die Untersuchung der Genese geeigneter sind.  
 Das Thema der vorliegenden Arbeit war die Aufnahme der py-  
 roklastischen Serien des Thera-Vulkans, sowie eine Rekon-  
 struktion der Vulkangeschichte. Die geochemischen Untersu-  
 chungen wurden daher im Hinblick auf die Entwicklung des  
 Thera-Vulkans durchgeführt, und nicht zur Klärung der Mag-  
 mengenese Santorins. Dafür wären die Aufnahme der gesamten  
 Magmenfolge des Santorin-Vulkans und spezielle Untersuchun-  
 gen (z.B. Isotopen-Geochemie, SEE etc.) notwendig.

## VI. LITERATUR

- BARBERI, F., INNOCENTI, F., MARINELLI, C. & MAZZUOLI, R. (1977): Vulcanismo e tettonica a placche: esempi nell'area mediterranea. - Mem. Soc. Geol. H., 13: 327-358.
- BARTON, M. & HUIJSMANS, J.P.P. (1984): Evidence for eruption from a thermally buffered magma chamber: the post-caldera lavas of Santorini, Greece revisited. - EOS, 65 (45).
- BARTON, M., SALTERS, V.J.M. & HUIJSMANS, J.P.P. (1983): Sr isotope and trace element evidence for the role of continental crust in calc-alkaline volcanism on Santorini and Milos, Aegean Sea, Greece. - Earth and Planetary Sc. Lett., 63: 273-291; Amsterdam.
- BERKHEMMER, H. (1978): Some aspects of the evolution of marginal seas deduced from observations in the Aegean region. - In: Alps, Apennines, Hellenides (H. Closs et al., eds.), I.C.G. Scient. Rep., 38: 527-529; Stuttgart.
- BOND, A. & SPARKS, R.S.J. (1976): The Minoan eruption of Santorini, Greece. - J. geol. Soc., 132: 1-16; London.
- BRINKLEY, S.R.J., KIRKWOOD, J.G., LAMPSON, C.W., REVELLE, R. & SMITH, S.B. (1950): Shock from underwater and underground blasts. In the effects of Atomic Weapons, Los Alamos New Mexico. - U.S. Government Printing Office, : 83-113.
- BRIQUEU, L. & LANCELOT, J.R. (1982):  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios from Nea Kameni lavas (Santorini Volcano) and geochemical effects of solfataras. - Laboratoire des Géochimie Isotopique; Montpellier.
- CITA, M.B. & RYAN, W.B.F. (1978): The Deep-sea record of the Eastern Mediterranean in the last 150.000 years. - Thera and the Aegean World I: 45-60; London.
- COMNINAKIS, D.E. & PAPAACHOS, B.C. (1980): Space and time distribution of the intermediate focal depth earthquakes in the Hellenic arc. - Tectonophys., 70: T35-T47.
- CRANDELL, D.R. (1971): Postglacial lahars from Mount Rainier volcano; Washington. - U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 677: 1-75.
- CROSS, W., IDDINGS, J.P., PIRSSON, L.V. & WASHINGTON, H.S. (1903): Quantitative classification of igneous rocks. - Univ. Chicago Press.
- DOUMAS, C. (1974): The Minoan eruption of the Santorini Volcano. - Antiquity, 48: 110-115.
- (1978): The stratigraphy of Akrotiri. - Thera and the Aegean World I: 777-782; London.

- DRUITT, T.H. & SPARKS, R.S.J. (1982): A proximal ignimbrite breccia facies on Santorini, Greece. - *J. volcanol. geotherm. res.*, 13 (1-2): 147-171.
- DURR, St., ALTHERR, R., KELLER, J., OKRUSCH, M. & SEIDEL, E. (1978): The median Aegean crystalline belt: Stratigraphy, Structure, Metamorphism, Magmatism. - In: *Alps, Apennines, Hellenides* (H.Closs et al., eds.) I.C.G. Scient. Rep., 38: 455-477; Stuttgart.
- FEDERMAN, A. N. & CAREY, S.N. (1980): Electron microprobe correlation of tephra from eastern Mediterranean abyssal sediments and the Island of Santorini. - *Quaternary Res.*, 13: 160-171.
- FERRARA, G., FYTIKAS, M. GUILIANI, O. & MARINELLI, G. (1980): Age of the formation of the Aegean active volcanic arc. - *Thera and the Aegean World II*: 37-41; London.
- FISHER, R.V. (1961): Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. - *Bull. geol. Soc. Amer.*, 72: 1409-1414; New York.
- (1966): Mechanism of deposition from pyroclastic flows. - *Am. J. Sc.*, 264: 350-363.
- (1979): Models for pyroclastic surges and pyroclastic flows. - *J. volcanol. geotherm. res.*, 6: 305-318.
- FISHER, R.V. & SCHMINCKE, H.U. (1984): *Pyroclastic rocks*. - 472 S.; Berlin, Heidelberg, New York, Tokio (Springer).
- FOUQUÉ, F. (1879): *Santorin et ses éruption*. - 440 S.; Paris (Masson).
- FRANCAVIGLIA, V. (1982): Analysen-Daten der Unteren (Bu) und der Mittleren (Bm) Bimsstein-Folge. - Unveröffentl.
- FRIEDRICH, W.L. (1978): Fossil plants from Weichselian palaeosols, Santorini. - *Thera and the Aegean World I*: 741-744; London.
- (1980): Fossil plants from Weichselian Interstadials from Santorini (Greece) II. - *Thera and the Aegean World II*: 109-128; London.
- FRIEDRICH, W.L. & PICHLER, H. (1976): Radiocarbon dates of Santorini volcanics. - *Nature*, 262 (5567): 373-374.
- FRIEDRICH, W.L., PICHLER, H. & KUSSMAUL, S. (1977): Quaternary pyroclastics from Santorini/Greece and their significance for the Mediterranean palaeoclimate. - *Bull. geol. Soc. Denmark*, 26: 27-39; Copenhagen.
- FÜCHTBAUER, H. (1959): Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. - *Erdöl u. Kohle*, 12: 605-613.

- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sedimente und Sedimentgesteine (Sediment-Petrologie, Teil II). - 784 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- FYTIKAS, M., GUILIANI, O., INNOCENTI, F., MARINELLI, G. & MAZZUOLI, R. (1976): Geochronological data on recent magmatism of Aegean Sea. - *Tectonophys.*, 31: T29-T34.
- GILL, J.B. (1981): Orogenic andesites and Plate tectonics. - 390 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- GÜNTHER, D. (1972): Vulkanologisch-petrographische Untersuchungen pyroklastischer Folgen auf Santorin (Ägäis/Griechenland). - Unveröff. Diss., 111 S.; Tübingen.
- GÜNTHER, D. & PICHLER, H. (1973): Die Obere und Untere Bimsstein-Folge auf Santorin. - *N. Jb. Paläont., Mh.*, 7 (1973): 394-415.
- HARKER, A. (1909): The natural history of igneous rocks. - 384 S.; New York (Macmillan).
- HEIKEN, G. & MCCOY, F., Jr. (1984): Caldera development during the Minoan eruption, Thira, Cyclades, Greece. - *J. Geophys. Res.*, 89 (B10): 8441-8462.
- HEWERS, W. & STENGELIN, R. (1973): ALGOL Programs for the Computation of the stable minerals assemblages of igneous rocks with the aid of RITTMANN-Norms. - Selbstverlag; Tübingen.
- HOOD, S. (1978): Traces of the Eruption outside Thera. - Thera and the Aegean World I: 681-690; London.
- IDDINGS, J.P. (1909): Igneous rocks. - 464 S.; New York (J. Wiley and sons).
- INNOCENTI, F., MANETTI, P., PECCERILLO, A. & POLI, G. (1981): S-Aegean volcanic arc: geochemical variations and geotectonic implications. - *Bull. volcanol.*, 44: 377-391.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. - *Canad. J. Earth Sci.*, 8: 523-548.
- JONGSMA, D. (1974): Heat flow in the Aegean Sea. - *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 37: 337-346.
- KELLER, J. (1971): The major volcanic events in recent Eastern Mediterranean Volcanism and their bearing on the problem of Santorini ash layers. - *Acta 1st. Int. Sci. Congr. on the volcano of Thera*, 15-23. Sept. 1969: 152-169; Athen.
- (1981): Quarternary tephrochronology in the mediterranean region. - In: SELF, S. & SPARKS, R.S.J.: *Tephra studies*: 227-244.

- KELLER, J. (1982): Mediterranean island arcs. - In: Andesites (R.S. Thorpe, ed.): 307-325; Chichester.
- KELLER, J. & NINKOVICH, D. (1972): Tephra-Lagen in der Ägäis. - Z. deutsch. geol. Ges., 123: 579-587; Hannover.
- KELLER, J., RYAN, W.B.F., NINKOVICH, D. & ALTHERR, R. (1978): Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200.000 yr as recorded in deep-sea sediments. - Geol. Soc. Amer. Bull., 89: 591-604; New York.
- KTENAS, C.A. (1935): Le group d' îles de Santorin. Contribution à l'étude des laves tertiaires et quaternaires de la mer Egée. - Pragm. Acad. Athenes Tom. A., 4: 1-22.
- KUNO, H. (1969): Andesite in time and space. - Oregon. Dept. Geol. Mineral. Ind. Bull., 65: 13-20; Portland.
- KUSSMAUL, S. (1971): Vulkanologie und Petrographie von Nord-Thera (Santorin-Gruppe/Ägäis). - Diss., 112 S.; Tübingen.
- LEONHARD, R.C. (1844): Geologie und Naturgeschichte der Erde. - Stuttgart (Schweizerbart).
- LIRER, L., PESCATORE, T., BOOTH, B. & WALKER, G.P.L. (1973): Two Plinian pumice-fall deposits from Somma-Vesuvius, Italy. - Geol. Soc. Amer. Bull., 84: 759-772.
- LORENZ, V. (1974): Vesiculated tuffs and associated features. - Sedimentology, 21: 273-291.
- MAIER-LINDEN, V. (in Vorb.): Geologische und petrologische Untersuchungen der Laven von Therasia. - Diss. Univ. Tübingen.
- MAKRIS, J. (1977): Geophysical investigations of the Hellenides. - Hamb. Geophys. Einzelschr., 34: 1-124.
- MANN, A.C. (1983): Trace element Geochemistry of High Alumina Basalt - Andesite - Dacite - Rhyodacite lavas of the Main volcanic series of Santorini volcano, Greece. - Contrib. Min. Petrol., 84: 43-57.
- MARSHALL, D. (1935): Acid rocks of the Taupo-Rotorua volcanic district. - Trans. Roy. Soc. N.Z., 64: 323-366.
- McKENZIE, D.P. (1970): Plate tectonics of the Mediterranean region. - Nature, 226: 239-243.
- (1978): Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions (tectonics of the Aegean region). - Geophys. J.R. Astr. Soc., 55: 217-254.
- MIMURA, K. & MacLEOD, N.S. (1978): Source directions of pumice and ash deposits near Bend, Oregon (Abst.). - Geol. Soc. Amer. Abst. with programs, 10: 137.

- MOORE, J.G. & MELSON, W.G. (1969): Nuées ardentes of the 1968 eruption of Mayon Volcano, Philippines. - Bull. volcanol., 33: 600-620.
- MÜLLER, G. (1964): Methoden der Sedimentuntersuchung. - 303 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- NEUMANN van PADANG, M. (1936): Die Geschichte des Vulkanismus Santorins von ihren Anfängen bis zum zerstörenden Bimssteinausbruch um die Mitte des 2. Jahrtausends v. Chr. - In: RECK, Bd. 1: 1-72; Berlin.
- NICHOLLS, I.A. (1971a): Santorini volcano, Greece - Tectonic and petrochemical relationships with volcanics of the Aegean region. - Tectonophys., 11: 377-385.
- (1971b): Petrology of Santorini Volcano, Cyclades, Greece. - J. Petrol., 12 (1): 67-119.
- NINKOVICH, D. & HAYS, J.D. (1972): Mediterranean island arcs and origin of high potash volcanoes. - Earth and Planetary Sci. Lett., 16: 331-345.
- PAPASTAMATIOU, J.N. (1958): Sur l'âge des calcaires cristallines de l'île de Thera (Santorin). - Bull. Geol. Soc. Greece, 3: 104-113. (In griechisch mit franz. Résumé).
- PAPAZACHOS, B.C. & COMNINAKIS, D.E. (1978): Geotectonic significance of the deep seismic zones in the Aegean area. - Thera and the Aegean World I: 121-129; London.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. - Contr. Mineral. Petrol., 58: 63-81.
- PERLAKI, E. (1966): Pumice and scoria: Their notion, criteria, structure and genesis. - Acta geol. Hung. X: 13-29.
- PERRET, F.A. (1937): The eruption of Mt. Pelée 1929-1932. - Carnegie Inst. Wash. Publ., 458: 1-126.
- PHILIPPSON, A. (1899): Die Inselgruppe von Thera. - In: HILLER von GAERTRINGEN: Thera, Bd.1.
- (1959): Die griechischen Landschaften. Bd. 4: Das Ägäische Meer und seine Inseln. - 412 S.; Frankfurt/Main (Klostermann).
- PICHLER, H. (1963): Ignimbrite auf Santorin (Ägäische Inseln). - Ann. géol. Pays hellén., 14: 408-435; Athènes.
- (1973): "Base surge" - Ablagerungen auf Santorin. - Die Naturwissenschaften, 60 (4): 198.
- PICHLER, H. & FRIEDRICH, W.L. (1976): Radiocarbon dates of Santorini volcanics. - Nature, 262 (5567): 373-374.

- PICHLER, H. & FRIEDRICH, W.L. (1980): Mechanism of the Minoan eruption of Santorini. - Thera and the Aegean World II: 15-30; London.
- PICHLER, H. & KUSSMAUL, S. (1972): The calc-alkaline volcanic rocks of the Santorini Group (Aegean Sea, Greece). - N. Jb. Mineral. Abh., 116: 268-307; Stuttgart.
- (1980): Comments on the geological map of Santorini Islands. - Thera and the Aegean World II: 413-427; London.
- PICHLER, H. & SCHIERING, W. (1980): Der spätbronzezeitliche Ausbruch des Thera-Vulkans und seine Auswirkungen auf Kreta. - Archäolog. Anzeiger, 1980: 1-37; Berlin (Walter de Gruyter & Co).
- PICHLER, H. & STENGELIN, R. (1968): Petrochemische und nomenklatorische Revision der Vulkanite des südägäischen Raumes (Griechenland). - Geol. Rdsch., 57: 795-810; Stuttgart.
- PICHLER, H., GÜNTHER, G. & KUSSMAUL, S. (1972): Inselbildung und Magmengene im Santorin-Archipel. - Die Naturwissenschaften, 59: 188-197; Berlin.
- PLAS, L. van der & TOBI, A.C. (1965): A chart for judging the reliability of point counting results. - Am. J. Sci., 263: 87-90.
- PUCHELT, H. (1978): Evolution of the volcanic rocks of Santorini. - Thera and the Aegean World I: 131-146; London.
- PUCHELT, H. & HOEFS, J. (1971): Preliminary geochemical and strontium isotope investigations on Santorini rocks. - Acta Internat. Sci. Congr. on the volcano of Thera 1969: 318-327.
- PUCHELT, H. & SCHOCK, H.H. (1972): Geochemische Untersuchungen an Bimsen von Santorin (Ägäis). - Z. deutsch. geol. Ges., 123: 513-519; Hannover.
- RAST, H. (1980): Vulkane und Vulkanismus. - 223 S.; Stuttgart (Enke).
- RECK, H. et al. (1936): Santorin - Der Werdegang eines Inselvulkans und sein Ausbruch 1925-1928. - 3 Bände; Berlin (D. Reimer).
- RICHTER, I. & STROBACH, K. (1978): Benioff zones of Aegean arc. - In: Alps, Apennines, Hellenides (H.Closs et al., eds.) ICG sc. Rep. 38: 410-414.
- RITTMANN, A. (1973): Stable mineral assemblages of igneous rocks. - 262 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- (1977): Vulkane in Farbe. - 128 S.; München (Südwest).

- RITTMANN, A. (1981): Vulkane und ihre Tätigkeit. - 399 S.; Stuttgart (Enke).
- ROSE, W.I., Jr., PEARSON, T. & BONIS, S. (1977): Nuée ardente eruption from the foot of a dacite lava flow, Santiago Volcano, Guatemala. - Bull. volcanol., 40: 1-16.
- ROSS, C.S. & SMITH, R.L. (1961): Ash-flow tuffs: Their origin, geologic relations, and identification. - Prof. Pap. U. S. geol. Surv., 366: 81 S.; Washington /D.C.
- SCHARBERT, H.G. (1984): Petrologie und Geochemie der Magmatite. - Bd. I, 312 S.; Wien (Deuticke).
- SCHMID, R. (1981): Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments. - Geol. Rdsch., 70 (2): 794-799; Stuttgart.
- SCHNEIDER, H. (1968): Vulkanische und petrographische Untersuchungen im Bereich der Insel Therasia (Santorin/Griechenland). - Unveröff. Dipl.-Arb., 55 S.; Tübingen.
- SCHNEIDERHÖHN, P. (1953): Untersuchungen zur Siebanalyse von Sanden und zur Darstellung ihrer Ergebnisse. - N.Jb. Min. Abh., 85 (2): 141-202; Stuttgart.
- SCHOCK, H.H. (1977): Trace element partitioning between phenocrysts of plagioclase, pyroxenes and magmatite and the host pyroclastic matrix. - J. Radioanal. Chem., 38: 327-340.
- SELF, S. (1976): The recent volcanology of Terceira, Azores. - J. Geol. Soc., 132: 645-666; London.
- SEWARD, D., WAGNER, G.A. & PICHLER, H. (1980): Fission track ages of Santorini Volcanics (Greece). - Thera and the Aegean World II: 101-108; London.
- SMITH, A.L., FISHER, R.V., ROOBOL, M.L. & WRIGHT, J.V. (1981): Pyroclastic flows and surges: examples from the lesser Antilles. - In: Tephra studies, : 421-425 (Self & Sparks).
- SPARKS, R.S.J. (1976): Grain size variations in ignimbrites for the transport of pyroclastic flows. - Sedimentology, 23: 147-188.
- (1979): The Santorini eruption and its consequences. - Endeavour, New Series, 3/1: 27-31.
- SPARKS, R.S.J., SELF, S. & WALKER, G.P.L. (1973): Products of ignimbrite eruptions. - Geology, 1: 115-118.
- SPARKS, R.S.J., SIGURDSSON, H. & WILSON, L. (1977): Magma mixing: a mechanism for triggering acid explosive eruptions. - Nature 267: 315-318.

- SPARKS, R.S.J., WILSON, L. & HULME, G. (1978): Theoretical modelling of the generation, movement, and emplacement of pyroclastic flows by column collapse. - *J. Geophys. Res.*, 83: 1727-1739.
- STRECKEISEN, A. (1980): Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks. IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. - *Geol. Rdsch.*, 69: 194-207.
- TATARIS, A.A. (1964): The eocene in the semimetamorphosed basement of Thera island. - *Bull. Geol. Soc. Greece*, 6: 232-238, (in Griechisch mit engl. Zusammenfassung).
- TAYLOR, G.A. (1958): The 1951 eruption of Mount Lamington, Papua. - *Austr. Bur. Min. Resour. Geol. Geophys. Bull.*, 38: 1-117.
- THORARINSSON, S. (1978): Some comments on the Minoan eruption of Thera. - *Thera and the Aegean World I*: 263-275; London.
- THORNTON, C.P. & TUTTLE, O.F. (1960): Chemistry of igneous rocks, I Differentiation index. - *Am. J. Sci.*, 258: 664-684.
- TSUYA, H. (1930): The eruption of Komagatake, Hokkaido, in 1929. - *Tokyo Univ. Earth Res. Inst. Bull.*, 8: 238-270.
- VANCE, J.A. (1965): Zoning in igneous Plagioclase: Patchy zoning. - *J. Geol.*, 73: 636-651; Chicago.
- VITALIANO, C.J., FOUT, J.S. & VITALIANO, D.B. (1978): Petrochemical study of the tephra sequence exposed in the Phira quarry, Thera. - *Thera and the Aegean World I*: 203-215; London.
- VOSSMERBÄUMER, H. (1976): *Allgemeine Geologie*. - 277 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- WALKER, G.P.L. (1972): Crystal concentration in ignimbrites. - *Contr. Mineral. Petrol.*, 36: 135-146.
- (1981a): New Zealand case histories of pyroclastic studies. - In: *Tephra studies*: 317-330 (Self & Sparks, eds.).
- (1981b): Volcanological applications of pyroclastic studies. - In: *Tephra studies*: 391-403 (Self & Sparks, eds.).
- WALKER, G.P.L. & CROASDALE, R. (1971): Characteristics of some basaltic pyroclastics. - *Bull. volcanol.*, 35: 303-317.
- WATERS, A.C. & FISHER, R.V. (1971): Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal volcanoes. - *Geophys. Res.*, 76: 5596-5614.

- WATKINS, N.D., SPARKS, R.S.J., SIGURDSSON, H., HUANG, T.C., FEDERMAN, A., CAREY, S. & NINKOVICH, D. (1978): Volume and extent of the Minoan tephra from Santorini Volcano: new evidence from deep-sea sediment cores. - *Nature*, 271: 122-126.
- WENTWORTH, C.K. (1926): Pyroclastic geology of Oahu. - *Bishop Museum Bull.*, 30: 1-121.
- WENTWORTH, C.K. & WILLIAMS, H. (1932): The classification and terminology of the pyroclastic rocks. - *Bull. Nation. Res. Council*, 89: 19-53.
- WIJMSTRA, T.A. (1969): Palynology of the first 30 metres of a 120 m deep section in northern Greece. - *Acta Bot. Neerl.*, 18: 511-527.
- WILSON, C.J.N. & WALKER, G.P.L. (1981): Violence in pyroclastic flow eruptions. - In: *Tephra studies*: 441-448 (Self & Sparks, eds.).
- WRIGHT, J.V., SMITH, A.L. & SELF, S. (1980): A working terminology of pyroclastic deposits. - *J. volcanol. geotherm. Res.*, 8: 315-336; Amsterdam (Elsevier).
- YOKOYAMA, S. (1974): Mode of movement and emplacement of Ito pyroclastic flow from Aira Caldera. - *Japan Sci. Rep. of Tokyo Kyoiiku Daigaku, Sec. C (Geography, Geology and Mineralogy)*, 12: 17-62.



## VII. ANHANG

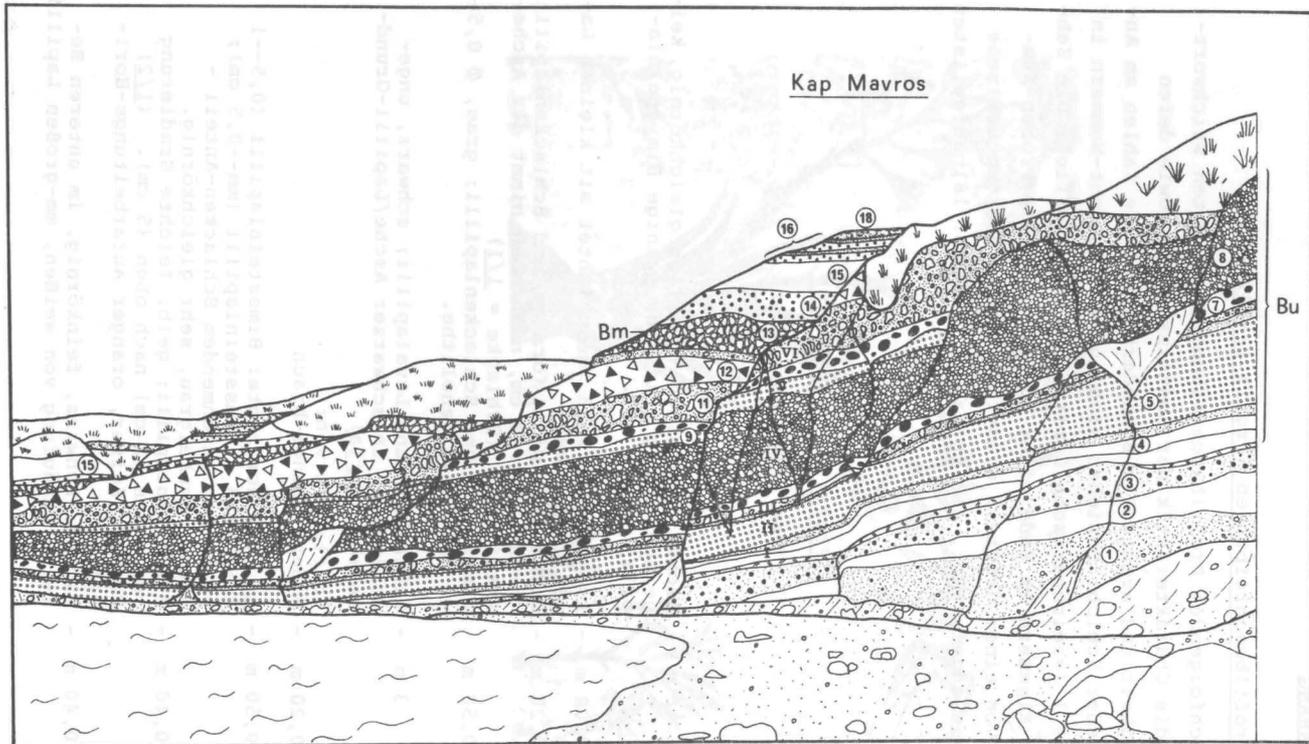
7.1. Profilbeschreibungen (Profil 1--14)

Die nachfolgenden Profilbeschreibungen enthalten stichwortartig die Charakteristik der Gesteinstypen, sowie deren Mächtigkeit und eventuelle Besonderheiten. Die Zahlen am Anfang jeder Schicht beziehen sich auf die Schicht-Nummern in Beilage 1 (=zeichnerische Darstellung der Profile). Die Zahlen in Klammern am Ende einer Schicht sind die Proben-Nummern. Von einem Großteil dieser Proben wurden geochemische Analysen angefertigt, die in Kap. 7.2. (Tab. 16) aufgelistet sind.

Profil 1 = Kap Mavros

(von unten nach oben)

- |   |   |   |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
|---|---|---|--------|---|---|--------|--|---|--------|--|--|
| 1 | 6 m   | - Aschen; grünbraun, ziemlich gleichkörnig, keine Schichtung erkennbar, wenige Bimssteinlapilli ( $\emptyset$ 0,5 cm).  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| 2 | <table border="0"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,04 m</td> <td>- Aschenband; weiß, geschichtet mit kleinen Lapilli (<math>\emptyset</math> 2 mm).</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,20 m</td> <td>- Bimssteinlapilli (orange) und Schlackenlapilli (grau); <math>\emptyset</math> 1--3 cm, nach oben nimmt der Asche-Anteil zu. (Schlacke = <u>1/1</u>)</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,50 m</td> <td>- Bimsstein- und Schlackenlapilli; grau, <math>\emptyset</math> 0,5--2 cm, wenig Xenolithe.</td> </tr> </table>   | {   | 0,04 m | - Aschenband; weiß, geschichtet mit kleinen Lapilli ( $\emptyset$ 2 mm).  | { | 0,20 m | - Bimssteinlapilli (orange) und Schlackenlapilli (grau); $\emptyset$ 1--3 cm, nach oben nimmt der Asche-Anteil zu. (Schlacke = <u>1/1</u> )    | { | 0,50 m | - Bimsstein- und Schlackenlapilli; grau, $\emptyset$ 0,5--2 cm, wenig Xenolithe.           |  |
| { | 0,04 m  | - Aschenband; weiß, geschichtet mit kleinen Lapilli ( $\emptyset$ 2 mm).  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| { | 0,20 m  | - Bimssteinlapilli (orange) und Schlackenlapilli (grau); $\emptyset$ 1--3 cm, nach oben nimmt der Asche-Anteil zu. (Schlacke = <u>1/1</u> )                                     |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| { | 0,50 m  | - Bimsstein- und Schlackenlapilli; grau, $\emptyset$ 0,5--2 cm, wenig Xenolithe.  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| 3 | <table border="0"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">3 m</td> <td>- Schlacken- und Lavalapilli; schwarz, ungeschichtet, in schwarzer Asche/Lapilli-Grundmasse. (<u>1/1a</u>)</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,20 m</td> <td>- überlagert von:<br/>Boden; orange-braun</td> </tr> </table>   | {   | 3 m    | - Schlacken- und Lavalapilli; schwarz, ungeschichtet, in schwarzer Asche/Lapilli-Grundmasse. ( <u>1/1a</u> )  | { | 0,20 m | - überlagert von:<br>Boden; orange-braun   |   |        |  |  |
| { | 3 m   | - Schlacken- und Lavalapilli; schwarz, ungeschichtet, in schwarzer Asche/Lapilli-Grundmasse. ( <u>1/1a</u> )  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| { | 0,20 m  | - überlagert von:<br>Boden; orange-braun  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| 4 | <table border="0"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,50 m</td> <td>- <u>Bu I</u>: 3 Horizonte: Bimssteinlapilli (0,5--1 cm); weiß - Bimssteinlapilli (mm--0,5 cm); weiß, mit zunehmendem Schlacken-Anteil - Asche; dunkelgrau, sehr gleichkörnig.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,40 m</td> <td>- Bimssteinlapilli; gelb, leichte Gradierung von unten (2 cm) nach oben (5 cm). (<u>1/2</u>) darüber feiner, oranger Aufarbeitungs-Horizont.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="vertical-align: middle;">0,40 m</td> <td>- Aschen; schwarz, feinkörnig, im unteren Bereich Anhäufung von weißen, mm-großen Lapilli.</td> </tr> </table> | {   | 0,50 m | - <u>Bu I</u> : 3 Horizonte: Bimssteinlapilli (0,5--1 cm); weiß - Bimssteinlapilli (mm--0,5 cm); weiß, mit zunehmendem Schlacken-Anteil - Asche; dunkelgrau, sehr gleichkörnig. | { | 0,40 m | - Bimssteinlapilli; gelb, leichte Gradierung von unten (2 cm) nach oben (5 cm). ( <u>1/2</u> ) darüber feiner, oranger Aufarbeitungs-Horizont. | { | 0,40 m | - Aschen; schwarz, feinkörnig, im unteren Bereich Anhäufung von weißen, mm-großen Lapilli. |  |
| { | 0,50 m  | - <u>Bu I</u> : 3 Horizonte: Bimssteinlapilli (0,5--1 cm); weiß - Bimssteinlapilli (mm--0,5 cm); weiß, mit zunehmendem Schlacken-Anteil - Asche; dunkelgrau, sehr gleichkörnig. |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| { | 0,40 m  | - Bimssteinlapilli; gelb, leichte Gradierung von unten (2 cm) nach oben (5 cm). ( <u>1/2</u> ) darüber feiner, oranger Aufarbeitungs-Horizont.                                  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |
| { | 0,40 m  | - Aschen; schwarz, feinkörnig, im unteren Bereich Anhäufung von weißen, mm-großen Lapilli.  |        |   |   |        |  |   |        |  |  |



Legende s.S. 217

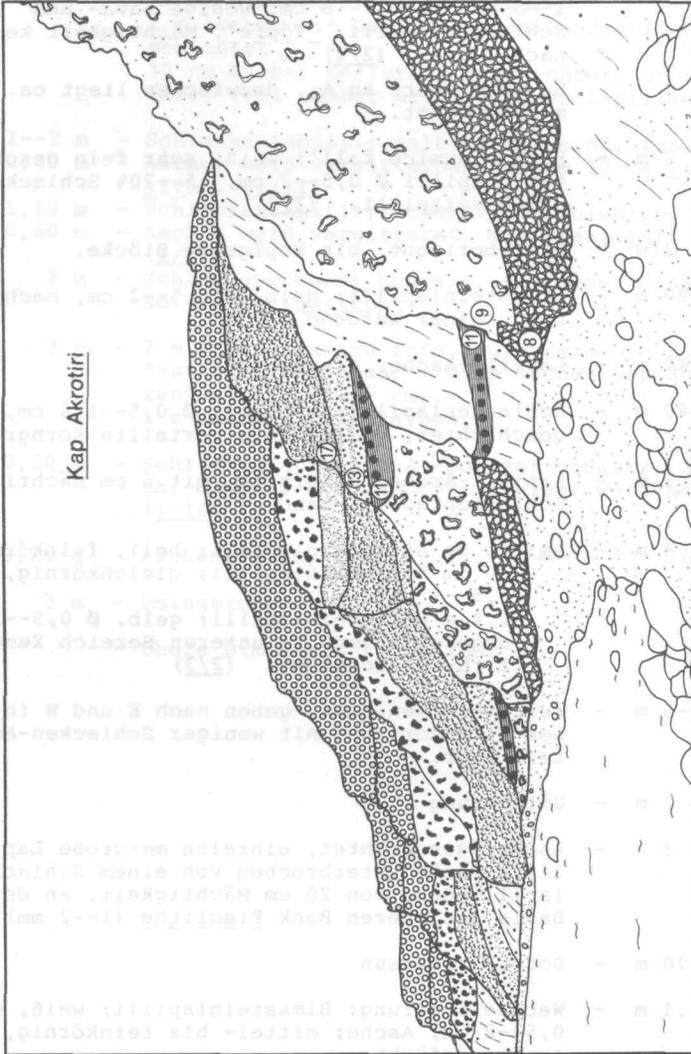
- 5 — 3 m - Bu II: 'pumice fall'; weiß,  $\emptyset$  0,5--3 cm, keine deutliche Schichtung erkennbar, Bimssteine z.T. innen grau, ziemlich gleichmäßig verteilte Korngrößen über die gesamte Schicht, außen fest verbacken, Schicht zeigt "Windkanter-ähnliche" Verwitterungsformen, oberste 50 cm Zunahme der Schlackenlapilli bis zu 30%. (1/3)
- 0,30 m - Lapilli-Asche; orange-rot, Lavalapilli,  $\emptyset$  bis 0,5 mm.
- 6 2,50 m - Bu III: 'pumice flow'; hellrosa Bimssteinlapilli,  $\emptyset$  1--3 cm, wenige Aschepartikel, Schlacken und Xenolithe, bis 6 cm. (1/4)
- 7 2 m - Blockhorizont;  $\emptyset$  10--20 cm, max. 70 cm, stark wechselnde Mächtigkeit.
- 8 8 m - Bu IV: 'pyroclastic flow'; lachsfarben, geschichtet, braunrote Aschenmatrix, eckige bis mäßig kantengerundete Bruchstücke von vielen verschiedenen Laven (schwarz, grau, rot) und Schlacken, in ca. 1,4 m Höhe: 'ground surge'.
- 9 2 m - Bu V: 0,50 cm Bimssteinlapilli; rosa,  $\emptyset$  0,5--5 cm, 20% Schlackenlapilli, ungeschichtet. (1/5)  
1,5 m 9 Horizonte im Wechsel: Lapilli-Asche und Bimssteinlapilli (unten  $\emptyset$  0,5--2 cm--2 cm, max. 7 cm—oben wieder kleiner werdend). (1/6)
- 10 0,6--3 m - Blockhorizont; in "Säcken" eingelagert.
- 11 2 m - Bu VI: 'pumice flow'; gelbweiß, chaotisches Gefüge, Lapilli (mm--2 cm), durchschnittlich faustgroße Blöcke bis 0,5 m  $\emptyset$ , stark wechselnde Mächtigkeit. (1/7)
- 12 4 m - Umlagerungshorizont; z.T. Schichtung durch Korngrößen-Wechsel erkennbar.
- 13 — 0,50 m - Bm: Bimssteinlapilli-Asche; gelb, ungeschichtet,  $\emptyset$  mm--1 cm.
- 2,50 m - Bimssteinlapilli; braun,  $\emptyset$  0,5--3 cm, max. 5-6 cm, vereinzelt schwarze Lavalapilli (unten 5%, nach oben weniger werdend), ungeschichtet; (1/8)  
geht nach oben in braunolive, feine Lapilli-Asche über.
- 14 6 m - Schlacken; schwarz, ungeschichtet, chaotisches Gefüge, unteres Drittel geröllreich, verschiedene Lavablöcke faust- bis kopfgroß,  $\emptyset$  der Schlacken 6--8 cm, (1/9)  
oben große Schlackenbomben (1/10), eingebettet in Schlacken- und Lavalapilli (0,5--4 cm) und brauner Asche, M. von S nach N stark abnehmend.

- 15 3,70 m - 1 m Asche; curryfarben, mit Lapilli in den unteren 15 cm.-  
 40 cm Asche; rötlich, grob, ungeschichtet.-  
 50 cm Aschen; 3 Bänke, rosagrau, geschichtet.-  
 40 cm Asche; rosa, ungeschichtet.-  
 10 cm Bimssteinlapilli; weiß.-  
 1 m Aschen mit Lapilli; grau, undeutlich geschichtet.-  
 30 cm Asche; hellgrau, geschichtet, grob, unterer Teil gröber mit einzelnen Lapilli.
- 16 { 1--2 m - Schlackenlapilli; gelb verwitternd, fein.  
 0,40 m - Asche; weiß verwitternd, untere 10 cm Pisolithe. (1/11)  
 1,10 m - Schlackenlapilli; schwarz, geschichtet. (1/12).  
 0,60 m - Asche; weiß verwitternd, mit Pisolithen. (1/13)  
 2 m - Schlackenbomben; schwarz, in feiner Grundmasse.--- Leithorizont
- 17 3 m - 2 m Aschen; unten fein, curryfarben - 2 cm verfestigtes Ascheband - oben Aschen und Schlackenlapilli (mm--1 cm).-  
 1 m Aschen; curryfarben.
- 18 0,50 m - Schlackenlapilli und -bomben; schwarz, Ø 1--3 cm, max. 10 cm, nach oben feiner werdend: (Sc). (1/14)
- 19 0,20 m - Aschen; weiß, feinkörnig.
- 20 3 m - Umlagerung  
 - Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 2 = Kap Akrotiri

(von unten nach oben)

- 1 mind. 6 m - Bu III: 'pumice flow'; rosaweiß, Lapilli  $\emptyset$  1--3 cm, max. 7--8 cm, wenige Lava- und Schlackenlapilli, "Töpfe", Mächtigkeit keilt nach S aus. (2/1)  
Bu angelagert an A<sub>1</sub>, dazwischen liegt ca. 1 m Hangschutt.
- 2 2 m - Bu V: 'pumice fall'; weiß, sehr fein geschichtet, Lapilli  $\emptyset$  0,5--2 cm, 15--20% Schlacken- und Lavalapilli. (2/2)
- 3 2 m - Blockhorizont; bis kopfgroße Blöcke.
- 4 0,80 m - Bimssteinlapilli; gelb,  $\emptyset$  0,5--2 cm, nach oben feiner werdend.
- 5 0,40 m - Lapilli-Asche; graubraun.
- 6 0,40 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,5--1,5 cm, ungeschichtet, gleichmäßig verteilte Korngröße.
- 7 1,5 m - Lapilli-Asche; ockergelb, mit 6 cm mächtigem Schlackenlapilli-Band.
- 8 2,8 m - Bm: 10 cm Bimssteinlapilli; hell, feinkörnig, 30 cm Bimssteinlapilli; gleichkörnig,  $\emptyset$  0,5--1 cm, 2,4 m Bimssteinlapilli; gelb,  $\emptyset$  0,5--3 cm, ungeschichtet, im unteren Bereich Xenolith-Anreicherung. (2/3)
- 9 3--5 m - Wurf Schlacken; rot, gehen nach E und W in einen Blockhorizont mit weniger Schlacken-Anteil über.
- 10 2 m - Umlagerung
- 11 3 m - Asche; geschichtet, einzelne mm-große Lapilli, 2 Bänke unterbrochen von einem Schlackenlapilli-Band von 20 cm Mächtigkeit, an der Basis der oberen Bank Pisolithe (1--2 mm).
- 12 0,70 m - Boden; rotbraun
- 13 1,1 m - Wechsellagerung: Bimssteinlapilli; weiß,  $\emptyset$  0,5--2 cm, Asche; mittel- bis feinkörnig, z.T. orange gefärbt.
- 14  $\left\{ \begin{array}{l} 0,40 \text{ m} - \text{Asche mit Lapilli; dunkelbraun, Lapilli bis } 1 \text{ cm groß.} \\ 0,10 \text{ m} - \text{Boden; mit einzelnen Lapilli.} \end{array} \right.$



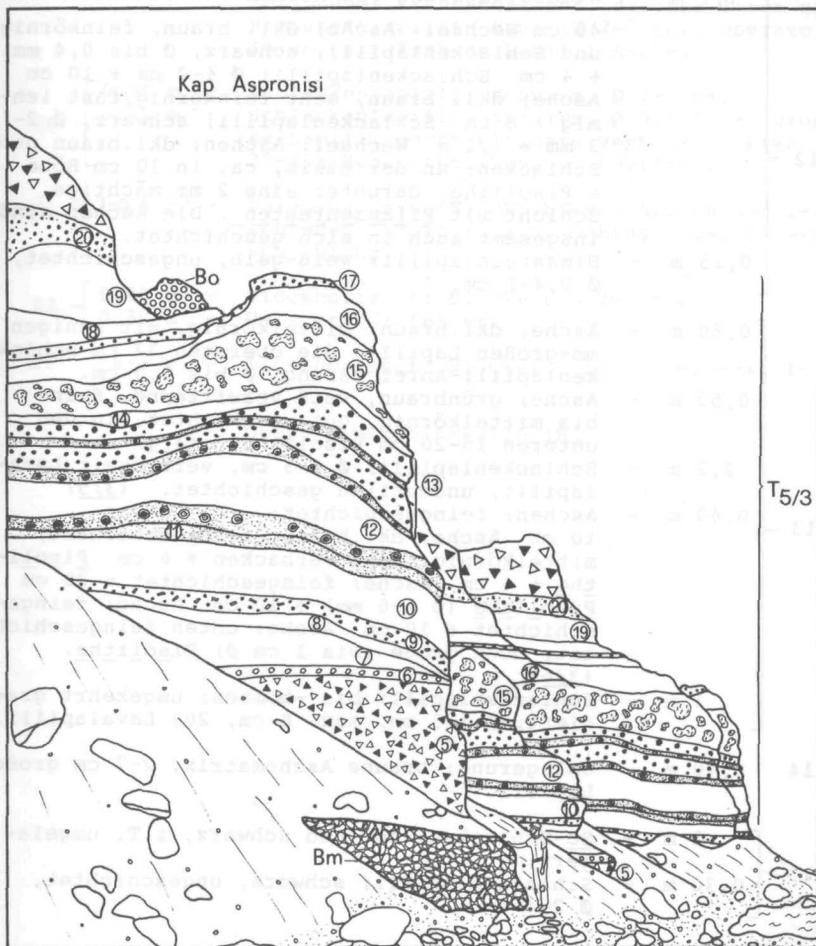
Legende s.S. 217

- 0,40 m - Asche; braungrün, weiß verwitternd, geschichtet, mit einzelnen Lapilli, Pisolithe (2--4 cm).
- 15 1,1 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,2--2 cm, wenige Xenolithe. (2/4)
- 0,50 m - Asche; olivbraun, weiß verwitternd, mittel- bis feinkörnig, Pisolithe (3--5 mm).
- 0,60 m - Schlackenlapilli; umgekehrt gradiert,  $\emptyset$  0,5--5 cm, max. 7 cm, 20% Lavalapilli.
- 16 0,50 m - Umlagerung; fein, Schräg- bzw. Linsenschichtung.
- 17 3--4 m - Sc-Wurfschlacken; rot, gedrehte Bomben,  $\emptyset$  bis 30 cm, dazwischen Lavalapilli und -bomben. (2/5)
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 3 = Kap Aspronisi

(von unten nach oben)

- Liegendes - Hangschutt
- 1 0,60 m - Lapilli-Asche; grob, dreigeteilt: unten: Lava- und Schlackenlapilli ( $\emptyset$  bis 3 cm) - feinere Lapilli ( $\emptyset$  0,5-1,5 cm) - Asche; braun, bis zu 7 cm große Schlackenlapilli.
- 2 [ 0,3-0,4 m - Asche; graubraun mittelkörnig.  
0,20 m - Boden; ockerfarben.
- 3 [ 0,10 m - Lava- und Bimssteinlapilli; schwach geschichtet, Klein-Lapilli, Schicht liegt in einem Relief.  
2,5-3 m - Bm: Bimssteinlapilli; braun,  $\emptyset$  1-4 cm, max. 7 cm, Korngröße gleichmäßig verteilt, wenige Lava- und Schlackenlapilli, nur im unteren Bereich etwas angereichert, keine deutliche Schichtung erkennbar. (3/1)
- 4 1,2 m - Schloträumung; grobe, eckige Blöcke, bis 15 cm  $\emptyset$ .
- 5 1,8 m - Umlagerung; ockerfarbene Asche-Matrix, feinkörnig, in der verschiedene Lapilli bis 1 cm  $\emptyset$  liegen.
- 6 1 m - Bimssteinlapilli; mit 20% Schlacken- und Lavapapilli, mehrere Schichten, in sich gradiert,  $\emptyset$  0,5-3 cm - mm - 0,5-1 cm. (3/2)
- 7 [ 0,40 m - Asche; graubraun, fein- bis mittelkörnig, beige Verwitterungsfarbe.  
1,1 m - 15 cm Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,5-1 cm + 10 cm Asche; grau, mittelkörnig, + 20 cm Schlackenlapilli; unten fein ( $\emptyset$  1-2mm), oben bis 1 cm  $\emptyset$  + 30 cm Asche; schwarzbraun, mittelkörnig + 10 cm Schlackenlapilli;  $\emptyset$  mm - 0,5 cm + 5 cm Asche + 20 cm Schlackenlapilli; schwarz, 0,5-2 cm.
- 8 0,80 m - Lapilli-Asche; ockerbraun,  $\emptyset$  2-4 mm, nach oben in einen Boden übergehend.
- 9 0,4-0,5 m - Schlackenlapilli; schwarz, ungeschichtet,  $\emptyset$  0,2-2 cm, locker gelagert, nicht verbacken, enthält Olivinkristalle. (3/3)
- 10 1,4 m - Asche mit Lapilli; beigebraun, grob, Schlacken- und Lavalapilli,  $\emptyset$  0,5-1 cm, in 2/3 Höhe eine 15 cm mächtige Schicht mit wenigen Lapilli.



Legende s.S. 217

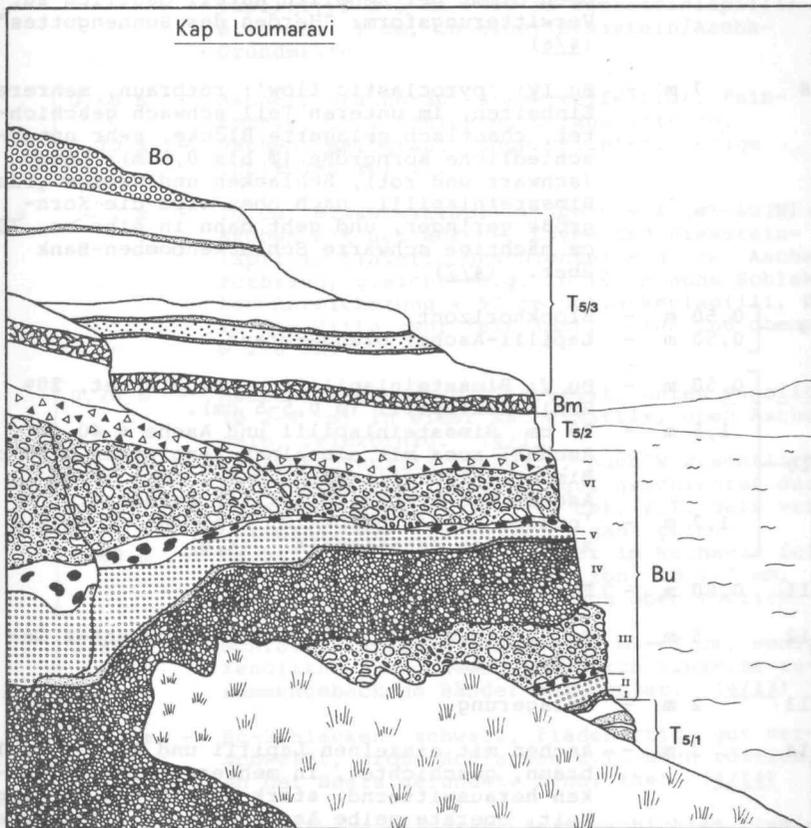
- 11 0,40 m - Asche; braun, mittelkörnig, vereinzelt Lapilli im mm-Bereich.
- 12 { 1,7 m - Wechsellagerung von Aschen und Schlacken :  
40 cm Wechsel: Asche; dkl. braun, feinkörnig und Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  bis 0,4 mm + 4 cm Schlackenlapilli;  $\emptyset$  1-2 mm + 10 cm Asche; dkl. braun, sehr feinkörnig, fast lehmig + 8 cm Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  2-3 mm + 1,1 m Wechsel: Aschen; dkl. braun und Schlacken; an der Basis, ca. in 10 cm Höhe = Pisolith, darunter eine 2 mm mächtige Schicht mit Pflanzenresten. Die Aschen sind insgesamt auch in sich geschichtet.
- 0,25 m - Bimssteinlapilli; weiß-gelb, ungeschichtet,  $\emptyset$  0,4-1 cm.
- 13 { 0,80 m - Asche; dkl. braun, mittelkörnig, mit wenigen mm-großen Lapilli, die obersten 22 cm Schlackenlapilli-Anreicherung,  $\emptyset$  bis 0,5 cm.  
0,50 m - Asche; grünbraun, weiß verwitternd, fein- bis mittelkörnig, gut geschichtet, in den unteren 15-20 cm Pisolith. (3/4)  
2,2 m - Schlackenlapilli;  $\emptyset$  1-3 cm, vereinzelt Lavalapilli, undeutlich geschichtet. (3/5)  
0,60 m - Aschen; feingeschichtet:  
10 cm Asche; dkl. braun, feingeschichtet, mittelkörnig, fest verbacken + 6 cm Pisolith + 4 cm Asche; feingeschichtet + 20 cm Pisolith ( $\emptyset$  5-6 mm) + 10 cm Asche; feingeschichtet + 10 cm Asche; unten feingeschichtet, oben große (bis 1 cm  $\emptyset$ ) Pisolith. (3/6)  
1 m - Schlackenlapilli bis -bomben; umgekehrt gradiert,  $\emptyset$  1-5 cm, max. 8 cm, 20% Lavalapilli.
- 14 0,40 m - Umlagerung; braune Aschematrix, 2-7 cm große Lapilli.
- 15 { 2 m - Sc-Schlacken; rot und schwarz, z.T. umgelagert.  
0,30 m - Schlackenlapilli; schwarz, ungeschichtet,  $\emptyset$  2-4 cm.
- 16 { 0,80 m - Lapilli-Asche; graubraun.  
0,60 m - Aschen; dkl. braun, mittelkörnig, geschichtet, wechselnd mit Schlackenlapilli,  $\emptyset$  2-5 mm.
- 17 0,60 m - Schlackenlapilli; schwarz, nach oben feiner werdend: 1-3 cm — 0,5-1 cm.
- 18 { 0,50 m - Asche; dkl. braun, mittelkörnig.  
0,40 m - Boden; braun, umgelagerte Asche mit großen Gesteinsbruchstücken, in Hohlräumen und Gängen weiße Zeolith-Kristalle.  
0,50 m - Asche mit Schlacken- und Lavalapilli; braun.

- 19 4 m - Asche mit einzelnen Lapilli; ockerbraun, mittelkörnig, im oberen Teil stark verfestigter, z.T. wieder in ca. 10 cm lange Stücke zerissener Asche-Horizont, darüber liegt ein Bimssteinlapilli-Band ( $\emptyset$  2-5 cm), oberste 40 cm curryfarbene Lapilli-Asche.
- 20  $\left\{ \begin{array}{l} 0,50 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; schwarz, } \emptyset 1-5 \text{ cm.} \\ 0,70 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; schwarz, } \emptyset 0,5-6 \text{ cm, gro-} \\ \text{se Lapilli durch kleinere verbacken, etwa} \\ \text{30-40\% Xenolithe (Lava u. Phyllit).} \end{array} \right.$
- 21 0,7-0,8 m - Paläo-Hangschutt; dkl.braun, Aschen und verschiedene Lapilli, z.T. Schräg- bzw. Linsenschichtung.
- 22  $\left\{ \begin{array}{l} 0,80 \text{ m} - \text{Blockhorizont; Blöcke bis 20 cm } \emptyset. \\ 0,30 \text{ m} - \text{Umlagerung; feiner.} \end{array} \right.$
- 23 6-8 m - Blockhorizont; Blöcke:  $\emptyset$  20-30 cm, max. 1-1,2 m.
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 4 = Kap Loumaravi

(von unten nach oben)

- 1      6 m - Aschen; braungrün, grobkörnig, mit einzelnen Bimsstein-Anreicherungen, undeutlich geschichtet, Verwitterung modelliert einzelne Bänke heraus, etwa 1 m unter der Oberkante liegt ein 5 cm mächtiges Schlackenband ( $\varnothing$  1-2 cm), im oberen Drittel ist eine 50 cm mächtige Bimssteinlinse dazwischengeschaltet, die Schicht keilt nach W aus. (4/1)
- 2      4 m - Schlackenbomben und -lapilli in feiner schwarzbrauner Grundmasse, Schlacken werden nach oben hin größer und liegen nicht mehr in so engem Verband. (4/2)  
Geht über in gelb-orangen Boden.
- 3      0,50 m - Bu: Bimssteinlapilli; weißlich,  $\varnothing$  mm-2 cm, geschichtet. (4/3)
- 4      4 m - Bu I: 40 cm Bimsstein- und Lavalapilli;  $\varnothing$  bis max. 1 cm.  
30 cm 12 Lagen abwechselnd: weiße Bimssteinlapilli ( $\varnothing$  mm-0,5 cm) und feine, graue Aschen, gut geschichtet.  
20 cm Aschen; feingeschichtet, fast plattig, graphitfarben, sehr gleichkörnig.  
30 cm Aschen; hellgrau, geschichtet, z.T. Schrägschichtung, in den Schrägschichtungs-linsen ist die Asche grobkörniger ( $\varnothing$  bis 1 mm).  
15 cm Bimssteinlapilli; gelb, undeutlich erkennbare Gradierung ( $\varnothing$  0,5-4 cm). (4/4)  
8 cm Aschenband; grau, unten und oben sehr fein, in der Mitte größer.  
14 cm Bimssteinlapilli; gelb, gradiert, im unteren Bereich dkl. Lapilli.  
1,5 m Aschen; beigebraun, fein bis grob, ungeschichtet, die unterste Lage dkl. grau, knollig verwitternde Unterseite.  
50 cm Aschen; hellgrau, kompakt, ungeschichtet, an der Basis ein ca. 8 cm mächtiges Bimsstein-Schlackenlapilli-Band.
- Diese Schichten werden nach E immer geringmächtiger und keilen schließlich aus, bis auf die 1. Bimsstein-Schicht, die graphitfarbene Asche, die mittlere Bimsstein-Schicht und die oberste Asche-Schicht.
- 5      2,3 m - Bu II: 'pumice fall'; weiß,  $\varnothing$  0,5-2 cm, max. 3 cm, nur schwach geschichtet, relativ gleichmäßig verteilte Korngröße, im oberen Bereich ein dünnes, ca. 15 cm mächtiges Schlackenlapilli-Band. (4/5)



Legende s.S. 217

- 6 0,40 m - Blockhorizont.
- 7 8 m - Bu III: 'pumice flow'; rosa Bimssteinlapilli, ( $\emptyset$  1-10 cm), Schlacken- und Lavabomben, z.T. bis Faustgröße, kantengerundet, 4 verschiedene flow-Einheiten, von fein nach grob, nach oben nimmt der Xenolith-Anteil deutlich zu, Verwitterungsform: "Herden des Sonnengottes". (4/6)
- 8 7 m - Bu IV: 'pyroclastic flow'; rotbraun, mehrere Einheiten, im unteren Teil schwach geschichtet, chaotisch gelagerte Blöcke, sehr unterschiedliche Korngröße ( $\emptyset$  bis 0,5 m): Lava (schwarz und rot), Schlacken und wenige graue Bimssteinlapilli, nach oben wird die Korngröße geringer, und geht dann in eine ca. 70 cm mächtige schwarze Schlackenbomben-Bank über. (4/7)
- 9  $\left\{ \begin{array}{l} 0,50 \text{ m} - \text{Blockhorizont.} \\ 0,50 \text{ m} - \text{Lapilli-Asche; orange-braun.} \end{array} \right.$
- 10  $\left\{ \begin{array}{l} 0,50 \text{ m} - \text{Bu V: Bimssteinlapilli; ungeschichtet, 20\% Schlackenlapilli } (\emptyset 0,5-5 \text{ cm}). \\ 1,5 \text{ m} - 30 \text{ cm Bimssteinlapilli und Asche } \div 40 \text{ cm Aschen; rosa mit einzelnen Xenolithen } \div 30 \text{ cm Bimssteinlapilli; gelb, } \emptyset 1-2 \text{ cm } \div 50 \text{ cm Aschen und Bimssteinlapilli; gelbgrau.} \\ 1,7 \text{ m} - \text{'pumice fall'; gelbweiß, } \emptyset \text{ bis 6 cm, nach W zunehmende Mächtigkeit. } (4/8) \end{array} \right.$
- 11 0,60 m - Blockhorizont.
- 12 5 m - Bu VI: 'pumice flow'; weiß, chaotisches Gefüge. (4/9)
- 13 2 m - Umlagerung.
- 14 3 m - Aschen mit einzelnen Lapilli und Aschen; gelbbraun, geschichtet, in mehreren kleinen Bänken herauswitternd, stark wechselnde Mächtigkeit, oberste gelbe Asche geht in einen Boden über.
- 15 2,2 m - Bm: Bimssteinlapilli; hell- und dunkelbraun,  $\emptyset$  helle: 1-3 cm, dkl.: 3-5 cm, in den untersten 10 cm sind Lavalapilli angereichert,  $\emptyset$  1 cm, undeutliche Schichtung erkennbar. (4/10)
- 16 0,50 m - Umlagerung; unterer Teil sehr geröllreich.
- 17  $\sim 3$  m - Wechselfolge Aschen und Lapilli:  
90 cm Aschen mit einzelnen Schlackenlapilli  $\div$  75 cm Aschen; dkl. grau bis schwarz, mittel-

- 17 - körnig ÷ 40 cm Schlacken; dkl.grau,  $\phi$  1 cm, z.T. in Lagen gelb verwitternd ÷ 60 cm Aschen; gelbgrün, ziemlich fest verbacken und Schlackenlapilli ( $\phi$  0,5 cm), etwa ab der Hälfte Zunahme des Schlacken-Anteils, nach oben Aschen; rötlich grobkörnig mit einzelnen Schlackenlapilli,  $\phi$  2-5 mm ÷ 30 cm Bimssteinlapilli;  $\phi$  mm-max. 1 cm, in einer Bimsstein/Asche-Grundmasse.
- 18  $\left\{ \begin{array}{l} 0,40 \text{ m} - \text{Aschen; braungrau, stark verfestigt, feinkörnig, in 2 Schichten herauswitternd.} \\ 0,70 \text{ m} - \text{Aschen; gelbgrau, ungeschichtet, wenige Schlackenlapilli.} \end{array} \right.$
- 19  $\sim 2 \text{ m}$  - 10 cm Bimssteinlapilli; gelb ÷ 40(W)-60(E) cm Aschen mit Schlacken-, Lava- und Bimssteinlapilli; flaserig geschichtet ÷ 80 cm Aschen; rotbraun, gleichkörnig, in 10 cm Höhe Schlacken-Anreicherung ÷ 50 cm Schlackenlapilli,  $\phi$  in der Mitte sehr fein (mm), unten und oben:  $\phi$  2-6 mm.
- 20  $\left\{ \begin{array}{l} 0,20 \text{ m} - \text{Aschen; weiß-beige, 2-geteilt, unten Pisolithe ( $\phi$  2-4 cm) in einer Asche-Matrix, oben Aschen, gelb, feinkörnig. (4/11)} \\ 1,5 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; schwarz, nach W wesentlich geringmächtiger werdend, gut geschichtet durch Korngrößenwechsel (0,5--2 cm), z.T. gelb verwitternd, die oberen 30 cm ganz gelb.} \\ 0,60 \text{ m} - \text{Aschen; weiß verwitternd, 5x im Wechsel: feingeschichtet - Pisolith-Horizont ( $\phi$  2-7 mm, max. 1 cm), Schicht wird nach oben rötlich-braun. (4/12)} \\ 0,80 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; schwarz,  $\phi$  mm-3 cm, wenige Xenolithe, Schichtung nur durch einzelne zusammengebackene Bänder angedeutet. (4/13)} \end{array} \right.$
- 21  $2 \text{ m}$  - Sc-Schlacken; schwarz, fladenartig, gut verschweißt, große Schlacken z.T. auch rötlich, an der Basis gerundete Xenolithe. (4/14)
- 22  $\sim 8 \text{ m}$  - 2 m Aschen; dkl.grau, feingeschichtet, laminiert, fein- bis mittelkörnig.  
1 m Schlackenlapilli; schwarz,  $\phi$  0,5-1 cm, nach oben in graue Asche übergehend.  
3 m Aschen; curryfarben, feinkörnig, mind. 3 Schlacken-Linsen eingelagert.  
0,5 m Schlackenlapilli;  $\phi$  0,5-1 cm.  
1,5 m Asche; gelb, nach oben rötlich werdend, feinkörnig, kleine Pisolithe ( $\phi$  1-2 mm), oben rotbraune, stark verfestigte Aschen-Bank.
- 23  $2,2 \text{ m}$  - 1 m:3 Bänke Asche; beige - dkl.grau, grobkörnig - graubraun. ÷  
1,2 m Aschen; beige, gleichkörnig mit Schlacken-Band im oberen Drittel.

24 4 m - Hangschutt; stark verfestigt, in gelber Grundmasse.

- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 5 = Balos

(von unten nach oben)

- 1 2,5 m - Aschen mit Lavalapilli, schwach geschichtet.  
Geht über in:
- 2 2,5 m - Aschen; geschichtet, eingeschaltet eine Linse von rosa-orangen Aschen; mittelkörnig, Linse keilt nach W und S aus.
- 3 7 m - 'pyroclastic flow'; ungeschichtet bis undeutlich geschichtet, Lapilli bis Faustgröße, braune Bimssteinlapilli, Schlacken und Laven, Grundmasse: rotbraune Asche, großräumige Waben- und Hohlraumbildung. (5/1)
- 4 0,30 m - Boden; gelborange, feinkörnig.
- 5 0,80 m - Bu I: Bimssteinhorizont: Gradierung grob-fein, gelb-weiß,  $\emptyset$  0,5-3 cm, im oberen Teil  $\emptyset$  0,5-1,5 cm, obere 20 cm: 4 feine Schichten: ganz fein - grob - fein - mit Lavalapilli. (5/2)
- 6 0,95 m - 20 cm Bimssteinlapilli; mit feinkörniger Zwischenlage, graue Grundmasse aus Bimsstaub. 10 cm Asche; weiß stark verfestigt. 25 cm Asche; mit Bimssteinlapilli bis 2 cm  $\emptyset$ . 10 cm Bimssteinlapilli;  $\emptyset$  bis 6 cm. 30 cm Asche; grau, geschichtet, feinkörnig.
- 7 2 m - Bu II: 'pumice fall'; gelblich, ziemlich gleichbleibende Korngröße ( $\emptyset$  2-4 cm), wenige Schlackenlapilli gleicher Größe. (5/3)
- 8  $\left\{ \begin{array}{l} 0,10 \text{ m} - \text{Zwischenlage mit Anreicherung von Lavalapilli.} \\ 0,40 \text{ m} - \text{Bimssteinlapilli mit wenig Asche.} \end{array} \right.$
- 9 5 m - Bu III: 'pumice flow'; rosagrau,  $\emptyset$  bis 12 cm, chaotische Lagerung, im oberen Bereich bis zu 1 m große Lavablöcke. (5/4)
- 10 0,50 m - Blockhorizont.
- 11 1 m - Wechselfolge: Bimssteinlapilli; rosabraun,  $\emptyset$  1-2 cm  $\div$  Asche und Lapilli  $\div$  Bimssteinlapilli ( $\emptyset$  1-3 cm) und Schlackenlapilli ( $\emptyset$  1-4 cm), die einzelnen Lagen sind ungeschichtet. (5/5)
- 12 1,5 m - Bimssteinlapilli; braun,  $\emptyset$  mm-2 cm, Schlackenlapilli ( $\emptyset$  1-4 cm) und selten Lavalapilli, undeutlich geschichtet.

- 13      2 m - Bu IV: 'pyroclastic flow'; dkl.braun-grau, lagenweise Bimsstein-Anreicherung, dazwischen chaotisches Gefüge mit Schlackenlapilli, braune aschig-sandige Grundmasse, die nach W gelb-beige wird. (5/6)
- 14      4 m - Bu V: 'pumice fall'; weiß-gelb,  $\emptyset$  faust- bis kopfgroß in einer "Grundmasse" von 1-3 cm großen Bimssteinen, undeutlich geschichtet, liegt in einem Relief. (5/7)
- 15      0,50 m - Blockhorizont; Lava und Schlacken bis 50 cm  $\emptyset$ .
- 16      15 m - Bu VI: 'pumice flow'; weiß, Bimssteine  $\emptyset$  bis kopfgroß, Lavablöcke und Xenolithe, z.T. kantengerundet,  $\emptyset$  2 cm-1 m. (5/8 u. 5/9, Xenolithe = 5/10)
- 17      0,50 m - Schutthorizont.
- 18      1,5 m - Bm: Bimssteinlapilli; gelb und grau, vereinzelte Schlackenlapilli, die sich an der Basis anreichern. (5/11)
- 19      [ 0,50 m - Asche; mit einzelnen Schlacken- und Bimssteinlapilli.  
0,40 m - Aschen; rot: 3-geteilt, mit 4 cm großen, verfestigten Bänkchen dazwischen, feingeschichtet.  
0,20 m - Boden; braun, enthält umgelagerte, abgerundete Schlackenlapilli.  
0,20 m - Aschen mit einzelnen Bimssteinlapilli ( $\emptyset$  mm-1-2 cm)
- 20      1,5 m - 80 cm Aschen; braungrau, feinkörnig. (5/12)  
6 cm Bimsstein-Band ( $\emptyset$  mm-1-2 cm).  
20 cm Aschen; feingeschichtet + 5 cm Schlackenlapilli-Lage + 40 cm Aschen; sehr gleichkörnig, ungeschichtet, windtransportiert.
- 21      [ 0,20 m - Schlacken; schwarz, einzelne Bimssteinlapilli. (5/13)  
0,30 m - Asche; grobkörnig, ungeschichtet  
0,20 m - Asche; hellgrau, stark gewellt, feinsandig, deutlich geschichtet, gut verfestigt.  
2 m - Bimsstein (graubraun) und Schlacken (schwarz) 50:50,  $\emptyset$  mm-2-3 cm, undeutlich geschichtet.  
0,50 m - Aschen; graubraun, weiß verwitternd, feingeschichtet, im oberen Bereich Pisolithe, nach W zu liegt die Schicht mit einer grossen Mächtigkeit (1,8 m) in einer Depression. (5/14)  
1,2 m - Aschen; mit einzelnen Schlacken ( $\emptyset$  2-4, max. 8 cm) und Bimssteinen ( $\emptyset$  1-3 cm), schwach geschichtet.  
0,10 m - Asche-Bändchen; grau, stark verfestigt.

22 2 m - Sc-Wurfschlacken; mit gedrehten Schlackenbomben, im oberen Bereich (2/3) rot unten schwarz. (5/15)

23 1,5 m - Schutt

Über dem Schutt-Horizont liegt entweder gleich der Bo oder es kommen noch Reste der T<sub>5/3</sub>-Schichten, die am K. Aspronisi sehr mächtig anstehen :

24 { 0,30 m - Schlackenlapilli; schwarz, gelb verwitternd, Ø 3-4 mm.  
0,10 m - Boden; braungrün.

25 { 0,30 m - Aschen mit einzelnen Lapilli; grau, flaserig.  
0,60 m - Aschen; grau, sehr fein geschichtet, mit zwischengeschalteten stark verfestigten Horizonten.

26 0,30 m - Schlackenlapilli; schwarz, ungeschichtet, Ø mm-2 cm.

27 { 0,12 m - Aschen; schwarz, feinkörnig, vereinzelt Bimssteinlapilli, in Reliefs abgelagert.  
0,40 m - Aschen mit Schlackenlapilli; gelbbraun, oben eine grünbraune, verfestigte Aschenbank.  
0,50 m - Aschen; grauschwarz, grobkörnig, geschichtet.

28 { 0,07 m - Bimssteinlapilli; gelb, Ø mm-1 cm.  
0,60 m - Schlacken- und Lavalapilli; Ø mm-0,5 cm, max. 2 cm, undeutlich geschichtet.

- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 6 = Balos-E

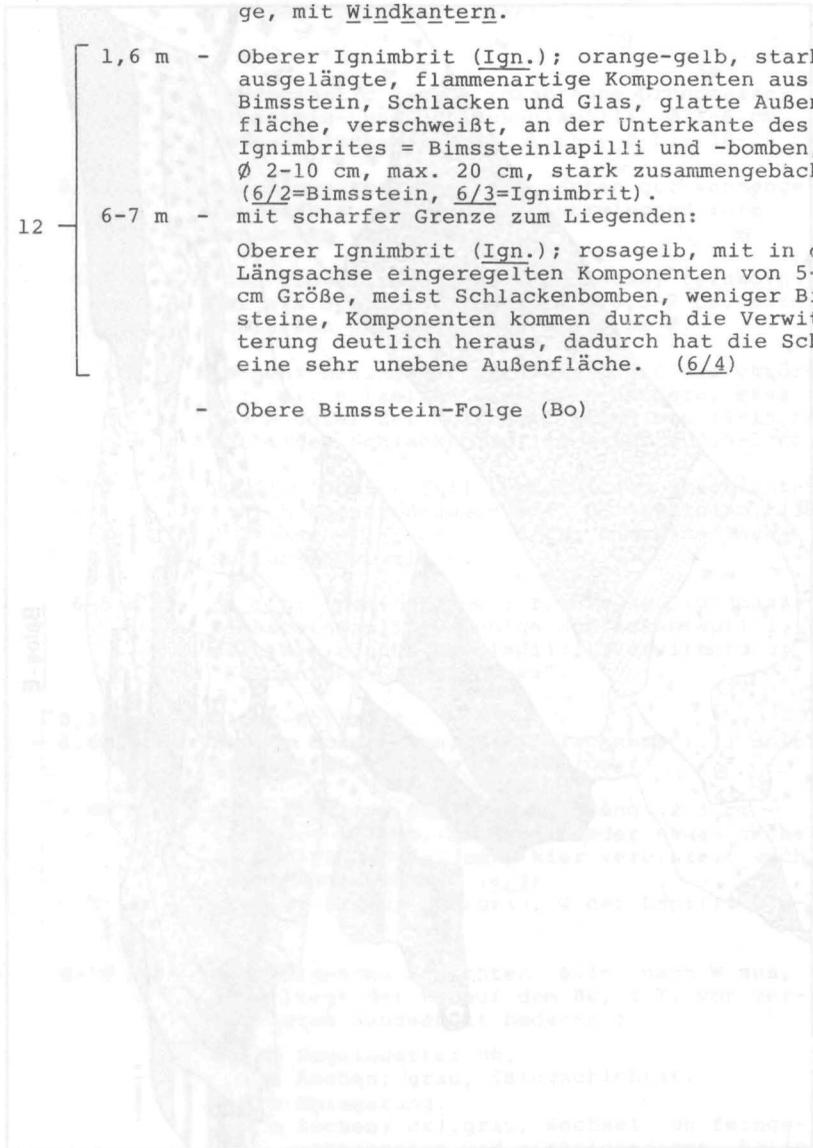
(von unten nach oben)

- 1 3-5 m - 'pyroclastic flow'; rosabraune Grundmasse, Bimsstein- und Schlackenlapilli,  $\emptyset$  1-6 cm, rote Schlacken und Xenolithe,  $\emptyset$  bis 10-20 cm.
- 2 0,30 m - Blockanreicherung; Komponenten gut kantengerundet bis gut gerundet, vorwiegend rote Schlacken und Lava.
- 3 4-5 m - 'ash flow'; rosagraue Grundmasse, feinkörniger als Schicht 1, Lapilli  $\emptyset$  0,5-2 cm, rote Schlacken und Xenolithe bis 8 cm  $\emptyset$ .
- 4 3 m - Aschen; braungrün, feinkörnig und gleichkörnig, mit einzelnen Bimsstein-Bändern, etwa 30 cm unter der Oberkante liegt ein 10-15 cm mächtiges Schlackenlapilli-Band,  $\emptyset$  0,5-2 cm.
- 5 0,50 m - Bu II: 'pumice fall', undeutlich geschichtet (durch Korngrößenwechsel), Bimssteinlapilli,  $\emptyset$  2-4 cm — 1-3 cm — 2-6 cm, einzelne Lava-Schlackenlapilli.
- 6 6-8 m - Bu III: 'pumice flow'; rotbraune Grundmasse, Bimssteinlapilli, wenige Schlackenlapilli, vereinzelt auch Lavalapilli, Verwitterung: "Herden des Sonnengottes".
- 7  $\left[ \begin{array}{l} 0,30 \text{ m} - \text{Block-Horizont.} \\ 0,40 \text{ m} - \text{Boden; ockerbraun, mit Schlackenlapilli unterschiedlicher Größe } (\emptyset 3-10 \text{ cm}). \end{array} \right.$
- 8  $\left[ \begin{array}{l} 0,80 \text{ m} - \text{Bu V: 'pumice fall'; Gradierung: 2-3 cm — 1-2 cm — 2-5 mm, darüber wieder etwas größere Lapilli } (\emptyset 1-2 \text{ cm}), \text{ hier vereinzelt auch Schlackenlapilli. } (6/1) \\ 0,20 \text{ m} - \text{Lapilli-Asche; hellgrau, } \emptyset \text{ der Lapilli } 0,5-2 \text{ mm.} \end{array} \right.$
- 9 8-10 m - Die folgenden Schichten keilen nach W aus, dort liegt der Bo auf dem Bu, z.T. von verfestigtem Hangschutt bedeckt :  
 2,5 m Umgelagerter Bu.  
 1 m Aschen; grau, feingschichtet.  
 0,5 m Umlagerung.  
 4 m Aschen; dkl.grau, Wechsel von feingschichteten und mittelsandigen, hellen, flaserig gelagerten Aschen.
- 10  $\left[ \begin{array}{l} 2,2 \text{ m} - \text{Hangschutt.} \\ 0,70 \text{ m} - \text{Umlagerung.} \end{array} \right.$



- 11 1,2 m - 0,80 m Aschen; dkl.braun-gelb, feinkörnig.  
0,40 m Asche mit einzelnen Lapilli; rotorange, mit Windkantern.

- 12 1,6 m - Oberer Ignimbrit (Ign.); orange-gelb, stark ausgelängte, flammenartige Komponenten aus Bimsstein, Schlacken und Glas, glatte Außenfläche, verschleißt, an der Unterkante des Ignimbrites = Bimssteinlapilli und -bomben, Ø 2-10 cm, max. 20 cm, stark zusammengebäcken. (6/2=Bimsstein, 6/3=Ignimbrit).
- 6-7 m - mit scharfer Grenze zum Liegenden:  
Oberer Ignimbrit (Ign.); rosagelb, mit in der Längsachse eingeregelteten Komponenten von 5-15 cm Größe, meist Schlackenbomben, weniger Bimssteine, Komponenten kommen durch die Verwitterung deutlich heraus, dadurch hat die Schicht eine sehr unebene Außenfläche. (6/4)
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)



2,2 m - ...

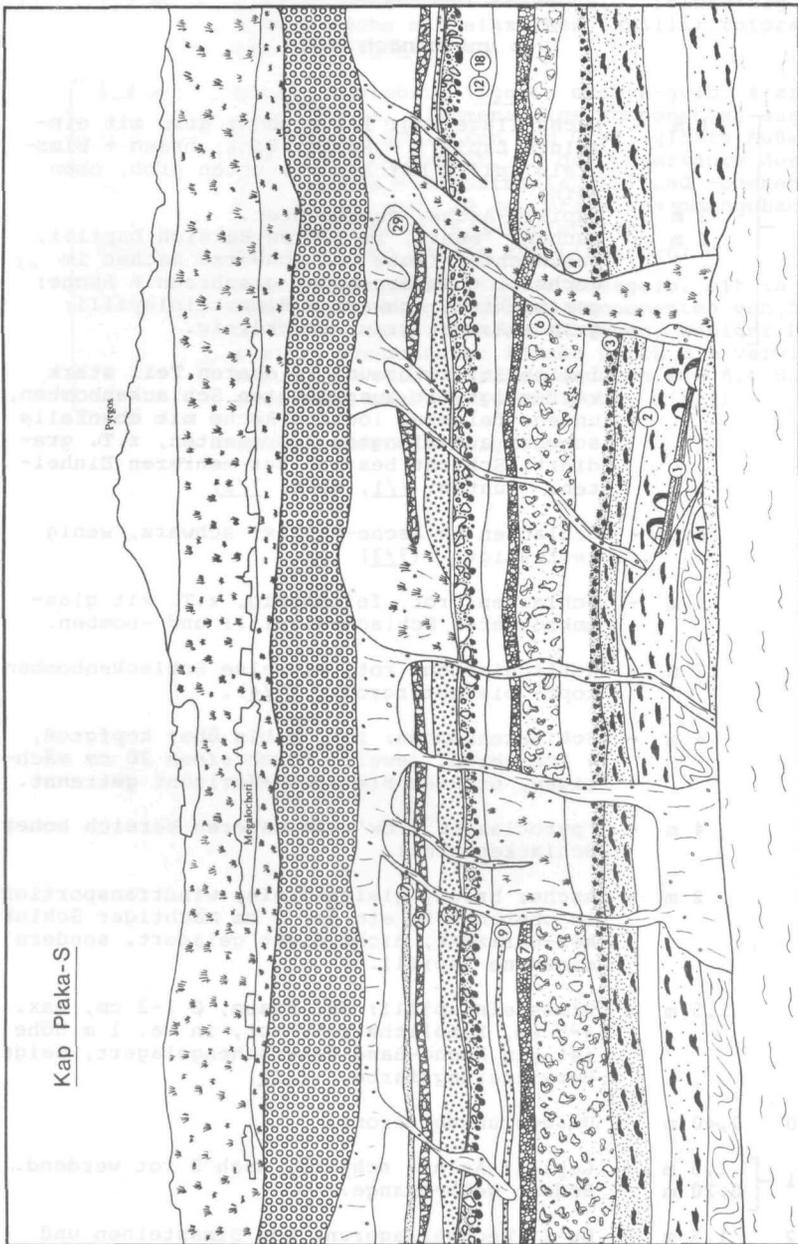
2,0 m - ...

11. B. 8. 8. 8. 8.

Profil 7 = Kap Plaka-S

(von unten nach oben)

- |    |        |   |
|----|--------|---|
| 1  | 1 m    | - Wechsellagerung: 1/3 Aschen; grau mit einzelnen Lapilli + Aschen-Bank; braun + Bimssteinlapilli mit Aschen, unten grob, oben fein.  |
|    | 2 m    | - Lapilli-Asche; geschichtet.   |
|    | 1 m    | - Aschen; "bunt", im oberen Bereich Lapilli, geschichtet (rote und schwarze Aschen im Wechsel) + Aschen-Lage; graubraun + Asche; geschichtet, schwarz + Bimssteinlapilli; gelb + Asche; grau, feinkörnig.   |
| 2  | 6 m    | - Ignimbrit; rotbraun, im oberen Teil stark verfestigt mit ausgelängten Schlackenbomben, unten: feinere, lockere Asche mit ebenfalls schwach ausgelängten Komponenten, z.T. gradiert, Schicht besteht aus mehreren Einheiten. (unten: <u>7/1</u> , oben: <u>7/2</u> ) |
| 3  | 4 m    | - Schlacken in Asche-Matrix; schwarz, wenig verfestigt. ( <u>7/3</u> )  |
| 4  | 6 m    | - Schlacken; rot, feinkörnig, z.T. mit glasumkrusteten Schlackenlapilli und -bomben.  |
| 5  | 12 m   | - Wurf-schlacken; rot, einzelne Schlackenbomben kopf- bis metergroß. ( <u>7/4</u> ).  |
| 6  | 6 m    | - Schlackenbomben; rot, Ø bis über kopfgroß, 4 Schichten, jeweils durch einen 20 cm mächtigen, braunen Bimsstein-Horizont getrennt.   |
| 7  | 4 m    | - 'pyroclastic flow'; im unteren Bereich hoher Schlackenanteil.   |
| 8  | 2 m    | - Asche; braun, gleichkörnig, windtransportiert, im oberen Teil ein ca. 5 cm mächtiger Schlacken-Horizont, nicht dicht gelagert, sondern einzelne Lapilli.  |
| 9  | 1,5 m  | - Bimssteinlapilli; dkl.braun, Ø 1-2 cm, max. 4-5 cm, Xenolithe z.T. rot, in ca. 1 m Höhe ist ein Asche-Band dazwischengelagert, beige Verwitterungsfarbe. ( <u>7/5</u> )   |
| 10 | 0,40 m | - Umlagerungshorizont.  |
| 11 | 1,5 m  | - Lapilli-Asche; schwarz, nach S rot werdend.   |
|    | 0,20 m | - Boden; gelb-orange.   |
| 12 | 1,5 m  | - <u>Bu I</u> : Wechsellagerung von Bimssteinen und   |



Legende s.S. 217

- 12 - grauen Aschen; obere Aschenlage 20 cm mächtig, sehr fein = Boden mit Pflanzenresten, untere Aschenlage etwas gröber, mit vereinzelt Bimssteinlapilli, 40 cm mächtig, untere Bimsstein-Bank,  $\emptyset$  0,5-1 cm, mittlere Bimsstein-Bank,  $\emptyset$  0,5-5 cm, obere B.-Bank, enthält einzelne Schlackenlapilli. (7/6= obere Aschen-L., 7/7= mittlere B.-Bank)
- 13 1,2 m - Bu II: 'pumice fall'; untere 30 cm sehr feinkörnig, Lapilli in der Längsachse eingeregelt. (7/8)
- 14 0,50 m - Umlagerungshorizont.
- 15 1,2 m - Bu III: 'pumice flow'; rosa, 10-15% Schlackenlapilli. (7/9a+b)
- 16 0,30 m - 2 cm mächtiges schwarzes Schlackenlapilli-Band, darüber: Bimssteinlapilli;  $\emptyset$  mm-max. 3 cm, stark zusammengebacken, einzelne Xenolithe,  $\emptyset$  1 cm, max. 5 cm.
- 17 1,2 m - Bu IV: 'pyroclastic flow'; Bimsstein- und Schlackenbrocken, Xenolithe, stark angewittert, kantengerundet, im unteren Bereich ca. 40 cm rotgelbe Verfärbung.
- 18 0,70 m - Bu V: 'pumice fall'; deutlich geschichtet,  $\emptyset$  mm-4 cm, max. 10 cm, 5% Xenolithe. (7/10)
- 19 0,60 m - Blockhorizont;  $\emptyset$  faust- bis kopfgroß, mit kleineren Bimssteinen.
- 20 8,2 m - Bu VI: 'pumice flow'; Bimssteinlapilli,  $\emptyset$  12 cm, 10-25% Xenolith-Brocken,  $\emptyset$  bis 1 m, z.T. lagenweise Anreicherung der Blöcke, chaotisches Gefüge, rot-orange Lavalapilli. (7/11a=Bimsstein, 7/11b=Xenolithe)
- 21 2 m - Umlagerungshorizont.
- 22 0,40 m - Wechsellagerung von grauen und weißen, feingeschichteten Aschen-Lagen.
- 23 3 m - Bimsstein- und Schlackenlapilli; gelb und grau,  $\emptyset$  mm-2 cm.
- 24 1,5 m - 4 cm Aschen-Lage; rot mit einzelnen, max. 0,5 cm großen Lapilli.  
40 cm Schlacken- und Bimssteinlapilli (50/50), wenig Lavalapilli.  
40 cm Aschen-Lage; rosa, grobkörnig, mit einem Bimssteinlapilli-Horizont.  
65 cm aschenführende Bimssteinlapilli-Schicht; braun, im unteren Bereich einige Schlacken.

- 25 3 m - Bm: Bimssteinlapilli; braun,  $\emptyset$  3-4 cm, max. 10 cm. (7/12)
- 26 2 m - Schloträumung; 2-geteilt: oberer Bereich mittelkörniger Sand mit kantengerundeten Brocken, dazwischen angereichert überkopf-große Lavablöcke, unterer Bereich feiner, undeutlich geschichtet, mit Schlackenlapilli.
- 27
- 1 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  2-3 cm, nach oben vereinzelt Bimssteinlapilli. (7/13)
  - 0,20 m - Asche-Doppelband; weiß verwitternd, ziemlich einheitliche Korngröße, keine Pisolithe.
- Schlackenlapilli hier nicht aufgeschlossen, nur etwa 5 cm an der gegenüberliegenden Wand.
- 0,5-0,6 m - 2. Asche-Band; weiß verwitternd, feingeschichtet, z.T. flaserig, unterster Teil sehr grobkörnig, im oberen Teil vereinzelt Pisolithe und Pflanzenreste. (7/14)
  - 1,5 m - Schlackenlapilli; geschichtet,  $\emptyset$  0,5-2 cm, in Bändern angereichert größere Lapilli ( $\emptyset$  3-5 cm), nach oben in Schlackenlapilli und -bomben übergehend. (7/15)
- 28 1 m - Asche mit einzelnen Lapilli; Schlacken, Bimsstein und Lava, feinkiesig, nach oben beginnende Bodenbildung.
- 29 6 m - Umlagerung; 4 Horizonte, von feinkörnigen Asche/Sandlagen unterbrochen, liegt in einer Depression.
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 8 = Kap Plaka

(von unten nach oben)

- 1 Liegendes - Phyllit; nach S abtauchend, größte Mächtigkeit unter den 2 Mühlen (ca. 60-70 m), stark geklüftet und gefaltet, grünlich, gelbbraune Verwitterungsfarbe;  
darüber 50 cm Umlagerungshorizont.
- 2 0,60 m - 20-25 cm Schlackenlapilli; 40 cm Asche; grau, flaserig geschichtet, mit Pisolithen in Lagen. (8/1)
- 3 1 m - Asche; graugrün, mit großen, eckigen, wirr gelagerten Phyllitbruchstücken, z.T. in der Längsachse ausgerichtet, auch einige Pisolithe.
- 4 4 m - Umlagerung; ockergelb, mittel- bis feinkörnige Grundmasse, Bruchstücke (Phyllit, Schlacke, wenig Bimsstein)  $\varnothing$  0,5-2 cm, max. 7 cm, z.T. in einzelnen, 2-3 cm mächtigen Lagen angereichert und ausgelängt.
- 5 0,2-0,3 m - Bimssteinlapilli; weiß,  $\varnothing$  mm-1 cm, sind zu 2-3 cm großen "Breccien" zusammengebacken, die Schicht ist örtlich begrenzt. (8/2 + 8/3)
- 6 2 m - Hangschutt
- 7  $\left\{ \begin{array}{l} 0,60 \text{ m} - \text{Asche mit einzelnen Lapilli; graugrün, mittelkörnig, } \varnothing \text{ der Lapilli im mm-Bereich.} \\ 1,2 \text{ m} - \text{Asche; dkl.braun, einzelne Lapilli (} \varnothing \text{ mm),} \\ \text{einzelne Bimssteinlapilli-Bänder, im oberen} \\ \text{Drittel eine 20-30 cm mächtige Bimssteinlapilli-} \\ \text{"Breccie"; rosa, stark verwittert, aschige} \\ \text{Grundmasse.} \end{array} \right.$
- 8  $\left\{ \begin{array}{l} 0,10 \text{ m} - \text{Lapilli-Asche; rot-orange, mittelkörnig, geschichtet.} \\ 0,15 \text{ m} - \text{Lava- und Schlackenlapilli; } \varnothing \text{ 0,2-1,5 cm.} \\ 0,25 \text{ m} - \text{Lapilli-Asche; dkl.rot, grobkörnig, } \varnothing \text{ 1-5 mm,} \\ \text{nach oben gröber werdend (} \varnothing \text{ 0,3-1,2 cm).} \end{array} \right.$
- 9 0,80 m - Lava- und Schlackenlapilli; unten: rot-gelb, grob, Lapilli verzahnt, stark verfestigt, oben: feinere Lapilli in roter Grundmasse.
- 10 0-0,6 m - Lapilli-Asche; braun, weiße Verwitterungsfarbe,  $\varnothing$  mm-1 cm, selten 5 cm.  
NE
- 11 0,50 m - Umlagerung; ockerfarben, Bruchstücke lagenweise angeordnet.

- 12 0-6-8 m - 'pyroclastic flow'; rosagrau, unten feinkörnig, nach oben Zunahme der schwarzen Schlackenlapilli bis -bomben, keilt nach E gegen den Phyllit aus.  
E
- 13 0-4 m - Schlackenbomben; rot, seltener schwarz, z.T. glasumkrustet, glatte, stark geklüftete Wände, Schicht keilt nach E aus.  
E
- 14 4-5 m - 'pyroclastic flow'; schwarze Schlackenlapilli und -bomben liegen in einer schwarz-braunen Asche-Matrix,  $\emptyset$  max. 10-15 cm, beige Verwitterungsfarbe, Schlackenlapilli: innen dicht und feinporig, außen scharfkantig, z.T. auch durch die Verwitterung schwach kantengerundet. (8/4)  
Geht über in:
- 4 m - 'pyroclastic flow'; überwiegend Schlackenlapilli, mit zunehmender, dkl.brauner Asche-Matrix, Verwitterung formt weiche, abgerundete Formen.
- 15 1,6 m - Asche; grau, fein- bis mittelkörnig, lagenweise Bimssteinlapilli und Schlacken/Lavalapilli angereichert; obere 30-40 cm Boden, ockergelb.
- 16 1 m - Bimssteinlapilli; gelb, ungeschichtet,  $\emptyset$  0,5-5 cm, max. 10 cm, oben 0,5-3 cm, wenige Schlackenlapilli, obere 40 cm rot-orange gefärbt.
- 17 1 m - Schloträumung; überwiegend Schlacken. (8/5)
- 18 4-6 m - Schlackenlapilli und -bomben; schwarz, nach oben in rote übergehend,  $\emptyset$  15-30 cm, liegen in Asche-Matrix, z.T. gedrehte Bomben mit einem orangen Kern und dkl.roter Kruste; letzte Schicht die am Phyllit auskeilt. (8/6)  
Darüber 30 cm Umlagerungshorizont.

Der überlagernde Bu liegt überall dem Phyllit direkt auf.

Bu I:

- 19 0,30 m - Bimssteinlapilli; weiß, gradiert (0,5-2-3 cm - 0,4-1 cm), darüber Asche; grau, feinkörnig, einzelne Bimssteinlapilli.
- 0,40 m - Bimssteinlapilli; rosa, ungeschichtet,  $\emptyset$  0,5-5 cm, vereinzelt Lavalapilli.
- 0,50 m - Bimssteinlapilli; mehrere Schichten (mind. 4), einzelne Schlackenlapilli, Grenze der einzelnen Schichten durch dkl. Lapilli-Anreicherung gekennzeichnet,  $\emptyset$  1-4 cm, max. 7 cm.
- 0,10 m - Asche; dkl.braun, feinkörnig, stark verlehmt.

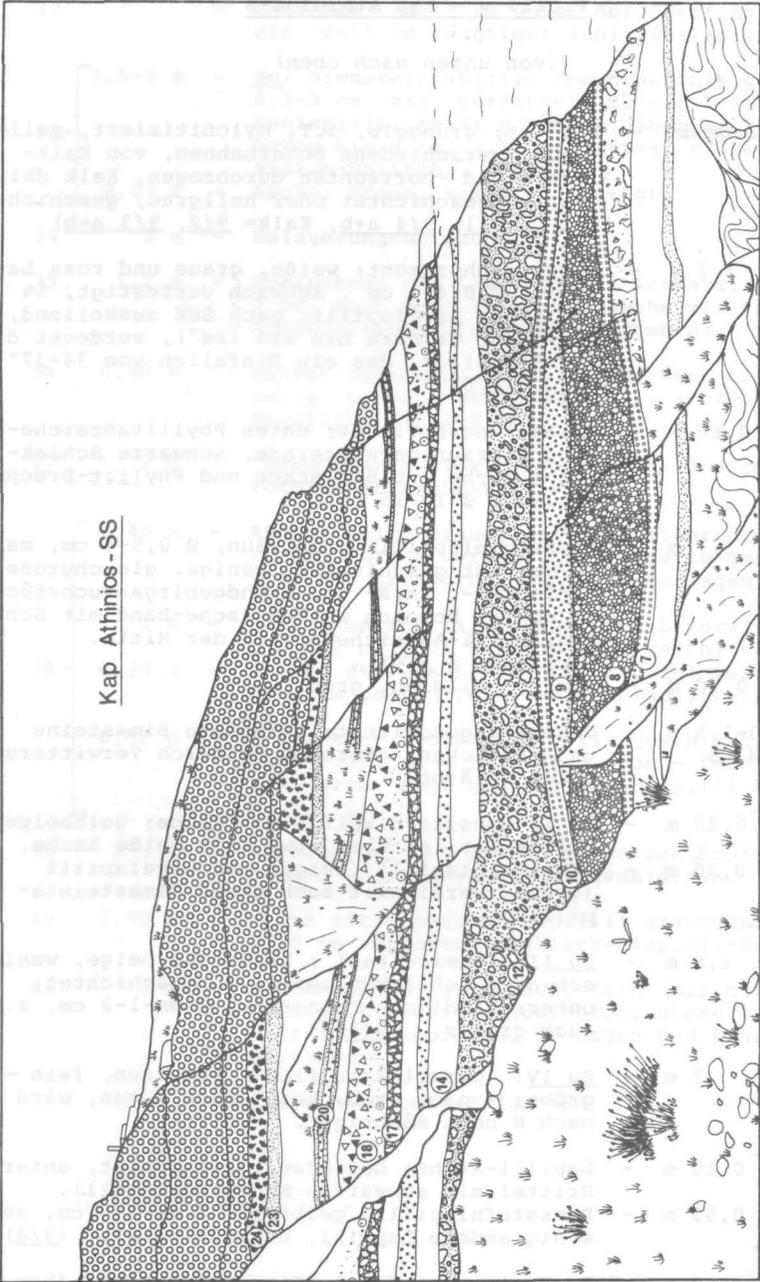
- 20 1,2 m - Bu II: 'pumice fall'; rosa-weiß, unterste 20 cm: sehr feine Lapilli,  $\emptyset$  0,4-2 cm, geschichtet, oben:  $\emptyset$  0,5-3-4 cm, größere Lapilli bilden ein Gerüst, in dessen Zwischenraum die kleineren und kleinsten Lapilli liegen. (8/7)
- 21 0,1-0,2 m - Blockhorizont.
- 22 1-4 m - Bu IV: 'pyroclastic flow'; ockergelb, nach oben feiner werdend, stark wechselnde Mächtigkeit, Relief ausfüllend.
- 23 2 m - Bu V: 'pumice fall'; weiß-rosa,  $\emptyset$  0,5-7 cm, einzelne Bimssteinbomben ( $\emptyset$  15-25 cm), 10-20% Schlacken- und Lavalapilli, untere 20 cm nur Bimssteinlapilli. (8/8)
- 24 0,50 m - Umlagerung.
- 25 0,40 m - Bimssteinlapilli; gelb,  $\emptyset$  0,5-2 cm, max. 6-7 cm, braune Verwitterungsfarbe.
- 26 0,1-0,3 m - Blockhorizont; Grundgebirgsblöcke und verschiedene Lapilli.
- 27 8-10 m - Bu VI: 'pumice flow';  $\emptyset$  1-7 cm, chaotisches Gefüge, Lapilli liegen in feiner Bimssteinasche, Blöcke eckig bis kantengerundet,  $\emptyset$  8 cm-1 m, meist Lava und Grundgebirge. (8/9)
- 28 2 m - Umlagerung.
- 29 0,80 m - Asche; graubraun, mittel- bis feinkörnig, feingeschichtet, z.T. flaserig geschichtet.
- 30 ~4 m - 1,2 m Schlackenlapilli; gelb verwittert,  $\emptyset$  0,5-3 cm, 5-10% Lavalapilli + 80 cm Asche; braungrau, grobkörnig, mit 2-3 mm großen Lapilli + 60-70 cm Bimsstein- und Lavalapilli;  $\emptyset$  0,5-1,5 cm + 40 cm Asche; braun, grobkörnig, im oberen Teil Bimssteinlapilli + 30-40 cm Asche; grau, mittelkörnig + 30 cm Schlackenlapilli;  $\emptyset$  0,4-1 cm.  
nach N wird die Schicht mächtiger und es schalten sich mehrere Schlackenlapilli-Bänder ein + 8 cm Asche; rosabraun, mittelkörnig, stark verfestigt.
- 31 3 m - Bimsstein-, Schlacken- und Lavalapilli; im Wechsel fein und grob, unten am größten:  $\emptyset$  2-3 cm, sonst 0,4-1 cm, obere 20-30 cm beginnende Bodenbildung.
- 32 1 m - Asche mit Lapilli; braungelb, feinkörnig,

- 32 - verlehmt; ca. 5 cm unter der Oberfläche liegt ein 10-15 cm mächtiges Schlackenlapilli-Band.
- 33 { 2,5-3 m - Bm: Bimssteinlapilli; rosabraun bis gelb,  $\emptyset$  0,3-3 cm, max. vereinzelt 20 cm, 3-5% Schlackenlapilli; meist gerundet, aber auch flach eckig bis 8 cm, z.T. gefrittet, einzelne Obsidian-Splitter. (8/10)  
0,07 m - Asche; braun, stark verfestigt.
- 34 3 m - Umlagerungshorizont.
- 35 1,2 m - Schlacken- und Lavalapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,5-3 cm, nach oben in braune Asche mit Schlackenlapilli-Anreicherung übergehend.
- 36 0,40 m - Asche; rosabraun, fein geschichtet bis flaserig, mittel- bis grobkörnig, einzelne Pisolithe ( $\emptyset$  5-8 mm).
- 37 2 m - 'pyroclastic flow'; Lapilli bis 3-4 cm in rotbrauner Asche-Matrix.
- 38 { 0,40 m - Asche; beige-braun, weiß verwitternd, mittelkörnig, stark verfestigt, flaserig geschichtet, mit grobkörnigeren Zwischenlagen. (8/11)  
1 m - Schlackenlapilli; schwarz, gelb verwitternd,  $\emptyset$  0,4-2 cm, 30% Lavalapilli, geschichtet.  
0,30 m - Asche; dkl.braun, feinkörnig, feingeschichtet, im oberen Teil wenige Pisolithe. (8/12)  
0,80 m - Schlacken- und Lavalapilli; geschichtet, grob 0,5-1 cm — fein mm — grob — fein — oben ganz grob, fast nur Schlackenlapilli bis 3 cm  $\emptyset$ . (8/13)
- 39 2-3 m - Umlagerung; mit vielen schwarzen Schlackenbomben und abgerundeten Lavablöcken.
- 40 0,50 m - Asche mit einzelnen Lapilli; graugrün, obere 8-10 cm verhärtete Schlackenlapilli-Bank.
- 41 3 m - Aschen-Bänke; grünbraun, fein- bis mittelkörnig, flaserig geschichtet, obere 80 cm sehr schlackenreich, in Lagen und Linsen angereichert.
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 9 = Kap Athinios-S

(von unten nach oben)

- 1 Liegendes - Phyllit; grünelb, z.T. mylonitisiert, pelitisch, verschiedene Scherbahnen, von Kalklinsen und -horizonten durchzogen, Kalk dkl.-grau, ungeschichtet oder hellgrau, geschichtet. (9/1, 9/4 a+b, Kalk= 9/2, 9/3 a+b)
- 2 1,2 m - Bimssteinhorizont; weiße, graue und rosa Lapilli,  $\varnothing$  0,4-3 cm, schwach verfestigt, 5% hellgraue Lavalapilli, nach SSE auskeilend, fällt zur Caldera hin ein (24°), verdeckt das Phyllitrelief, das ein Einfallen von 34-37° hat. (9/5)
- 3 0,60 m - Umlagerungshorizont; unten Phyllitanreicherung + braun verwitternde, schwarze Schlacken + Asche mit Schlacken und Phyllit-Bruchstücken,  $\varnothing$  10-15 cm.
- 4 [ 1,7 m - Bimssteinlapilli; graubraun,  $\varnothing$  0,5-4 cm, max. 10 cm, gut geschichtet, wenige, gleichgroße Schlacken-, Lava- und Grundgebirgsbruchstücke; im oberen Bereich weißes Asche-Band mit Schlackenlapilli-Anreicherung in der Mitte. (Schlacke = 9/6)  
0,20 m - Asche; hellgrau, grob.
- 5 0-1,5 m - Umlagerungshorizont; gerundete Bimssteine und Schlacken, obere 30 cm durch Verwitterung braun gefärbt.  
N S
- 6 [ 0,20 m - Bu I: Bimssteinlapilli und Asche; gelbbeige, verfestigt, darüber etwa 3 cm weiße Asche.  
0,30 m - Bimssteinlapilli (beige) und Lavalapilli (grau), vereinzelt auch graue Bimssteinlapilli.
- 7 1,8 m - Bu II: 'pumice fall'; braun und beige, wenig schwarze Schlackenlapilli, ungeschichtet, unterschiedliche Korngröße,  $\varnothing$  mm-1-2 cm, z.T. auch größer. (9/7)
- 8 2 m - Bu IV: 'pyroclastic flow', rotbraun, fein - gröber - ganz grob, keilt nach S aus, wird nach N noch mächtiger.
- 9 [ 0,15 m - Lapilli-Asche; hellgrau, geschichtet, unteres Drittel mit schwarzen Schlackenlapilli.  
0,50 m - Bimssteinlapilli; gelbrosa,  $\varnothing$  mm-3-4 cm, sehr wenig andere Lapilli, ungeschichtet. (9/8)
- 10 [ 2 m - Bu V: 'pumice fall', Bimssteinlapilli (braun-



Kap Athinios-SS

Legende s.S. 217

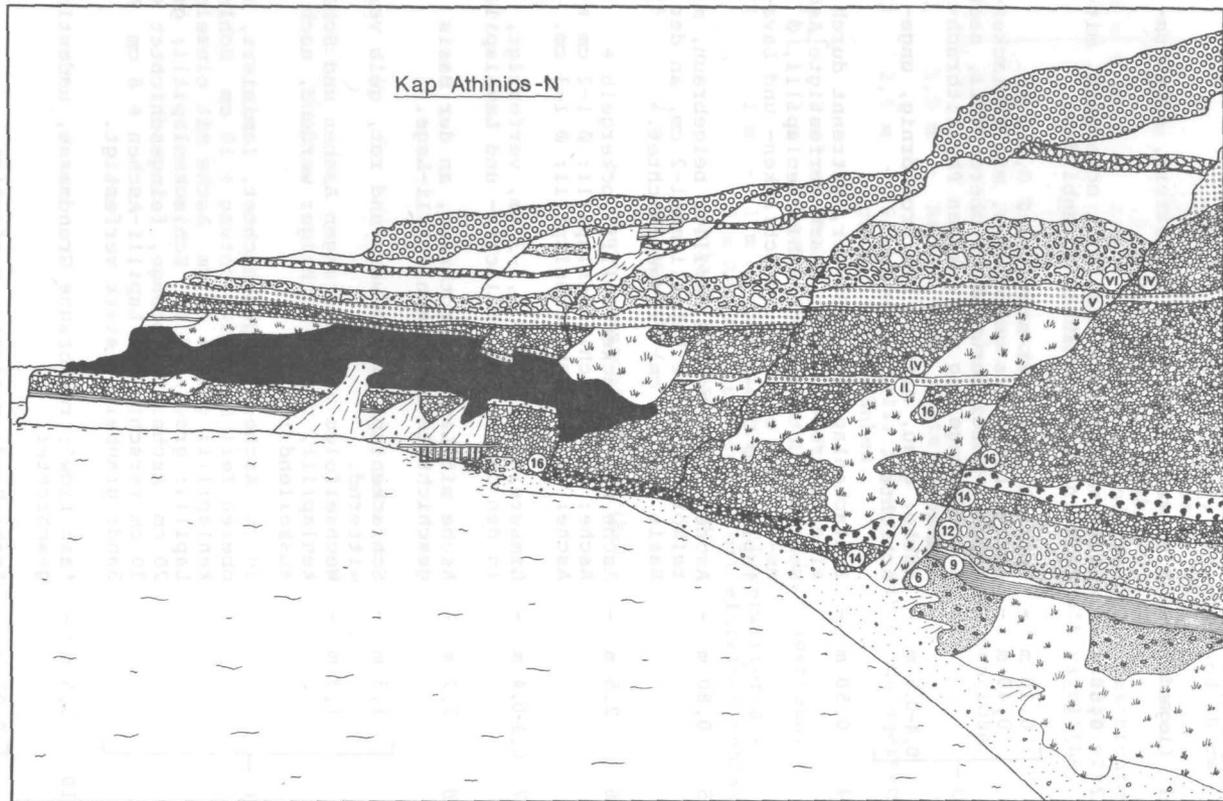
- rosa) und Schlackenlapilli,  $\emptyset$  mm-3 cm, max. 30 cm, undeutlich geschichtet, Schlackenlapilli z.T. lagig angereichert, sonst ca. 15%. (Bimsstein = 9/9)
- 10 - 0-1,8 m - Bimssteinlapilli; gelbrosa, Schichtung erkennbar, an der Basis Schlacken- und Lavalapilli angereichert ( $\emptyset$  bis 2 cm), in einzelnen Mulden Geröllanreicherung ( $\emptyset$  bis 40 cm), nach oben Bimssteinlapilli bis 5 cm  $\emptyset$ , Schicht keilt nach N aus. (9/10)
- 11 0,40 m - Blockhorizont; in Bodenwellen abgelagert.
- 12 6 m - Bu VI: 'pumice flow'; gelbweiß,  $\emptyset$  bis 1 m, chaotisches Gefüge. (9/11)
- 13 0,50 m - Umlagerung.
- 14 - 0,50 m - Lapilli-Asche; olivbraun-rötlich, feinkörnig, mit Schlacken- und Lavalapilli,  $\emptyset$  mm-1 cm.  
 - 0,70 m - Bimssteinlapilli (gelbbraun) und Schlackenlapilli.  
 - 0,30 m - Aschen; rötlich, geschichtet, in Lagen angereicherte Lapilli aller Art, nach oben feiner werdend.
- 15 1,8 m - 50 cm Schlackenlapilli; schwarz, dann zunehmend braune Bimssteinlapilli und Asche. (Bimsstein= 9/12), geht über in: Boden; braun.
- 16 - 0,20 m - Asche; grau, vereinzelt Bimssteinlapilli,  $\emptyset$  mm, grobkörnig, keilt nach N aus.  
 - 0,40 m - Umlagerungshorizont; braun, feinkörnige Grundmasse, Schlackenlapilli,  $\emptyset$  1 mm-1 cm.  
 - 0,20 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  2-4 cm, Xenolithe bis 7 cm  $\emptyset$ .  
 - 0,10 m - Boden; gelbbraun.
- 17 - 2,5 m - Bm: Bimssteinlapilli, braun,  $\emptyset$  2-4 cm, max. 10 cm,  $\emptyset$  nach oben kleiner werdend, Schlackenlapilli in Placken angereichert. (9/13 a+b)  
 - 0,10 m - Asche; beigebraune Verwitterungsfarbe, fein- bis mittelkörnig, scharf abgegrenzt.
- 18 - 1-2 m - Schloträumung; mit Schlackenlapilli und -bomben.  
 - Geht über in:  
 - 1-4 m - Umlagerung; rosabraun.
- 19 - 3 m - Asche; ockerbraun, mit einzelnen Schlackenbänken, an der Basis 2 herauswitternde Schlackenbänke, 10-20 cm mächtig, obere 10-20 cm ockerfarbener Boden.  
 - 0,5-1 m - Asche; rosabraun, mittel- bis feinkörnig.

- 0,40 m - Asche; weiß verwitternd, 2-geteilt, oberes Band 20 cm mächtig, dann 8-10 cm Schlackenlapilli ( $\emptyset$  0,2-0,6 cm), unteres Band 10 cm mächtig, wellig gelagert. (9/14)
- 0,80 m - Schlackenlapilli; schwarz, geschichtet. (9/15)
- 20 - 0,30 m - Asche; weiß verwitternd, flaserig geschichtet, grobe Schichten (Grobsand bis Feinkies) oft dazwischengeschaltet, vereinzelt Pisolithe. (9/16)
- 1 m - Asche; geschichtet.
- 0,20 m - Asche; grau.
- 1,2 m - Wurfslagcke; schwarz,  $\emptyset$  bis Bombengröße.
- 21 1,5 m - Asche; grau, mittelkörnig.
- 22 2,5 m - Schlackenlapilli; schwarz, mit eingelagerten, grauen Asche-Bänken.
- 23 - 1 m - Asche; curryfarben.  
2 m - Asche mit einzelnen Lapilli; beigebraun.
- 24 3 m - 1 m Schlackenlapilli; gelb verwitternd + 2 m Asche; curryfarben, mit einzelnen Schlackenlapilli-Anreicherungen.
- 25 2 m - Umlagerung.  
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 10 = Kap Athinios-N

(von unten nach oben)

- 1 Liegendes - Bimsstein-Tuff; weiß verwittert, stark umgewandelt und verfestigt.
- 2 0,80 m - Asche mit Schlackenlapilli; ockergelb, mittelkörnig, obere 30 cm Bodenbildung.
- 3 [ 0,10 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,4-1 cm.  
0,40 m - Asche; braun bis gelborange, mit Schlackenlapilli-Anreicherungen im oberen Teil, nach S zu Einregelung von eckigen Phyllitbruchstücken.  
0,4-0,5 m - Asche; grau, mittel- bis grobkörnig, ungeschichtet.
- 4 0,50 m - Schlackenlapilli; 2 Bänder, getrennt durch eine mm-große, weiße, stark verfestigte Ascheschicht, unten: reine Schlackenlapilli,  $\emptyset$  mm-0,7 cm, oben: grobe Schlacken- und Lavalapilli,  $\emptyset$  0,5-3 cm.
- 5 0,80 m - Asche mit einzelnen Lapilli; beigebraun, mittelkörnig,  $\emptyset$  der Lapilli mm-1-2 cm, an der Basis (ca. 10 cm) feingeschichtet.
- 6 2,5 m - Asche mit Schlackenlapilli; ockergelb + Asche; grau + Schlackenlapilli;  $\emptyset$  1-2 cm + Asche; grau + Schlackenlapilli;  $\emptyset$  1-3 cm.
- 7 0,3-0,4 m - Bimssteinlapilli;  $\emptyset$  0,5-3 cm, verfestigt, in den oberen 2/3 Schlacken- und Lavalapilli.
- 8 1,2 m - Asche mit Lapilli; rotbraun, an der Basis geschichtete Schlackenlapilli-Lage.
- 9 [ 1,3 m - Schlackenlapilli; schwarz und rot, gelb verwitternd.  
1,3 m - Wechselfolge von rotorangen Aschen und Schlackenlapilli, nach N mächtiger werdend, nach S auskeilend :  
30 cm Asche; feingeschichtet, laminiert, im oberen Teil Schrägschichtung + 10 cm Schlackenlapilli; grau + 20 cm Asche mit einzelnen Lapilli; grau + 17 cm Schlackenlapilli; grau + 20 cm Asche; rot-orange, feingeschichtet + 30 cm verschiedene Lapilli-Aschen + 8 cm Asche-Band; graubeige, stark verfestigt.
- 10 2,5 m - 'ash flow'; rosabraune Grundmasse, undeutlich geschichtet.
- 11 [ 0,07 m - Asche-Band; rosagrau, verfestigt.  
0,20 m - Schlacken- und Lavalapilli;  $\emptyset$  1-3 cm.



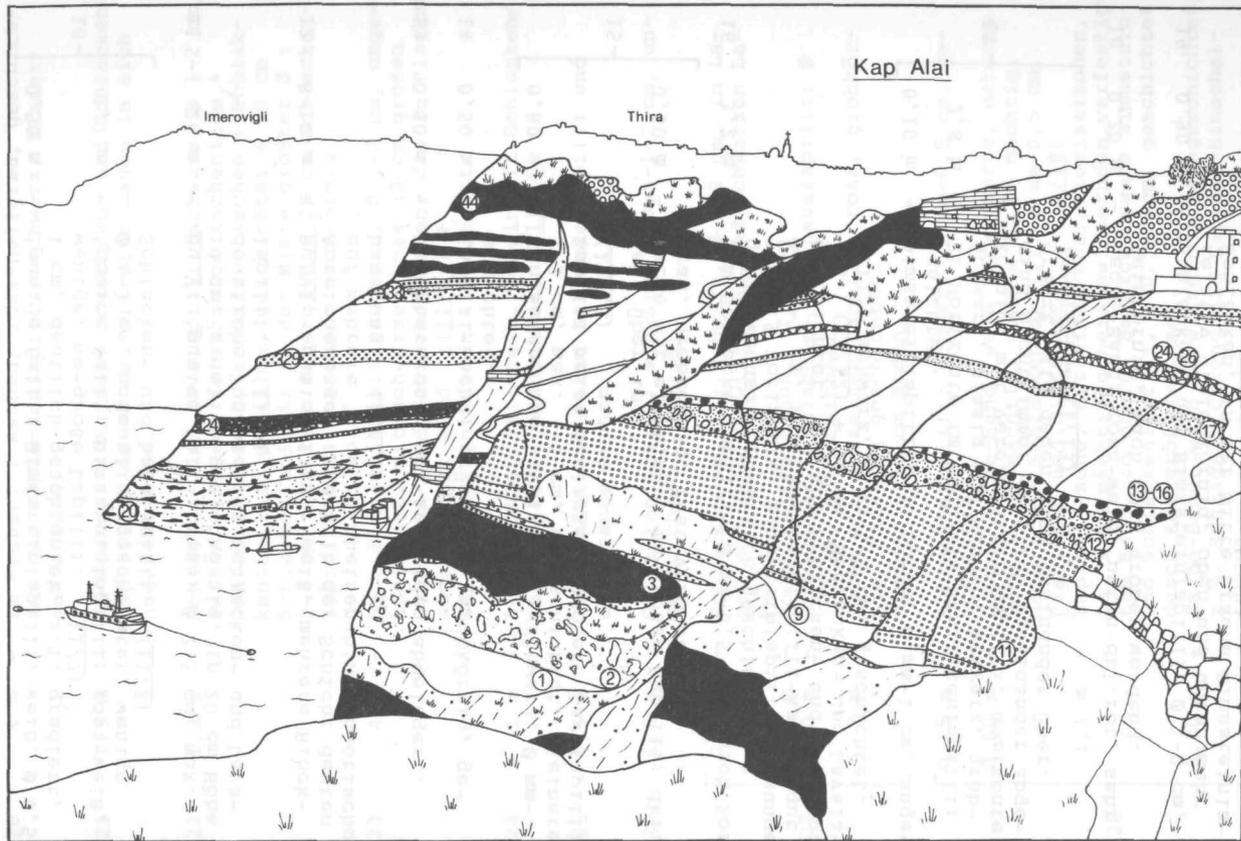
Legende s.S. 217

- 12 5-6 m - 'ash flow'; schwarz-graue Asche-Matrix, mit Schlacken- und Lavalapilli bis -bomben.
- 13 0,5-1 m - Blockhorizont.
- 14 4-5 m - 'pyroclastic flow'; gelbbraun, mit Schlacken- und Lavabomben, untere 50 cm graubraun, dann in gelb übergehend, nach oben rosabraun werdend, mehr Schlackenbomben.
- 15 2-3 m - Schlackenbomben; schwarz, geht nach N in "piperno-artige" Schichten über. (10/1)
- 16 8-10 m - 'pyroclastic flow'; rosarot, mindestens drei Einheiten: fein - grob - fein, 3. Schicht ist deutlich in sich geschichtet, oben folgen rote Wurf-schlacken, mit fließendem Übergang, verschweißt, einzelne Bomben z.T. ausgelängt, fast alle mit einer dunklen Glas-Kruste umgeben. (10/2 a+b)
- 17 4-5 m - Umlagerung.
- 18 { 0,50 m - Schlackenlapilli; schwarz.  
0,40 m - Boden; gelb-weiß, sehr glatt.
- 19 { 1,8 m - Bu I: Bimssteinlapilli; gelb. (10/3)  
1 m - Bimssteinlapilli; weißgelb, geschichtet, 3 Schichten.
- 20 - Bu II: 'pumice fall'.

Profil 11 = Kap Alai

(von unten nach oben)

- Liegendes - Schutt.
- 1 3 m - Asche; grau + im Wechsel: rote Aschen und schwarze Schlackenlapilli.
- 2 10 m - Wurf-schlacken; rot.
- 3 [ 3-5 m - Lavastrom [T<sub>3</sub><sup>2</sup>]; grau, z.T. rötlich, leicht porphyrisch, blasig, löchrig. (11/1)  
2-6 m - Lavablöcke; gut gerundet, Ø 20-70 cm, in aschig-schlackiger Grundmasse.  
4-6 m - Lavastrom [T<sub>3</sub><sup>2</sup>]; grau-rötlich, blasig, deutliche Fließstrukturen, Unterkante bizarr kantig, nach S Abnahme der Mächtigkeit. (11/2)
- 4 0,20 m - Bimssteinlapilli; rosagelb, bräunliche Verwitterungsfarbe, Ø 4-5 cm; (11/2a) geht nach oben in einen 30 cm mächtigen Boden über.
- 5 1,5 m - Schlackenlapilli; schwarz, ungeschichtet, Ø 1-3 cm, max. 5 u. 7-8 cm, hellbeige Verwitterungsfarbe, scharfkantig. (11/3)
- 6 0,50 m - Bimssteinlapilli bis -bomben; rosa-beige, faust- bis kindskopfgroß, vereinzelt grobe Lavablöcke. (11/4a)
- 7 0,50 m - Asche; ockergelb, grobkörnig; nach N in einer Linse eingeschaltet :  
1,5 m 2 weiße Bimssteinlapilli-Lagen; dazwischengeschaltet: graue, verfestigte Lapilli-Asche, an der Basis charakteristische Verwitterung in Form von "Kindeln", sehr hart, wie zementiert. (11/4)
- 8 1,2 m - 20 cm Bimssteinlapilli; gelbbraun, Ø 0,5-2 cm, nach oben Zunahme der Schlacken- und Lavapilli, Ø bis 7 cm, ungeschichtet + 10-15 cm Aufarbeitungshorizont. (Bimsstein = 11/5)
- 9 [ 1,1 m - Bu I: Bimssteinlapilli; weiß, Ø 0,5-2 cm, ungeschichtet. (11/6)  
1,6 m - Umlagerungshorizont; mit linsenförmigem Asche-Horizont; braun, im unteren Bereich Schlackenlapilli-Anreicherung, sonst vereinzelt Lapilli aller Art.
- [ 0,10 m - Bu II: Bimssteinlapilli-Asche; weiß, Ø mm-0,4 cm, 10% Schlacken- und Lavalapilli, feingeschichtet.



- 10 0,50 m - 'pumice fall'; Bimssteinlapilli, weiß,  $\varnothing$  0,5-1 cm, deutlich geschichtet, z.T. gradiert, wenige, mm-große Lapilli. (11/7)
- 1,7 m - 'pumice fall'; Bimssteinlapilli; rosa-weiß,  $\varnothing$  1-3 cm, undeutlich geschichtet, wenige Schlacken- und Lavalapilli. (11/8)
- 11 26 m - Bu V: 'pumice fall'; rosa,  $\varnothing$  2-5 cm, max. 10 cm, ziemlich gleichkörnig, in 20 cm Höhe deutliche Zunahme der Schlacken- und Lavalapilli. (11/9)
- 12 8-10 m - Bu VI: 'pumice flow'; weiß, mehrere Block-Anreicherungen innerhalb der Schicht deuten auf mehrere 'flow'-Einheiten hin, chaotische Lagerung. (11/10)
- 13 0,80 m - Blockhorizont; nur in Mulden abgelagert.
- 14 0,50 m - Lapilli-Asche; grün-gelb, grobkörnig, geschichtet.
- 15 0,80 m - Schlacken- und Lavalapilli; schwarz,  $\varnothing$  mm-1-2 cm, max. 4-5 cm, ungeschichtet, kleinere Lapilli meist Schlacken, größere Lavalapilli. (11/11)
- 0,50 m - Geht über in:  
Asche mit einzelnen, mm-großen Lapilli; dkl.-grau, grobkörnig, fest verbacken.
- 16 3,2 m - 1 m Schlackenlapilli;  $\varnothing$  mm-0,5 cm, durch Korngrößenwechsel undeutlich geschichtet. + 1,3 m: 9 Horizonte: Bimssteinlapilli; braungelb,  $\varnothing$  0,4-1 cm, und Bimssteinlapilli-Asche; gut geschichtet, ca. 10% Schlacken- und Lavalapilli. (11/12) + 90 cm Schlacken- und Lavalapilli; schwarz,  $\varnothing$  mm-1-2 cm, geschichtet.
- 17 0,10 m - Bimssteinlapilli; gelbgrün,  $\varnothing$  mm-1 cm, ungeschichtet.
- 2,8 m - 21 Horizonte im Wechsel: Schlackenlapilli; schwarz, blasig und Aschen; schwarz, grobkörnig, mit vereinzelt Lapilli, Horizonte sind nicht immer deutlich voneinander abgegrenzt, sie gehen auch ineinander über. (Schlacke= 11/13)
- 18 0,20 m - Asche-Band; rosa-weiß, unten dkl.rot, sehr feinkörnig, nach oben gröber werdend.
- 19 0,90 m - Schlacken- und Bimssteinlapilli;  $\varnothing$  1-2 cm, relativ gleichkörnig, oben und unten mehr Schlacken, in der Mitte braune Bimssteinlapilli; darüber:  
in "Säcken" 0-60 cm Bimsstein- und Schlackenlapilli mit Lavabomben (bis 30 cm  $\varnothing$ ).

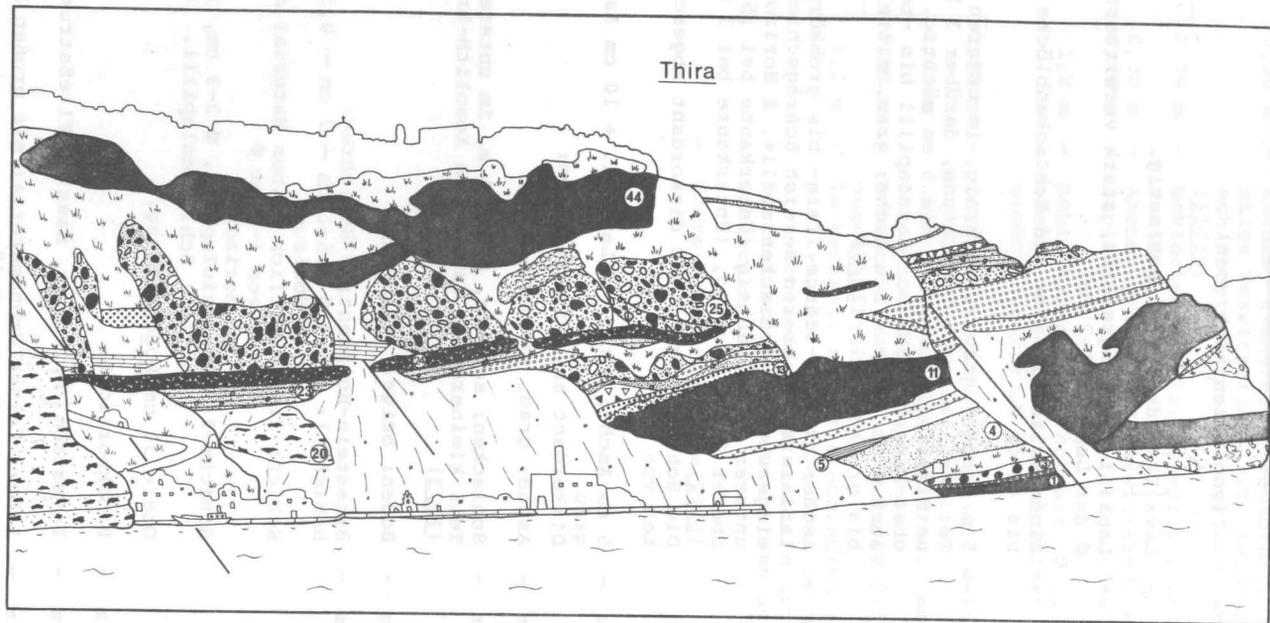
- 20 4 m - Im Wechsel : Aschen; rosa-hellgrau, geschichtet und Schlackenlapilli; schwarz, Flaserschichtung.
- 21 1,5 m - Im Wechsel : Aschen; ockerbraun und Schlackenlapilli;  $\emptyset$  mm—2 cm, einzelne Lagen in sich ungeschichtet.
- 22 1,2 m - Schlacken- und Lavalapilli; schwarz,  $\emptyset$  1-2 cm, selten größer + feinkörnige Aschenlage + Schlackenlapilli, schwarz + Aschen + Schlackenlapilli;  $\emptyset$  2-3 mm, geschichtet + 50 cm Schlackenlapilli; in der Mitte größter  $\emptyset$  : 2-4 cm, bis fast faustgroß + 20 cm Schlackenlapilli, fein + Aschen; grobkörnig.
- 23 4 m - Bm : Bimssteinlapilli; braun,  $\emptyset$  2-3 cm, ungeschichtet, mit schwarzen, bis 10 cm großen Bimsstein- und Schlackenbomben, die in Placken angereichert sind. (11/14) + Umlagerung; in Mulden eingelagert.
- 24 1 m - Bimssteinlapilli; gelb, vereinzelt Schlacken/Lavalapilli, geschichtet. (11/15)
- 25 1,5 m - Im Wechsel: schwarze Schlackenlapilli und dkl.braune Aschen.
- 26 1,2 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,5-1-2 cm, ungeschichtet. (11/16)
- 27 { 2,5 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  1-2 cm, in Lagen von gelb verwitterten und schwarzen Lapilli.  
0,30 m - Boden; mittelbraun. (11/17)  
0,30 m - Bimsstein-, Schlacken- und Lavalapilli;  $\emptyset$  1-2 cm, ungeschichtet.  
2 m - Asche mit einzelnen Lapilli; rosa, grobkörnig, flaserig geschichtet; darüber : 30 cm Boden.
- 28 { 0,15 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  mm-0,5 cm, geschichtet.  
0,60 m - Doppel-Asche-Band; weiß verwitternd, unteres Band 15 cm mächtig, oberes 30 cm mächtig, dazwischen Schlackenlapilli;  $\emptyset$  mm-0,5 cm, Pisolithe und Blattreste. (11/18)  
1,1 m - Lapilli-Asche; mit einem charakteristischen, ca. 1 cm mächtigen, herauswitternden, verfestigten Band, im oberen Bereich braune Bimsstein- und Schlackenlapilli,  $\emptyset$  0,5-2 cm, geschichtet durch Korngrößenwechsel.  
0,20 m - Asche-Band; weiß verwitternd, feingeschichtet, z.T. Schrägschichtung mit Lapilli-Einschaltungen.  
1,1 m - Schlackenlapilli; 2 Bänke getrennt durch braunes Asche-Band, geschichtet, oben größer.

- 29 [ 0,90 m - Aschen; grünbraun, grobkörnig, flaserig-wulstige Verwitterung, z.T. feinlaminiert geschichtet, Verwitterungsfarbe weißgrau. (11/19)
- 0,70 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  2-3 cm, im oberen Teil geschichtet.
- 0,30 m - Asche; grau, weiß verwitternd, Wurzeln.
- 0,50 m - Lapilli-Asche; grau, geschichtet.
- 30 1,2 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,5-1 cm, getrennt von einer 7 cm mächtigen Schicht mm-großer Lapilli.
- 31 [ 0,20 m - Schlacken- und Lavalapilli;  $\emptyset$  1-3 cm, ungeschichtet.
- 0,60 m - Lapilli-Asche; violett-grau, laminiert, z.T. Schrägschichtung, Wurzeln.
- 0,30 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,5 cm u. 1-3 cm, ungeschichtet.
- 1,2 m - Im Wechsel: schwarze Schlackenlapilli und Lapilli-Asche; deutliche Schichtung, die obersten Schlacken sind ziemlich groß:  $\emptyset$  5-6 cm.
- 2 m - Wechsel von gelb verwitterten und schwarzen Schlackenlapilli.
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 12 = Thira

(von unten nach oben)

- 1 2,5 m - Lava  $[T_3^1]$ ; dkl.grau, schlackig.
- 2 0,70 m - Lapilli-Asche; grau-grün, stark verwittert,  $\emptyset$  der Lapilli 1-2 cm.
- 3 2,7 m - Blockhorizont; Lava- und Schlackenblöcke bis 40 cm  $\emptyset$ .
- 4 8 m - 5 m Aschen; grau, grobkörnig, im unteren Teil feinelaminare Schichtung, darüber 3 kleine Bimsstein-Horizonte bis 5 cm mächtig, nach oben Einschaltung von Lavalapilli bis -bomben, auch  $\pm$  in Lagen  $\pm$  3 m Asche; grau, mittel- bis grobkörnig. (12/1)
- 5 2 m - Asche; dkl.rot-orange, fein- bis grobkörnig, laminiert, im oberen Bereich Schrägschichtung, eingeschaltet Schlackenlapilli, 2 Horizonte: unterer 35 cm mächtig (Unterkante bei 15 cm), oberer 20 cm mächtig, (Unterkante bei 1 m). (12/2)  
Die Schicht wird im NE diskordant abgeschnitten von :
- 6  $\left\{ \begin{array}{l} 0,15 \text{ m} - 5 \text{ cm Asche; einzelne Lapilli. } \pm 10 \text{ cm Asche; grau.} \\ \text{Diskordant abgeschnitten von:} \\ 1,5 \text{ m} - \text{Asche; grau, grobkörnig.} \end{array} \right.$
- 7 4 m - Schlacken; schwarz,  $\emptyset$  bis 1 m, im unteren Teil kleinerer  $\emptyset$ , dazwischen Xenolith-Brocken. (12/3)
- 8 1,5 m - Boden; beige. (12/4 a+b)
- 9 2,2 m - Bimsstein-Horizont; 3 Schichten:  
Schicht 1: unten  $\emptyset$  0,5-1 cm - 2 cm - 0,5-1 cm, roter Horizont  
Schicht 2: einheitlich feines Material mit Lapilli von 1-3 cm  $\emptyset$  roter Horizont  
Schicht 3: Bimssteinlapilli,  $\emptyset$  2-3 cm, im oberen Teil Schlackenlapilli. (12/5)  
Obere 30 cm Bodenbildung.
- 10 1 m - Blockhorizont.
- 11 6 m - Lavastrom  $[T_3^2]$ ; grau, massig, Fließstrukturen.
- 12 3 m - Lahar; feines Grundmaterial mit großen Blöcken, chaotisches Gefüge.



Legende s.S. 217

- 13 2 m - Schlackenlapilli; schwarz.
- 14 6 m - Umlagerungshorizont.
- 15 2 m - 55 cm Asche; grau, geschichtet + 15 cm Bimssteinlapilli + 40 cm Asche; grau, geschichtet + 30 cm Bimsstein- und Schlackenlapilli + 15 cm Asche; braun, grobkörnig + 2 Horizonte (je 10 cm) Bimsstein- und Schlackenlapilli in weißer Bimsstein-Asche + 20 cm Asche; grau.  
Überdeckt von :

16 1 m - Bu II: 'pumice fall', gelbweiß. (12/6)

17 8 m - Lahar, chaotisches Gefüge.

18 0,30 m - Boden; im oberen Teil eingeschwemmte Bimssteinlapilli.

- 19 { 0,07 m - Asche; weiß, geschichtet.  
4 m - Bu V: 'pumice fall'; Bimssteinlinse, 3 Horizonte: 1. 1,5 m Bimssteinlapilli,  $\phi$  1-7 cm, 5-10% Xenolithe + 2. 20 cm Xenolith-Anreicherung,  $\phi$  bis 10 cm + 3. 2,3 m Bimssteinlapilli,  $\phi$  1-7 cm. (Pr. von Schicht 1 = 12/7)

Weiterführung des Profils über der Kapelle, dazwischen kleine Störung, die Schichten bilden das Hangende des Bu.

20 8 m - Ignimbrit [ $T_4$ ]; mindestens 4 'flow'-Einheiten, durch deutliche Absätze gekennzeichnet, aber lithologisch sehr ähnlich, rötlich aschige Grundmasse, Lapilli von Bimssteinen, Lava und Schlacken, z.T. in der Längsachse eingeregelt, keine Verschweißung, "sandet" stark ab. (12/8)

21 6 m - 'pyroclastic flow', rotbraun, chaotisches Gefüge, Entgasungsröhren im oberen Bereich.

22 0,20 m - Boden; gelb-beige.

23 7 m - Lapilli-Asche und Bimssteinlapilli; deutliche Schichtung, im obersten Teil schwarze Schlacken. (Lapilli-Asche= 12/9)

- 24 { 0,60 m - Bm: Bimssteinlapilli; braun. (12/10)  
1,5 m - Schlacken; schwarz, blasig-glasig, mit verwitterten braunen Bimssteinlinsen. (12/11a)  
2 m - Geht nach oben über in:  
Ignimbritisch, glasig, sehr hart. (12/11b)

25 20 m - Lahar; braun, chaotisches Gefüge, große Gesteinbrocken bis Blockgröße, vorw. Schlacken.

- 26 { 3 m - 'pyroclastic flow'; braungrau, meist schwarze Schlacken unterschiedlicher Korngröße, Lavapapilli, undeutlich geschichtet. (Schlacke = 12/12)  
 0,50 m - oben abgeschlossen von einem : Schlacken-Band; schwarz.
- 27 1 m - Bimssteinlapilli; braun,  $\emptyset$  1-2 cm, übergehend in lagenweise angereicherte Schlackenlapilli. (12/13)
- 28 0,40 m - Asche; grau, feinkörnig, geschichtet.
- 29 { 0,30 m - Aschen und Schlackenlapilli im Wechsel.  
 0,30 m - Schlackenlapilli; gleichmäßiger  $\emptyset$  von 1-2 cm, abgeschlossen von einer Asche-Bank.  
 2 m - Schlackenlapilli; schwarz, unten fein, nach oben gröber werdend, undeutlich geschichtet, nach oben Wechsel von gelb verwitterten und schwarzen Lapilli-Lagen. (12/14)
- 30 { 0,20 m - Asche; rosa-weiß, feinkörnig.  
 0,40 m - Bimssteinlapilli; gelb,  $\emptyset$  0,5-1,5 cm, ungeschichtet.
- 31 { 2,2 m - Asche mit Lapilli; grau nach oben rötlich werdend, faserig geschichtet, z.T. Schrägschichtung, nach unten Zunahme der größeren Lapilli ( $\emptyset$  0,5-1 cm).  
 0-1 m - Umlagerungshorizont; keilförmig nach S zunehmend.  
 1,2 m - Schlackenlapilli und -bomben; schwarz, liegen in rötlich-brauner Asche.
- 32 0,50 m - Umlagerung; aufgearbeitete Asche, hellbraun, mit Lava- und Schlackenbruchstücken.
- 33 { 0,15 m - Schlackenlapilli; schwarz,  $\emptyset$  0,2-0,6 cm, max. 1 cm.  
 0,50 m - Asche-Doppelband; weiß verwitternd, unteres Band: 20 cm mächtig, unterer Teil faserig geschichtet durch Korngrößenwechsel, im oberen Teil Pisolithe. (12/15a) ÷ Dazwischen ca. 8 cm geschichtete Schlackenlapilli;  $\emptyset$  0,1-0,3 cm. ÷ Oberes Band: 25 cm mächtig, grob geschichtet, oberster Teil fast Lapilli-Größe ( $\emptyset$  1-3 mm). (12/15b)  
 0,8-1,2 m - Schlackenlapilli; schwarz, undeutlich geschichtet,  $\emptyset$  0,5-2 cm.  
 0,25 m - 2. Asche-Band; weiß verwitternd, unteres und oberes Drittel geschichtet :grob - fein. (12/16)  
 0,50 m - Schlackenlapilli;  $\emptyset$  0,2-2 cm, max. 3 cm, undeutlich geschichtet, wenige Lavalapilli.  
 0,15 m - Schlackenlapilli;  $\emptyset$  bis 10-15 cm. (12/17)

- 34 0,8-1,2 m - Lapilli-Asche; deutlich geschichtet durch Korngrößenwechsel, auch Lavalapilli.
- 35 5 m - Umlagerung; grau-braune Asche-Lapilli-Matrix, Blöcke verschiedener Laven und rote Schlacken.
- 36 2 m - Schlackenlapilli; schwarz, innen rötlich,  $\emptyset$  1-3 cm, max. 6-8 cm, fest verbacken in Asche-Matrix, etwa in halber Höhe : 50 cm mächtiges Asche-Band.
- 37  $\left\{ \begin{array}{l} 0,90 \text{ m} - \text{Asche; grau bis sandfarben, geschichtet.} \\ 2 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; schwarz-braun, } \emptyset 1-2 \text{ cm,} \\ \text{max. 3 cm, in Asche-Matrix.} \end{array} \right.$
- 38 0,50 m - Asche; beige-braun, mit einem 4 cm mächtigen stark verfestigten, weißen Asche-Band.
- 39 0,80 m - Schlackenlapilli; geschichtet, grob — fein — grob ( $\emptyset$  0,2-0,4 cm — wenige mm), Olivin-Phänokristalle. (12/18 a+b)
- 40  $\left\{ \begin{array}{l} 0,10 \text{ m} - \text{Bimsstein- und Lavalapilli; } \emptyset 0,5-1 \text{ cm.} \\ 0,60 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; geschichtet, mit einem ca.} \\ \text{20 cm mächtigen, rosa-roten, sehr feinkörnigen} \\ \text{Asche-Band dazwischen.} \\ 1,2 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; } \emptyset 0,5-2 \text{ cm.} \\ 0,30 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; } \emptyset \text{ mm-Bereich.} \\ 1 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; } \emptyset 1-3 \text{ cm, in Asche-Matrix.} \end{array} \right.$
- 41 23 m - Lava [S<sub>2</sub>]; 3 Ströme unterbrochen von roten Wurf Schlacken, nach S in einen dicken Strom ungleichmäßig übergehend.
- 42 2,5 m - Schlackenlapilli; Wechsel von schwarzen und gelb verwitterten Lapilli.
- 43 15 m - Lapilli-Asche; dkl.braun, schlecht aufgeschlossen, stark überwachsen.
- 44 22 m - Lava [T<sub>6</sub>]; grau, deutliche Fließstrukturen.
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 13 = Kap Skaros

(von unten nach oben)

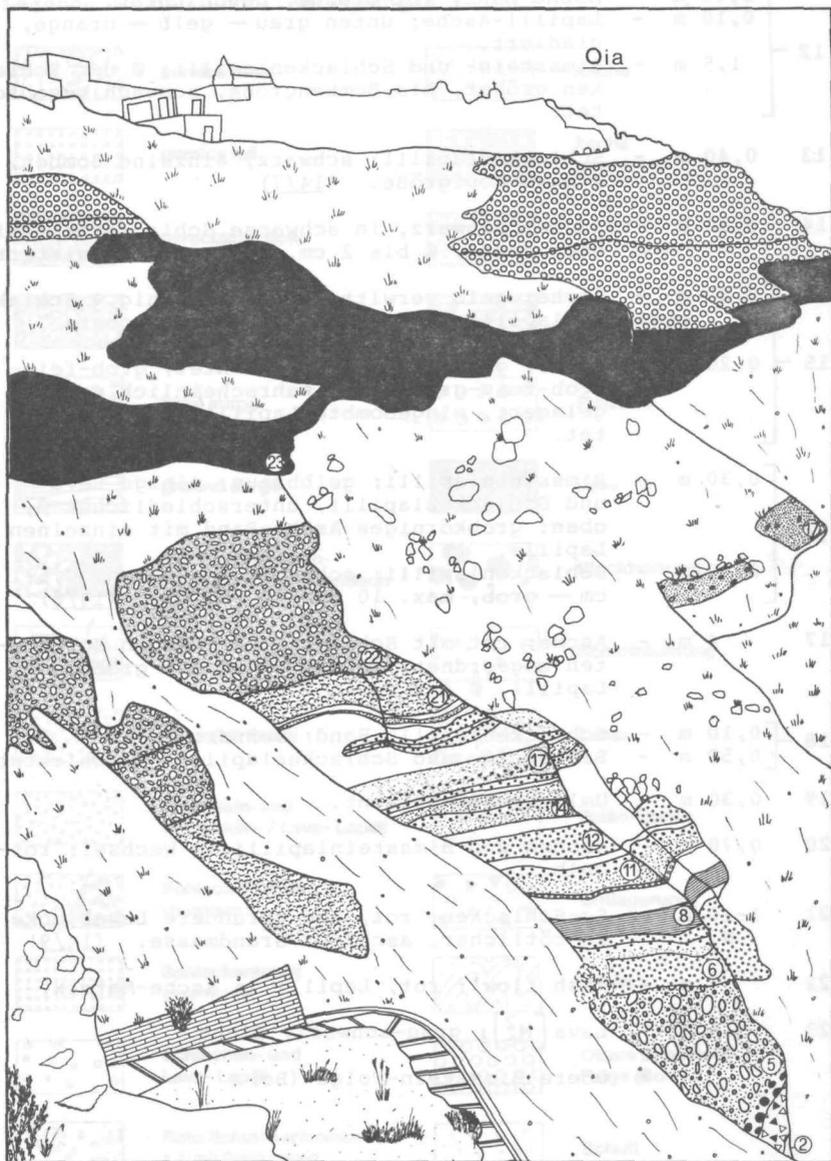
- 1 Liegendes - Lava[S<sub>2</sub>]; ca. 5 Ströme, grau, horizontal gelagert.
- 2 0,30 m - Umlagerung; einzelne Obsidiantrümmer.
- 3 2 m - Blockhorizont.
- 4 1,5 m - Schlackenlapilli; schwarz, fein.
- 5 2 m - Schlackenlapilli; schwarz, Ø bis faustgroß.
- 6 6-7 m - Bimssteinlapilli (weiß-gelb) und Schlackenlapilli (grau); geschichtet.
- 7 0,50 m - Asche-Band; weiß verwitternd, mit Pisolithen.
- 8 ca. 200 m - ca. 24 Lavaströme [S<sub>2</sub>]; grau bis grüngrau, plattige Partien und sehr blasenreiche Partien wechseln ab, z.T. große Feldspat-Einsprenglinge, obere 3 Lavaströme sind sehr olivinreich (Größe bis 3-4 mm), Ströme haben eine durchschnittl. Mächtigkeit von 1,5-4 m, an der Basis fast jedes Stromes treten rote gefrittete Blöcke auf, von ca. 0,4-1 m Mächtigkeit, z.T. deutliche Fließstrukturen. (oberste 3 Ströme = 13/1 a-c)
- 9 0,50 m - Schlackenlapilli; orange-rot.
- 10 0,50 m - Bimsstein- und Lavalapilli; ockergelb und grau, ungeschichtet.
- 11 2 m - Asche; rosa-braun, stark verfestigt, im unteren Teil einzelne Lapilli, Ø 0,3-3 cm.
- 12 0,50 m - Schlackenlapilli; rot-orange, Ø 2-3 cm, nach oben gröber werdend (Ø 5-7 cm).
- 13 13 m - Ignimbrit; unten: 3-4 m mächtig, rot-orange, einzelne Schlacken deutlich herausgemeiselt, bis 80 cm Länge, Xenolithe bis 20 cm, schwach verschweißt ÷ Mitte: 2-3 m mächtig, rot-orange, blasig, schwarze "Flammen", Xenolithe z.T. eingeregelt ÷ oben: 5-6 m mächtig, schwarz, stark porös, sonst dicht und fast plattig wie ein Lavastrom, Xenolithe, Länge bis 20 cm, Oberfläche rot oxidiert.  
Geht über in:
- 14 [ 3-4 m - Sc-Schlacken; rot, Ø 5-30 cm, kleinere Schlacken sind in der Längsachse eingeregelt.

- 14 { 5 m - Wurfschlacke, rot, unten:  $\emptyset$  40-50 cm, oben kleiner werdend, verschiedene Einheiten von 20 bis 30 cm Mächtigkeit, die mehr oder weniger Xenolithe enthalten.
- 15 0,80 m - Schloträumung; verschiedene Lava- und Schlackenblöcke,  $\emptyset$  bis 1 m.
- 16 3 m - Schlackenlapilli bis -bomben; rötlich, gelbbraun verwitternd,  $\emptyset$  5-10 cm, max. 50 cm.
- 17 2 m - Aschen; grau-schwarz.
- 18 3-4 m - 'pumice flow' [Ign. 1]; Bimssteinlapilli und -bomben,  $\emptyset$  bis 50 cm.
- 19 7-8 m - 'base surge' [Ign. 2]; Bimssteinlapilli; gelbbraun,  $\emptyset$  mm-15 cm, unterer Bereich: abwechselnd sehr feine und mittelkörnige Lapilli ( $\emptyset$  mm-5 cm, max. 10 cm)  $\div$  ca. 50 cm Bimssteinbomben;  $\emptyset$  10-15 cm  $\div$  20 cm sehr feine, geschichtete Lapilli;  $\emptyset$  mm-Bereich  $\div$  schneller Wechsel von feinen und mittelgroßen Lapilli, vereinzelt Lava- und Schlackenlapilli, gut verbacken, Bimssteine enthalten viele Feldspat-Einsprenglinge bis 3 mm Länge, z.T. Schrägschichtung und Laminierung. (13/2 a+b)
- 20 ca.4 m - Hangschutt und Bewuchs.
- 21 0,8-1 m - Umlagerungshorizont.
- 22 1-1,2 m - Ignimbrit [Ign. 3]; schwarz-braun, schwarze Schlacken-"Flammen" sehr ausgedünnt, bis 15 cm lang, oben und unten: braun, sehr locker, in der Mitte: dkl.braun-schwarz, verschleißt, viele Feldspat-Einsprenglinge. (13/3)
- 23 0,5-0,8 m - Umlagerungshorizont.
- 24 { 0,10 m - Asche; schwarz-grau, feinlaminiert.  
1-1,2 m - Schlackenlapilli; schwarz, ziemlich einheitliche Korngrößen-Verteilung,  $\emptyset$  1-6 cm, dicht gepackt, aber wenig verfestigt, Bomben bis max. 15 cm  $\emptyset$ . (13/4)
- 25 1,8 m - Hangschutt  
- Obere Bimsstein-Folge (Bo)

Profil 14 = Oia

(von unten nach oben)

- Liegendes - Schutt
- 1 4 m - Lava  $[M_2^1]$ ; schwarz, dicht, massig.
  - 2 5 m - Schlacken; rot, in einer gelb verwitternden, sandigen Grundmasse.
  - 3 2,5 m - Umlagerungshorizont; gelbbraune Grundmasse, große, kantengerundete Blöcke.
  - 4 0,50 m - Blockhorizont.
  - 5 3 m - Bu VI: 'pumice flow'; weiß, rechte Seite : fest verbackenes Bimsstein-Material, einzelne Lapilli nicht mehr richtig zu erkennen; (14/1) ÷ linke Seite : Bimssteinlapilli; gelb-weiß,  $\emptyset$  bis Kopfgrößer, Xenolithe, meist hellgrau, sehr unterschiedlicher  $\emptyset$  (bis max. 1 m). (14/2, Xenolithe =14/3)  
 Nach S zu wird der Bu etwas vollständiger, es treten der Bu IV + V auf.
  - 6  $\left[ \begin{array}{l} 0,20 \text{ m} - \text{Asche mit einzelnen Lapilli; feinkörnig, un-} \\ \text{deutlich geschichtet.} \\ 0,70 \text{ m} - \text{Bimssteinlapilli (braun) und Schlackenlapil-} \\ \text{li.} \\ 0,10 \text{ m} - \text{Asche; grau.} \\ 1 \text{ m} - \text{Schlackenlapilli; schwarz, unten fein, } \emptyset \text{ bis} \\ \text{1 cm, oben größer, } \emptyset \text{ 2-3 cm. (14/4)} \end{array} \right.$
  - 7 0,70 m - Bimssteinlapilli; gelb, mit 15-20% schwarzen Schlacken, von unten nach oben größer werdend, obere 10 cm Boden. (Bimsstein =14/5)
  - 8 1 m - Asche; grau-grün, geschichtet, unten Schlackenlapilli-Anreicherung,  $\emptyset$  0,5-1 cm, gut verfestigt.
  - 9 0,90 m - Schlacken- und Lavalapilli; schwarz, vereinzelt braune Bimssteine, sehr locker,  $\emptyset$  mm-1 cm.
  - 10 0,40 m - Bimssteinlapilli; gelb,  $\emptyset$  mm-2-3 cm, einzelne Lavalapilli, darüber: 5-6 cm braune Asche. (Bimsstein =14/6)
  - 11 0,70 m - Asche; nach oben in Schlackenlapilli;  $\emptyset$  1-2 cm, geschichtet übergehend.
  - 12  $\left[ \begin{array}{l} 0,80 \text{ m} - \text{Bimssteinlapilli (gelbbeige) und Schlacken;} \\ \text{oben: Asche; braun-schwarz, feinkörnig.} \end{array} \right.$



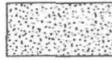
Legende s.S. 217

- 12 — 0,10 m - Asche-Bank; rot-orange, geschichtet.  
 0,10 m - Lapilli-Asche; unten grau — gelb — orange, gradiert.  
 1,5 m - Bimsstein- und Schlackenlapilli;  $\emptyset$  der Schlacken größer, bis Bombengröße, schwach geschichtet.
- 13 0,40 m - Schlackenlapilli; schwarz, einzelne Bomben,  $\emptyset$  max. Kopfgröße. (14/7)
- 14 0,80 m - Asche; schwarz, in schwarze Schlackenlapilli übergehend,  $\emptyset$  bis 2 cm, z.T. gelb verwittert.
- 15 — 0,80 m - Asche; gelb verwitternd, feinkörnig ÷ Schlackenlapilli-Band ÷ Asche; rötlich, obere 30 cm Boden.  
 0,20 m - Asche; graurot, feingeschichtet, grob-fein-grob-fein-grob-fein, wahrscheinlich naß abgelagert, eingebombte Lapilli, z.T. verfälscht.
- 16 — 0,30 m - Bimssteinlapilli; gelbbraun, einige Lava- und Schlackenlapilli, unterschiedlicher  $\emptyset$ , oben: grobkörniges Asche-Band mit einzelnen Lapilli.  
 0,40 m - Schlackenlapilli; schwarz, von unten: 0,5-1 cm — grob, max. 10 cm — 0,5.2 cm. (14/8)
- 17 4 m - Asche; rot mit Schlacken in lagigen Horizonten angeordnet, in der Mitte die größten Lapilli,  $\emptyset$  4-8 cm.
- 18 — 0,10 m - Schlackenlapilli-Band; schwarz.  
 0,50 m - Bimsstein- und Schlackenlapilli; geschichtet.
- 19 0,30 m - Umlagerungshorizont.
- 20 0,70 m - Aschen und Bimssteinlapilli im Wechsel; rot-gelb.
- 21 1-10 m - Sc-Schlacken; rot, und gerundete Lavablöcke in rötlicher, aschiger Grundmasse. (14/9)  
 W
- 22 7 m - 'ash flow'; rot, Lapilli in Asche-Matrix.
- 23 5 m - Lava [ $M_6^2$ ]; grau-schwarz, dicht.  
 - Obere Bimsstein-Folge (Bo)

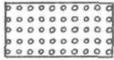
## Legende zu den Profilzeichnungen :



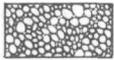
pumice flow



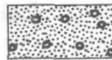
Asche



pumice fall

Asche  
geschichtet

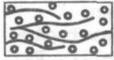
pyroclastic flow

Asche  
mit einzelnen Lapilli

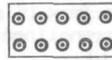
ash flow



Lapilli-Asche



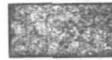
base surge



Pisolithe



ground surge



Lava

Mittlere Bimsstein-  
Folge (Bm) / ignimbritisch

Blockhorizont

Ignimbrit  
unverschleißt/verschleißt

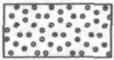
Schloträumung



Bimssteinlapilli



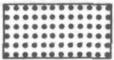
Lahar

Bimsstein- und  
Schlacken- / Lava- Lapilli

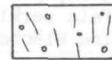
Palão-Boden

Schlackenlapilli /  
-bomben

Umlagerung

Schlackenlapilli  
geschichtet

Phyllit

Schlacken- und  
Lava- LapilliObere Bimsstein-  
Folge (Bo)Rote Schlackenbomben,  
z.T. mit Glaskrusten

Schutt

Obere rote u. schwarze  
Wurfschlacken (Sc)

7.2. Tabellen

Tab. 15 : Kurze lithologische und mikroskopische Beschreibung der Xenolithen aus der jüngsten Schicht (VI) der Bu-Folge

Balos

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
5/10 A	Lava, schwarz, dicht (glasig), nur wenige, sehr kleine (max. 1 mm) weiße Einsprenglinge zu erkennen	porphyrisches Gefüge, feine glasige Grundmasse m. fließgeregelten Mikrolithen, Einspr. : Pl > Px, meist glomerophyrisch zs.-geballt, Pl polysynthetisch und einfach verzwillingt und zoniert
5/10 B	Lava, dunkelgrau-schwarz, blasig, porphyrisch, Blasen teils "eingeregelt"	porphyrisch m. fließgeregelter, mikrokristallin-glasiger Grundmasse, Pl >> Px (Cpx), Pl zoniert (auch patchy zonation) und m. polysynthetischer Verzwilligung
5/10 C	Lava, dunkelrosa, porös	schwach porphyrisch (Pl), Grundmasse mikrokristallin, z.T. fließgeregelt, Fe-reich (Hämatit)
5/10 D	Lava, grau, fließlaminiert, schwach porphyrisch, rosa-braune, fließparallele Fugen mit Füllung	schwach porphyrisch m. fließgeregelter, mikrokristalliner Grundmasse, Pl > Px, Hämatit, Fugenfüllung : Tridymit
5/10 E	Lava, hellgrau, porphyrisch, sehr fein zerklüftet, fein porös	porphyrisch m. fließgeregelter Grundmasse, Pl > Px (Cpx+Opx), z.T. glomerophyrisch
5/10 F	Lava, rotbraun, feinporös, porphyrisch	schwach porphyrisch m. Hämatit-reicher, fließgeregelter Grundmasse, Pl > Px
5/10 G	Lava, hellgrau, porphyrisch, fein zerklüftet, einzelne Flächen sehr glatt	porphyrisch, fließgeregelte mikrokristalline Grundmasse, wenig Glas, Pl > Px, teils glomerophyrisch
5/10 H	Lava, grau-grün, stellenweise rötlich, scklakig, porphyrisch, relativ leicht	porphyrisch m. glasig-schaumiger Grundmasse, die wenige Mikrolithe enthält, Pl > Px

Balos (Fortsetzung)

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
5/10 I	Lava, dunkelgrau, dicht porphyrisch	porphyrisch, fließgeregelt mikrokrystalline Grundmasse, Pl > Px (Cpx+Opx) Pl z.T. mit poikilitischen Pyroxenen
5/10 J	Schlacke, rosagrau, hell sehr feinporös, äußere Rinde hellrot, ähnlich 5/10 C	porphyrisch, Grundmasse porös, mikrokrystallin, wenig eingeregelt, Px und ein Teil der Pl resorbiert, Px iddingsitisiert
5/10 K	Lava, hellrot-braun, porphyrisch m. max. 4 mm großen, wasserklaren Pl-Einspr., dicht, bricht splittrig	porphyrisch m. devitrifizierter Glas-Grundmasse m. perlitischen Sprüngen und wenigen Mikrolithen (Pl), Grundmasse etwas chloritisiert, Cc/Qz-Pseudomorphosen nach Px, Qz auch in Hohlräumen
5/10 L	Lava, grau-violett, porphyrisch, Einspr. teils fließgeregelt	porphyrisch m. mikro- bis kryptokrystalliner Grundmasse, ?Glas, Pl > Px, umgewandelter Ol, Serp.
5/10 M	Lava, dunkelgrau, porös u. porphyrisch, 1--3 mm große weiße Einspr.	serial-porphyr. Grundmasse, Glas u. fließgeregelt Mikro- lithen (Pl + Px), Einspr.: Pl >> Px, beide z.T. glomeroporphyrisch verwachsen, porös
5/10 N	Lava, dunkelgrau, porphyrisch, bis max. 3--4 mm große weiße Pl-Einspr.	porphyrisch m. glasiger Grundmasse, zahlreiche sehr feine Mikrolithe, fließgeregelt, Pl > Px, Pl polysynthetisch u. zoniert
5/10 O	Lava, grau, gelbl. Verwitterungsfarbe, porphyrisch	serial-porphyrisch, mikrokrystallin-glasige Grundmasse, unregelmäßige Pl, sehr viel Px, Pl korrodiert u. resorbiert, ? serp. Olivin

K. Plaka-S

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
7/11b A	Lava, schwarz-braun, porphyrisch-glasig, z.T. kleinporig, Einspr. eingeregelt	vitrophyrisch, fließgeregelt Grundmasse-Mikrolithe u. Feldspat-Einspr., Pl, sehr wenig Px, sek. Verfärbungen

## K. Plaka-S (Fortsetzung)

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
7/11b B	Lava, schwarz, glasig, unregelmäßige porphyrische Einspr. (max. 3 mm)	porphyrisch, Grundmasse mikrokristallin-glasig, serialporphyrische Feldspat- und Px-Einspr., z.T. glomerophyrisch
7/11b C	Schlacke, rotbraun	rot verfärbte "Xenolithe" intern z.T. porph. m. porph. Lava verbacken, Pl, nur vereinzelt Px, Hämatit-Schüppchen
7/11b D	Lava, hellgrau, lagig, kaum Einspr. zu erkennen	porphyrisch, fließgeregelte Grundmasse u. Einspr., Pl, selten Px, Grundmasse: subparallel Feldspat-Nadeln, wenig Glas Einspr.-Plagioklase u. -Px schwach glomerophyrisch, Lagentextur durch fließparallele Klüfte m. Qz gefüllt
7/11b E	Lava, rötlich-schwarz, feinschlackig, porphyrisch	serialporphyr. Pl u. Px unregelmäßig in glasiger Grundmasse m. wenigen Mikrolithen, blasig, Phänokristalle reich an Glas-Einschlüssen, z.T. stark korrodiert
7/11b F	Lava, mittelgrau, porphyrisch, blasig	porphyrische Pl.-Einspr., Px fast vollständig chloritisiert, Grundmasse: ehem. Glas (Chlorit), sek. Qz
7/11b G	Tuffit, hellgrau-weißlich, dicht, porph., z.T. kleinporig	serialporph., Pl u. Cpx, Grundmasse: mikrokristallin-glasig m. Erz, Glomerophyre, unregelmäßige Poren, Px teils iddingsitisiert

Oia

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
14/3 A	Lava, beige-grau, schlackig, Hohlräume m. Qz gefüllt	serialporph. m. fließgeregelter Grundmasse, reich an unregelmäßigen Hohlräumen, die oft m. Qz gefüllt sind, Einspr. Pl > Px (Cpx), z.T. verwilligt, Grundm.: Pl, Glas, Erz, selt. Px

## Oia (Fortsetzung)

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
14/3 B	Metamorphit, beige-grau, feinstreifig, Quarzit-schiefer	Qz in einer schwarzen u. braunen, sehr feinen Substanz, unregelmäßige Lagentextur
14/3 C	Lava, grau, blasig	serial-porph. m. fließgeregelter Grundmasse: Glomerophyre aus Pl u. Px, Einspr.: Pl, Cpx, selten Opx
14/3 D	Lava, dunkelgrau, glasig m. 1--3 mm großen weißen Einspr.	serial-porph. m. schwach fließgeregelter Grundmasse, Glomerophyre selten, Einspr.: Pl, Cpx
14/3 E	Lava, schwarz, rötl., schlackig	schwach porph., viele unregelm. Hohlräume, Einspr.: wenig Pl u. Px
14/3 F	Tuffit, hellbeige, silifiziert	dicht, einige Qz- und Fdsp.-Kristalle, keine vulkanische Struktur
14/3 G	Lava, grau-schwarz, porph.	porph. m. fließgeregelter Grundmasse aus Glas u. Pl-Mikrolithen, Einspr.: Pl, selten Px
14/3 H	Tuff, weißgrün, Kristall- und Lithoklaste in feink. Grundmasse	Qz-, Fdsp.-Kristallbruchstücke, und Lava-Xenolithe in mikrokristalliner 'wolzig'-flaseriger Grundmasse
14/3 I	Lava, grau-schwarz, feinkristallin, wenig Einspr.	trachyt.bis schwach porph., wenige Einspr. in parallel fließgeregelter Grundmasse, Fdsp., in den Zwickeln Glas u. Px-Mikrolithe, Einspr.: Pl, serizitisiert
14/3 J	Lava, hellgrau, blasig, aphanitisch	mikrokristallin, vereinzelt Pl-Einspr., sek. ausgefüllte Blasen, hyalopilitische Grundmasse, Blasenfüllung: Qz u. braune mikrokrist., z.T. strahlige Substanz
14/3 K	Lava, beige (vergrünt), porphyrisch	porph., Einspr.: Fdsp., vollst. serizitisiert, Px, chloritisiert
14/3 L	Lava, braun, schwach blasig, porph.	serial-porph. m. unregelter hyalopilitischer Grundmasse aus Glas, Pl-Mikrol. u. Hämatit, Einspr.: Pl u. Px

Oia (Fortsetzung)

Pr.-Nr.	Handstück	Dünnschliff
14/3 M	Lava, schwarz, porph., fluidal-texturiert	porph. m. glasiger Grundmas- se aus Glas u. submikr. Fdsp.- Mikrolithen, Einspr.: Pl, Cpx, Opx, wenige Glomerophyre
14/3 N	Schlacke, rotbraun	porph. m. hyalopilitischer fließgeregelter Grundmasse, schlackig, Einspr.: Pl u. Px, Grundmasse: Glas, Pl-Leisten

Tab. 16 : Haupt- und Spurenelement-Gehalte der einzelnen Schicht-Folgen, sowie die errechneten RITTMANN- und CIPW-Normen

Zur besseren Übersicht und Einordnung ist den Tabellen eine Liste vorangestellt, in der die Analysen-Nummern nach Schicht-Folgen getrennt aufgeführt sind.

Dann folgen die Analysen, bei denen sowohl die RITTMANN-Norm als auch die CIPW-Norm berechnet werden konnte. Dabei treten ältere Analysen auf, bei denen noch nicht alle Spurenelement-Standards vorhanden waren. Deshalb ist unterschieden zwischen nicht bestimmt = (·) und nicht nachgewiesen = (-). Am Ende sind die nur mit der CIPW-Norm berechneten Analysen aufgelistet.

Der mittlere Analysenfehler beträgt für die Hauptelemente (in Gew.-%) =  $\text{SiO}_2$ : 0.48,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.16,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 0.25,  $\text{MnO}$ : 0.01,  $\text{MgO}$ : 0.09,  $\text{CaO}$ : 0.12,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0.07,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.06,  $\text{TiO}_2$ : 0.02,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 0.01 und für die Spurenelemente (in ppm) = Ba: 33, Cr: 27, Nb: 3, Ni: 17, Rb: 4, Sr: 7, V: 8, Y: 6, Zn: 6, Zr: 15.

#### T5/1-Folge

1/1 (S, QLA)	7/4 (rS)	9/6 (S, QLA)	11/5 (B, QL)
1/1a (S)	7/5 (B, QLA)	10/1 (S, D)	12/2 (S, QLA)
4/1 (B, R)	8/2 (B)	10/2 (rS, QLA)	12/3 (S, R)
4/2 (S, QLA)	8/4 (S)	11/2a (B)	12/5 (B, R)
5/1 (S, QLA)	8/6 (rS)	11/3 (S, QA)	
7/3 (S, QLA)	9/5 (B, D)	11/4a (B)	

#### Untere Bimsstein-Folge (Bu)

1/2 (I, QLA)	4/8 (V, R)	7/7 (I, QLA)	10/3 (I)
1/4 (III, QL)	4/9 (VI, R)	7/8 (II, QLA)	11/6 (I, R)
1/5 (V, D)	5/2 (I, D)	7/10 (V, R)	11/7 (II, QLA)
1/6 (V, QLA)	5/3 (II, QLA)	7/11 (VI, QLA)	11/8 (II, D)
1/7 (VI, D)	5/4 (III, QLA)	8/7 (II)	11/9 (V, QA)
2/2 (V)	5/5 (B)	8/9 (VI)	11/10 (VI, R)
4/3 (I, R)	5/6 (IV)	9/8 (B, R)	12/6 (II, R)
4/4 (I, R)	5/7 (V, R)	9/9 (V, QLA)	12/7 (V, R)
4/5 (II, QLA)	5/8 (VI, R)	9/10 (V, QLA)	14/1 (VI, R)
4/6 (III, R)	5/9 (VI, R)	9/11 (VI, QLA)	14/2 (VI, R)
4/7 (S)	6/1 (V)		

#### T5/2-Folge

9/12 (S, QA)	11/12 (B, QLA)	14/4 (S, QA)	14/6 (B, QLA)
11/11 (S, QA)	11/13 (S, QA)	14/5 (B, QLA)	14/7 (S, QLA)

Mittlere Bimsstein-Folge (Bm)

1/8 (QLA)	4/10 (QLA)	9/13a (QLA)	12/10 (QLA)
2/3	7/12 (QLA)	9/13b (QLA)	12/11 (ignimbr., QLA)
3/1	8/10	11/14 (QLA)	

T<sub>5/3</sub>-Folge

1/9 (S, QLA)	3/3 (S)	7/15 (S)	12/12 (S, QLA)
1/10 (S, QLA)	3/5 (S)	8/13 (S)	12/13 (B, QLA)
1/12 (S)	4/13 (S)	9/15 (S)	12/14 (S, QA)
2/4 (S)	5/13 (S, QA)	11/15 (B, QLA)	12/17 (S)
3/2 (B)	7/13 (S, QLA)	11/16 (S, QA)	13/4 (S)

12/18 (OIS)

Obere rote und schwarze Wurfeschlacke (Sc)

1/14 (QLA)	2/5	4/14 (QLA)	5/15 (QLA)
------------	-----	------------	------------

Obere Ignimbrite (Ign.)

6/2 13/2a

(S) = Schlacke, (B) = Bimsstein, (rS) = rote Wurfeschlacke,  
(OIS) = Schlacke mit Olivin des Kokkino Vouno-Vulkans;

nach der RITTMANN-Norm berechneter Gesteinsname :

(QA) = Quarz-Andesit, (QLA) = Quarz-Latiandesit, (QL) = Quarz-Latit, (D) = Dacit, (R) = Rhyodacit.

Proben-Nr.	1/1	1/2	1/4	1/5
<b>MAJOR ELEMENTS</b>				
SiO <sub>2</sub>	61,44	64,43	64,43	65,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,87	15,55	14,51	14,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,00	4,50	3,82	3,60
FeO	-	-	-	-
MnO	0,15	0,13	0,11	0,11
MgO	1,74	1,00	0,80	0,72
CaO	4,36	2,90	2,12	2,05
Na <sub>2</sub> O	4,38	4,84	5,18	5,14
K <sub>2</sub> O	2,57	2,94	3,18	3,17
TiO <sub>2</sub>	1,06	0,65	0,51	0,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	0,18	0,12	0,10
H <sub>2</sub> O	1,01	3,13	4,37	3,75
TOTAL	99,83	100,25	99,15	99,38

**CIPW NORM**

Q	15,7	18,1	17,3	19,4
OR	15,2	17,4	18,8	18,7
AB	37,1	41,0	43,8	43,5
AN	16,1	12,0	6,9	6,6
DI	0,7	-	1,1	1,4
HY	4,0	2,5	1,5	1,2
HE	7,0	4,5	3,8	3,6
IL	0,3	0,3	0,2	0,2
RU	-	0,2	-	-
TN	2,2	0,8	0,9	0,8
AP	0,6	0,4	0,3	0,2

**RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)**

QUARTZ	13,7	17,6	17,4	19,5
SANIDINE	20,5	25,5	27,6	25,5
PLAGIOCLASE	52,7	49,7	48,4	48,9
CLINOPYROXENE	3,3	1,0	2,3	2,4
HYPERSTHENE	7,0	4,0	2,5	2,2
MAGNETITE	1,2	1,1	1,0	1,0
ILMENITE	1,1	0,7	0,5	0,4
APATITE	0,3	0,4	0,2	0,2

**COLOUR INDEX**

Q	12,5	6,8	6,4	6,0
A	15,8	19,0	18,7	20,8
P	23,6	27,5	29,5	27,1
F	60,6	53,6	51,8	52,1
TRIANGLE	-	-	-	-

SIGMA RITTMANN	2,6	2,8	3,3	3,0
TAU RITTMANN	8,8	12,9	14,8	16,7

**TRACE ELEMENTS (IN PPM)**

BA	.	.	420	.
CR	-	-	-	-
NB	.	.	13	.
NI	-	-	-	-
RB	97	107	113	102
SR	192	142	99	96
V	.	.	23	.
Y	41	43	51	47
ZN	.	.	76	.
ZR	259	281	243	288

Proben-Nr.	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/14	4/1	4/2
MAJOR ELEMENTS								
SiO <sub>2</sub>	65,51	66,44	61,87	61,55	62,18	57,25	64,07	59,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,05	14,03	15,08	15,52	15,73	16,17	14,70	16,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,34	3,29	5,72	6,37	6,49	9,38	3,85	7,44
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,11	0,11	0,15	0,16	0,16	0,18	0,12	0,15
MgO	0,68	0,59	1,40	1,72	1,75	2,90	1,04	2,22
CaO	1,93	1,77	3,51	4,24	4,32	6,46	2,58	5,35
Na <sub>2</sub> O	5,92	5,32	4,94	4,79	4,71	4,03	4,62	4,48
K <sub>2</sub> O	3,33	3,27	2,45	2,20	2,18	2,86	2,86	2,39
TiO <sub>2</sub>	0,42	0,40	0,02	0,97	0,99	1,29	0,67	1,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,09	0,23	0,25	0,26	0,22	0,16	0,25
H <sub>2</sub> O	4,04	4,10	3,16	1,34	0,37	0,32	3,10	0,72
TOTAL	99,43	99,41	99,33	99,31	99,14	101,06	99,77	100,31

## CIPW NORM

Q	15,0	19,3	15,7	15,4	16,3	8,1	19,8	12,3
OR	19,7	19,3	14,5	13,0	12,9	16,9	16,9	14,1
AB	50,1	45,0	41,8	40,5	39,9	34,1	39,1	37,9
AN	1,9	4,7	11,7	14,4	15,3	17,6	10,9	17,3
DI	3,7	1,9	1,5	1,8	1,2	7,2	-	3,2
WO	0,5	-	-	-	-	-	-	-
HY	-	0,6	2,8	3,5	3,8	3,9	2,6	4,0
HE	3,3	3,3	5,7	6,4	6,5	9,4	3,8	7,4
IL	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
RU	-	-	-	-	-	-	0,3	-
TP	0,7	0,7	1,6	1,9	2,0	2,7	0,6	2,3
AN	0,2	0,2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6

## RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	15,2	19,7	15,1	14,4	15,1	4,8	20,1	10,0
SANIDINE	16,2	15,6	17,8	15,4	14,9	24,4	25,9	17,5
PLAGIOCLASE	61,2	59,0	56,4	57,8	57,7	49,0	47,3	56,6
CLINOPYROXENE	6,1	2,9	3,5	4,2	3,7	11,1	0,7	6,2
HYPERSTHENE	-	1,4	4,5	5,2	5,6	7,5	4,1	6,9
MAGNETITE	1,0	0,9	1,4	1,5	1,5	1,6	0,9	1,2
ILMENITE	0,1	0,4	0,8	1,0	1,0	1,2	0,7	1,1
APATITE	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6

## COLOUR INDEX

Q COORDINATES	16,4	20,9	16,9	16,4	17,2	6,1	21,5	11,9
A STRECKEISEN	17,5	16,5	19,9	17,5	17,0	31,2	27,8	20,8
P DOUBLE-	66,1	62,6	63,2	66,0	65,8	62,7	50,7	67,3
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-

SIGMA RITTMANN	3,8	3,1	2,9	2,6	2,5	3,3	2,7	2,8
TAU RITTMANN	15,6	17,8	9,7	8,8	8,8	8,0	12,1	8,5

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	450	458	327	.	.	.	.	.
CR	-	-	-	-	-	-	-	-
NB	13	11	8	.	.	.	.	.
NI	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	98	102	89	81	84	62	99	92
SR	86	85	146	164	167	187	134	191
V	14	14	54	.	.	.	.	.
Y	47	50	47	40	41	31	44	40
ZN	78	72	97	.	.	.	.	.
ZR	236	245	223	242	238	177	266	248

Proben-Nr.	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10
<b>MAJDR ELEMENTS</b>								
SiO <sub>2</sub>	63,48	64,55	62,22	65,88	57,27	66,39	67,86	62,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,34	15,15	13,65	14,58	18,09	14,84	14,32	15,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,60	4,53	3,43	3,90	7,18	3,52	3,27	5,87
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,13	0,13	0,10	0,12	0,15	0,11	0,11	0,15
MgO	1,08	1,00	0,74	0,72	2,51	0,80	0,58	1,46
CaO	3,02	2,72	2,00	2,24	7,12	2,15	1,68	3,60
Na <sub>2</sub> O	4,27	4,38	6,77	4,59	4,06	4,80	4,92	4,87
K <sub>2</sub> O	2,88	3,03	3,02	3,66	1,51	3,02	3,34	2,43
TiO <sub>2</sub>	0,65	0,65	0,45	0,52	1,07	0,43	0,40	0,83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,17	0,10	0,12	0,28	0,09	0,09	0,22
N <sub>2</sub> O	4,06	3,66	7,31	3,10	0,22	3,41	3,74	3,40
TOTAL	99,68	99,97	99,79	99,43	99,46	99,56	100,31	100,30

**CIPW NORM**

Q	20,0	20,6	9,1	20,1	11,1	21,4	22,4	16,2
OR	17,0	17,9	17,8	21,6	8,9	17,8	19,7	14,4
AB	36,1	37,1	33,4	38,8	34,4	40,6	41,6	41,2
AN	13,9	12,4	-	8,4	26,7	10,0	7,1	12,6
AC	-	-	3,4	-	-	-	-	-
DI	-	-	4,0	0,5	2,9	-	-	1,2
WO	-	-	1,2	-	-	-	-	-
HY	2,7	2,5	-	1,6	4,9	2,0	1,4	3,1
HE	4,6	4,5	2,2	3,9	7,2	3,5	3,3	5,9
IL	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
RU	0,5	0,5	-	-	-	0,3	0,1	-
TN	-	-	0,8	0,9	2,2	0,0	0,4	1,6
AP	0,4	0,4	0,2	0,3	0,6	0,2	0,2	0,5
C	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-

**RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)**

QUARTZ	19,1	19,6	9,7	21,1	8,7	21,3	22,3	15,4
SANIDINE	26,6	28,1	16,5	32,8	6,2	28,0	32,6	17,7
PLAGIOCLASE	46,4	44,7	62,3	35,8	68,5	45,5	40,4	56,1
CLINOPYROXENE	-	-	10,4	1,8	5,7	-	0,5	3,2
HYPERSTHENE	5,8	5,5	-	2,6	8,0	3,6	2,7	4,8
BIOTITE	-	-	-	4,2	-	-	-	-
CORDIERITE	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-
MAGNETITE	0,7	0,7	0,4	1,0	1,1	0,9	0,8	1,4
ILMENITE	0,7	0,7	0,4	0,3	1,1	0,3	0,4	0,9
APATITE	0,3	0,3	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2	0,4

COLOUR INDEX	7,6	7,3	11,2	10,0	16,0	5,0	4,4	10,3
--------------	-----	-----	------	------	------	-----	-----	------

Q COORDINATES	20,8	21,3	11,0	23,5	10,5	22,5	23,4	17,2
A STRECKEISEN	28,8	30,4	18,6	36,6	7,4	29,3	34,2	19,8
P DOUBLE-	50,4	48,3	70,4	39,9	82,1	48,0	42,4	62,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-

SIGMA RITTMANN	2,5	2,5	5,0	3,0	2,2	2,6	2,7	2,8
TAU RITTMANN	13,5	13,1	12,5	15,6	10,4	19,3	19,2	9,9

**TRACE ELEMENTS (IN PPM)**

BA	-	-	418	443	-	414	443	350
CR	-	-	-	-	-	-	-	-
NB	-	-	13	15	-	12	10	11
NI	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	106	112	107	114	56	100	112	89
SR	147	133	95	101	225	100	78	151
V	-	-	17	22	-	32	16	49
Y	45	45	48	52	29	49	54	49
ZN	-	-	67	76	-	67	94	96
ZR	276	287	235	252	158	245	261	230

Proben-Nr. 4/14 5/1 5/2 5/3 5/4 5/5 5/6 5/7

## MAJOR ELEMENTS

SiO2	57,32	59,96	64,30	65,56	63,33	66,57	61,55	67,43
AL2O3	15,84	16,13	15,34	14,33	14,12	14,93	13,54	14,38
Fe2O3	9,45	7,47	4,43	3,55	3,88	4,02	3,57	3,35
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,19	0,15	0,13	0,10	0,11	0,12	0,11	0,11
MgO	2,78	2,18	1,00	0,73	0,85	0,97	0,61	0,61
CaO	6,26	5,18	2,84	1,91	2,35	2,53	1,87	1,67
Na2O	4,48	4,40	4,66	5,45	6,09	4,53	4,34	5,10
K2O	1,40	2,42	2,87	3,46	3,13	2,80	3,01	3,68
TiO2	1,28	1,12	0,62	0,45	0,50	0,49	0,47	0,43
P2O5	0,22	0,28	0,17	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09
H2O	0,24	0,63	4,11	4,94	5,28	3,29	3,94	3,63
TOTAL	99,46	99,92	100,47	100,59	99,75	100,36	95,11	100,48

## CIPW NORM

Q	11,3	13,0	19,2	16,7	11,9	22,9	20,2	19,9
DR	8,3	14,3	17,0	20,4	18,5	16,5	17,8	21,7
AB	37,9	37,2	39,4	45,1	51,5	38,3	36,7	43,2
AN	17,0	17,1	12,5	4,4	1,9	11,8	6,6	5,5
DI	5,4	2,7	-	2,5	4,6	-	-	0,9
WO	-	-	-	-	0,8	-	-	-
HY	4,4	4,2	2,5	0,7	-	2,4	1,5	1,1
HE	9,5	7,5	4,4	3,5	3,9	4,0	3,6	3,3
IL	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
RU	-	-	0,3	-	-	0,4	0,3	-
TN	2,6	2,3	0,4	0,8	0,9	-	0,0	0,8
AP	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
C	-	-	-	-	-	0,1	-	-

## RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	8,0	10,7	18,9	16,9	12,0	22,1	21,5	19,7
SANIDINE	5,1	18,1	25,0	16,0	16,5	24,3	32,1	46,1
PLAGIOCLASE	65,7	55,4	49,1	60,5	62,4	46,9	41,1	29,0
CLINOPYROXENE	9,2	5,7	0,4	3,7	7,8	-	0,1	1,8
HYPERSTHENE	8,7	7,1	4,4	1,4	-	5,1	3,6	2,0
CORDIERITE	-	-	-	-	-	0,4	-	-
MAGNETITE	1,5	1,2	1,1	1,0	1,2	0,6	0,9	0,9
ILMENITE	1,3	1,1	0,7	0,4	-	0,5	0,5	0,4
APATITE	0,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
COLOR INDEX	20,7	15,2	6,6	6,4	8,9	6,6	5,1	5,1
Q COORDINATES	10,2	12,7	20,3	18,1	13,2	23,7	22,7	20,7
A STRECKEISEN	4,5	21,5	26,9	17,1	18,1	26,1	33,9	48,6
P DOUBLE-TRIANGLE	83,3	65,8	52,8	64,8	68,6	50,3	43,4	30,6
F	-	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,4	2,7	2,7	3,5	4,2	2,3	2,9	3,2
TAU RITTMANN	7,6	8,4	13,5	15,9	13,2	17,3	16,1	17,8

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	-	-	417	405	464	-	443	431
CR	-	-	-	-	71	-	-	-
NB	-	-	13	11	16	-	13	12
NI	-	-	-	-	19	-	-	-
RB	52	89	108	100	112	97	113	105
SR	201	185	143	101	101	111	95	94
V	-	-	28	21	31	-	21	24
Y	32	41	49	46	49	43	48	50
ZN	-	-	79	72	74	-	75	71
ZR	176	247	240	234	243	287	242	257

Proben-Nr.	5/8	5/9	5/13	5/15	7/3	7/4	7/7	7/8
------------	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----

## MAJOR ELEMENTS

SiO <sub>2</sub>	67,26	66,14	56,34	58,38	59,78	59,55	61,58	63,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,41	14,14	17,24	16,15	16,29	16,47	14,79	13,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,31	3,26	9,57	9,44	7,03	7,40	4,13	3,57
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,11	0,11	0,18	0,20	0,16	0,16	0,12	0,11
MgO	0,57	0,85	2,70	2,96	2,48	2,37	1,15	1,06
CaO	1,76	1,90	7,27	6,32	5,34	5,51	2,67	2,22
Na <sub>2</sub> O	4,79	5,13	3,61	4,28	4,06	4,68	5,86	5,44
K <sub>2</sub> O	3,34	3,21	1,31	1,41	2,23	1,94	2,77	3,13
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,40	1,28	1,29	0,97	1,05	0,59	0,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,09	0,22	0,22	0,22	0,21	0,16	0,11
H <sub>2</sub> O	4,35	5,06	0,39	-	1,93	0,80	6,35	7,11
TOTAL	100,41	100,29	100,11	100,65	100,49	100,14	100,19	100,74

## CIPW NORM

Q	22,3	19,5	13,0	12,7	14,3	11,8	11,3	15,3
QR	19,7	19,0	7,7	8,3	13,2	11,5	16,4	18,5
AB	40,5	43,4	30,5	36,2	34,4	39,6	49,6	46,0
AN	0,0	6,1	27,0	20,7	19,6	18,2	5,9	4,3
DI	-	1,4	3,0	4,3	2,1	3,7	3,8	3,8
HY	1,4	1,5	5,3	5,4	5,2	4,2	1,1	0,9
HE	3,3	3,3	9,6	9,4	7,0	7,4	4,1	3,6
IL	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
TN	0,1	0,7	2,6	2,6	1,9	2,1	1,1	0,8
AP	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3

## RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	22,3	19,8	9,5	9,4	12,7	9,5	11,2	15,7
SANIDINE	33,5	27,7	4,6	5,8	16,2	11,0	16,6	15,9
PLAGIOCLASE	39,7	46,5	65,8	64,0	56,0	63,1	62,8	60,0
CLINOPYROXENE	0,1	2,3	6,6	7,8	4,5	6,5	5,6	5,2
HYPERSTHENE	2,9	2,4	10,3	9,7	7,6	7,2	1,8	1,5
BIDTITE	-	-	-	-	-	-	-	-
MAGNETITE	0,9	0,9	1,4	1,5	1,5	1,2	1,2	1,0
ILMENITE	0,4	0,4	1,3	1,3	1,0	1,0	0,5	0,3
APATITE	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2

## COLOUR INDEX

Q COORDINATES	23,4	21,1	11,9	11,9	15,0	11,4	12,4	17,2
A STRECKEISEN	35,0	29,4	5,8	7,3	19,1	13,2	18,3	17,3
P DOUBLE-TRIANGLE	41,6	49,5	82,3	80,8	65,9	75,4	69,3	65,5
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-

## SIGMA RITTMANN

TAU RITTMANN	2,7	3,0	1,8	2,1	2,4	2,6	4,0	3,6
TAU RITTMANN	18,9	18,4	9,1	7,9	10,3	9,4	11,9	14,8

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	.	407	171	.	.	.	417	429
CR	-	-	57	-	-	-	-	-
NB	.	13	-	.	-	-	10	10
NI	-	-	35	-	-	-	-	-
RB	111	103	24	55	74	73	101	110
SR	95	98	203	202	200	212	142	115
V	.	13	235	.	.	.	33	19
Y	49	50	22	39	35	32	48	48
ZN	.	76	77	.	.	.	79	73
ZR	308	250	92	179	223	218	233	244

Proben-Nr.	7/10	7/11	7/12	7/13	9/5	9/6	9/8	9/9
MAJOR ELEMENTS								
SiO <sub>2</sub>	69,87	62,92	61,86	58,12	68,72	62,27	63,52	64,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,17	13,25	14,87	16,14	11,47	15,86	14,21	14,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,32	3,00	5,59	9,04	2,77	6,42	3,54	3,88
FeO	0,11	0,10	0,15	-	-	-	-	-
MnO	0,87	0,56	-	0,18	0,08	0,13	0,12	0,12
MgO	1,76	0,61	1,37	2,72	0,79	1,66	0,82	1,07
CaO	4,92	1,61	3,45	6,09	1,99	4,21	4,01	2,47
Na <sub>2</sub> O	3,31	6,29	5,22	4,05	5,10	4,54	4,60	5,08
K <sub>2</sub> O	0,40	0,38	-	1,24	0,46	0,89	0,46	0,49
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,08	0,21	0,22	0,10	0,25	0,12	0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	6,85	-	0,86	6,19	0,91	6,31	4,08
H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	94,83	98,96	95,15	100,25	100,05	99,79	100,56	99,44

## CIPU NORM

Q	20,1	9,6	14,6	13,6	26,5	15,8	18,4	18,2
OR	19,6	19,4	14,4	9,5	14,1	15,7	16,8	17,0
AB	41,6	49,8	44,2	34,3	43,2	38,4	38,9	43,0
AN	6,8	-	10,0	21,1	1,4	15,1	9,7	8,6
AC	-	7,8	-	-	-	-	-	-
DI	0,2	2,9	4,5	-	-	-	-	-
WD	-	1,2	-	3,1	4,2	1,2	4,4	1,3
HY	2,1	-	1,3	5,3	0,5	-	1,1	-
MT	-	-	0,5	-	-	3,6	-	2,1
HE	3,2	0,3	5,3	9,0	2,8	6,4	3,5	3,9
IL	0,2	0,2	-	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
RU	-	-	-	-	-	-	-	-
TN	0,7	0,7	-	2,5	0,9	1,8	0,8	0,9
AP	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-
C	-	-	0,5	0,5	0,2	0,6	0,3	0,3

## RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	20,3	11,4	13,9	10,6	28,0	14,6	19,0	18,2
SANIDINE	31,3	16,0	14,0	8,4	13,5	21,4	27,1	22,8
PLAGIOCLASE	42,6	60,4	61,2	61,7	50,9	52,3	44,9	51,6
CLINOPYROXENE	1,1	11,0	4,8	6,5	6,8	3,5	7,6	2,4
HYPERSTHENE	3,1	-	4,0	9,7	-	5,4	-	3,2
CORDIERITE	-	-	-	-	-	-	-	-
MAGNETITE	0,9	-	1,7	1,4	0,7	1,5	0,9	1,0
ILMENITE	0,4	0,3	-	1,3	-	0,9	0,4	0,5
APATITE	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,5	0,2	0,2

## COLOUR INDEX

Q COORDINATES	21,6	13,0	15,6	13,1	30,3	16,5	20,9	19,7
A STRECKEISEN	35,2	18,2	15,7	10,4	14,6	24,2	29,8	24,6
P DOUBLE-	45,2	68,8	68,8	76,5	55,1	59,2	49,4	55,7
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-

## SIGMA RITTMANN

TAU RITTMANN	3,0	5,3	3,1	2,1	2,2	2,7	2,7	2,9
TAU RITTMANN	18,5	13,7	-	8,3	11,4	9,9	16,6	15,6

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	450	396	410	.	.	.	467	385
CR	-	-	-	-	-	-	-	-
NB	13	10	9	.	.	.	8	10
NI	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	106	99	92	64	86	97	94	97
SR	94	78	145	181	97	179	107	114
V	27	20	51	.	.	.	20	39
Y	51	48	47	33	73	44	45	46
ZN	74	74	91	.	.	.	84	87
ZR	254	257	223	190	238	264	229	238

Proben-Nr.	9/10	9/11	9/12	9/13a	9/13b	10/1	10/2
------------	------	------	------	-------	-------	------	------

## MAJOR ELEMENTS

SiO2	64,36	64,76	57,96	62,78	62,71	59,21	59,98
Al2O3	14,04	13,87	14,74	15,22	15,18	16,08	16,35
Fe2O3	3,23	3,20	6,42	5,50	5,87	7,02	7,10
FeO	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16
MgO	0,77	0,63	2,06	1,46	1,34	2,54	2,45
CaO	1,93	1,82	4,39	3,47	3,46	5,48	5,48
Na2O	6,36	5,76	5,39	5,50	4,58	1,96	4,64
K2O	3,09	3,33	2,06	2,43	2,48	1,96	2,02
TiO2	0,39	0,40	0,94	0,80	0,82	0,95	0,98
P2O5	0,10	0,09	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22
H2O	5,90	5,48	4,90	2,88	3,37	1,35	1,35
TOTAL	100,27	99,44	99,23	100,40	100,17	96,93	100,73

## CIPW NORM

Q	12,3	15,3	9,1	13,8	18,2	25,4	12,2
OR	18,3	19,7	12,2	14,4	14,7	11,6	11,9
AB	53,8	48,7	45,6	46,5	38,8	16,6	39,3
AN	0,6	2,2	9,9	9,7	13,5	25,8	17,8
DI	4,1	3,4	6,0	3,1	-	-	-
MD	0,8	0,4	-	-	-	-	4,0
HY	-	-	2,3	2,2	3,3	6,3	4,2
ME	3,2	3,2	6,4	5,5	5,9	7,0	7,1
IL	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
RU	-	-	-	-	0,0	0,8	-
TN	0,7	0,7	1,9	1,5	1,6	-	2,0
AP	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

## RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	12,6	15,8	8,3	13,1	17,5	23,0	10,6
SANIDINE	16,6	16,2	4,3	9,6	19,6	12,7	12,3
PLAGIOCLASE	62,8	61,1	71,6	66,1	53,0	46,5	61,2
CLINOPYROXENE	6,8	5,6	9,3	5,2	1,9	-	6,6
HYPERSTHENE	-	0,1	3,6	3,4	5,3	10,9	6,2
MAGNETITE	1,0	0,9	1,7	1,4	1,4	0,7	1,6
ILMENITE	-	0,1	0,8	0,7	0,9	1,1	1,0
APATITE	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4

## COLOUR INDEX

Q	13,7	17,0	9,8	14,8	19,4	26,0	12,6
A	18,0	17,4	5,1	10,9	21,8	15,5	14,7
P	68,2	65,7	85,1	74,4	58,8	56,5	72,7
F	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	4,2	3,8	3,7	3,2	2,5	0,9	2,6
TAU RITTMANN	15,7	16,6	8,1	9,6	10,3	12,1	9,8

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	451	456	-	381	357	-	-
CR	-	-	-	-	-	-	-
NB	12	11	-	11	12	-	-
NI	-	-	-	-	-	-	-
RB	100	103	73	95	91	73	68
SR	90	95	180	156	154	209	207
V	19	21	-	54	59	-	-
Y	48	51	34	50	52	35	34
ZN	84	82	-	97	101	-	-
ZR	239	251	223	239	236	224	225

Proben-Nr. 11/3 11/5 11/6 11/7 11/8 11/9

## MAJOR ELEMENTS

SiO <sub>2</sub>	53,10	62,13	66,66	61,58	65,40	65,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,80	13,00	14,42	14,53	14,37	14,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,07	6,03	3,69	4,03	3,66	3,67
FeO	-	-	-	-	-	-
MnO	0,16	0,14	0,11	0,12	0,12	0,12
MgO	4,46	1,29	0,61	1,08	0,88	0,96
CaO	8,78	3,70	1,95	4,87	2,41	2,57
Na <sub>2</sub> O	3,09	4,41	4,88	4,83	5,30	5,45
K <sub>2</sub> O	1,21	2,86	3,38	2,48	2,83	2,75
TiO <sub>2</sub>	0,95	0,90	0,47	0,53	0,47	0,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,25	0,10	0,14	0,12	0,11
H <sub>2</sub> O	0,81	3,31	4,47	5,88	4,75	4,49
TOTAL	99,57	100,02	100,74	100,09	100,31	100,25

## CIPW NORM

Q	7,9	17,3	20,9	15,1	18,5	17,5
GR	7,2	16,9	20,0	14,7	16,7	16,3
AB	26,1	37,3	41,3	40,9	44,8	46,1
AN	31,1	12,7	7,5	10,7	7,1	6,8
DI	6,9	1,1	0,3	5,8	2,3	3,2
WO	-	-	-	1,6	-	-
HY	7,9	2,7	1,4	-	1,1	0,9
HE	9,1	6,0	3,7	4,0	3,7	3,7
IL	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
TN	1,9	1,8	0,8	1,0	0,8	0,8
AP	0,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3

## RITTNANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	4,7	16,5	20,8	15,4	18,7	17,7
SANIDINE	3,6	25,8	34,4	18,7	15,3	7,1
PLAGIOCLASE	66,5	47,0	39,4	54,3	58,6	67,4
CLINOPYROXENE	10,0	3,4	1,3	9,8	3,4	4,4
HYPERSTHENE	12,3	4,5	2,5	-	2,1	1,7
MAGNETITE	1,6	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0
ILMENITE	1,0	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4
APATITE	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2

## COLOUR INDEX

Q	6,3	18,5	22,0	17,4	20,1	19,2
A	4,8	28,9	36,3	21,2	16,7	7,6
P	88,9	52,6	41,7	61,4	63,2	73,1
F	-	-	-	-	-	-

## SIGMA RITTNANN

TAU RITTNANN	1,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

TAU RITTNANN	13,5	9,2	16,7	14,5	15,4	15,5
--------------	------	-----	------	------	------	------

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	270	.	.	432	441	406
CR	-	-	-	-	-	-
NB	8	-	-	12	12	9
NI	-	-	-	-	-	-
RB	43	112	126	83	100	94
SR	217	165	99	133	109	112
V	228	.	.	43	21	27
Y	28	48	51	41	49	48
ZN	78	.	.	82	85	74
ZR	129	290	322	214	238	235

Proben-Nr.	11/10	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	12/2
<b>MAJOR ELEMENTS</b>								
SiO <sub>2</sub>	67.36	56.70	62.56	53.92	63.73	60.83	56.27	59.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.62	17.74	15.45	17.44	15.56	15.93	16.35	15.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.37	7.95	6.06	8.37	5.90	6.89	9.58	7.46
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.11	0.15	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17
MgO	0.58	2.91	1.37	5.18	1.39	2.08	3.35	2.10
CaO	1.96	7.28	3.84	9.46	3.66	4.92	7.28	5.26
Na <sub>2</sub> O	4.92	4.04	4.63	3.13	4.86	4.41	3.48	3.89
K <sub>2</sub> O	3.32	1.37	2.38	1.01	2.45	2.04	1.28	2.25
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.99	0.84	0.89	0.85	1.02	1.18	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.19	0.24	0.13	0.22	0.24	0.17	0.23
H <sub>2</sub> O	3.18	1.05	2.54	0.21	1.58	1.80	0.92	2.91
TOTAL	99.94	100.37	100.05	99.89	100.36	100.32	100.03	100.46
<b>CIPW NORM</b>								
Q	21.5	10.4	17.6	7.6	17.5	15.5	13.1	15.4
OR	19.6	8.1	14.1	6.0	14.5	12.1	7.6	13.3
AB	41.6	34.2	39.2	26.5	41.1	37.3	29.4	32.9
AN	8.0	26.2	14.3	30.6	13.4	17.6	23.2	19.0
DI	0.0	4.5	0.6	10.1	0.8	1.8	4.9	1.7
HY	1.4	5.2	3.1	8.2	3.1	4.4	6.0	4.4
ME	3.4	8.0	6.1	8.4	5.9	6.9	9.6	7.5
IL	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
TN	0.7	2.0	1.7	1.8	1.6	2.1	2.4	2.4
AP	0.2	0.4	0.6	0.3	0.5	0.6	0.4	0.5
<b>RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)</b>								
QUARTZ	21.4	8.2	16.7	4.7	16.5	13.6	9.7	13.4
SANIDINE	32.2	4.7	17.7	1.5	18.1	13.3	4.9	10.9
PLAGIOCLASE	41.6	68.7	55.1	66.2	55.2	58.7	62.8	54.3
CLINOPYROXENE	0.9	7.3	2.6	13.4	2.7	4.4	8.3	4.8
HYPERSTHENE	2.5	8.1	5.1	11.6	4.8	7.3	11.2	7.8
MAGNETITE	0.9	1.6	1.4	1.5	1.4	1.1	1.4	1.2
ILMENITE	0.4	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2
APATITE	0.2	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5
COLOUR INDEX	4.7	18.0	10.0	27.4	9.8	13.9	22.2	14.9
Q COORDINATES	22.4	10.0	18.7	6.5	18.4	15.9	12.6	15.9
A STRECKEISEN	33.8	5.8	19.8	2.0	20.2	15.5	6.3	19.9
P DOUBLE-	43.7	84.2	61.5	91.5	61.5	68.6	81.2	64.2
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2.8	2.1	2.5	1.6	2.6	2.3	1.7	2.3
TAU RITTMANN	18.7	11.6	10.0	14.0	10.0	9.1	9.5	8.6
<b>TRACE ELEMENTS (IN PPM)</b>								
BA	448	.	.	.	377	.	.	.
CR	-	-	-	-	-	-	-	-
NB	7	.	.	.	8	.	.	.
NI	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	106	45	87	35	94	75	44	81
SR	93	246	147	197	159	178	182	204
V	17	.	.	.	57	.	.	.
Y	50	25	41	21	52	40	31	36
ZN	114	.	.	.	97	.	.	.
ZR	253	145	246	115	240	232	160	236

Proben-Nr.	12/3	12/5	12/6	12/7	12/10	12/11a	12/12
<b>MAJOR ELEMENTS</b>							
SiO <sub>2</sub>	60,03	65,99	66,37	64,41	62,44	63,63	61,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,26	14,65	14,53	14,49	14,92	15,56	15,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,28	3,59	3,90	3,84	5,48	6,11	6,54
FEO	-	-	-	-	-	-	-
MNO	0,16	0,13	0,12	0,12	0,14	0,10	0,16
MGO	2,46	0,93	0,66	0,75	1,16	1,53	1,75
CaO	5,68	2,17	2,06	2,30	3,30	3,89	4,33
Na <sub>2</sub> O	4,37	4,36	3,88	4,34	5,13	4,79	4,68
K <sub>2</sub> O	1,86	3,13	3,54	3,18	2,53	2,43	2,23
TiO <sub>2</sub>	0,99	0,61	0,52	0,50	0,76	0,87	0,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,12	0,12	0,12	0,21	0,22	0,25
M <sub>2</sub> O	-	4,85	4,77	4,99	3,59	0,52	1,48
TOTAL	99,31	100,55	100,47	99,04	99,66	99,71	99,95
<b>CIPH NORM</b>							
Q	13,9	22,9	25,2	21,3	15,7	17,4	15,9
OR	11,0	18,5	20,9	18,8	15,0	14,4	13,2
AB	37,0	36,9	32,8	36,7	43,4	40,5	39,6
AN	19,3	10,1	9,4	10,6	10,2	13,8	15,2
DI	3,6	-	-	-	2,1	1,3	1,5
HY	4,4	2,3	1,6	1,9	1,9	3,2	3,7
HE	7,3	3,6	3,9	3,8	5,5	6,1	6,5
IL	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
RU	-	0,5	0,4	0,4	-	-	-
TN	2,0	-	-	-	1,5	1,7	2,0
AP	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6
C	-	0,4	0,9	0,0	-	-	-
<b>RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)</b>							
QUARTZ	12,2	22,3	27,2	21,1	15,3	16,2	14,8
SANIDINE	11,0	30,5	28,9	31,5	17,1	17,9	15,6
PLAGIOCLASE	60,8	40,1	34,4	41,3	57,6	54,9	57,1
CLINOPYROXENE	6,3	-	-	-	4,1	3,4	3,9
HYPERSTHENE	6,7	4,3	-	4,7	3,4	4,9	5,3
BIOTITE	-	-	7,8	-	-	-	-
CORDIERITE	-	1,3	0,6	-	-	-	-
MAGNETITE	1,6	0,5	0,6	0,6	1,4	1,4	1,5
ILMENITE	1,0	0,7	0,3	0,6	0,8	0,9	1,0
APATITE	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5
COLOR INDEX	15,5	6,8	9,2	5,8	9,6	10,6	11,9
Q COORDINATES	14,6	24,0	30,0	22,4	17,0	18,2	16,9
A STRECKEISEN	13,1	32,9	31,9	33,6	19,0	20,1	17,9
P DOUBLE-TRIANGLE	72,4	43,2	38,0	44,0	64,0	61,7	65,3
SIGMA RITTMANN	2,3	2,4	2,4	2,6	3,0	2,5	2,5
TAU RITTMANN	9,9	14,1	16,6	16,4	10,1	9,9	8,9
<b>TRACE ELEMENTS (IN PPM)</b>							
BA	.	.	458	414	369	.	.
CR	-	-	-	-	-	-	-
NB	.	.	14	11	10	.	.
NI	-	-	-	-	-	-	-
RB	70	115	116	99	89	90	79
SR	199	118	104	110	142	155	166
V	.	.	24	33	47	.	.
Y	49	45	53	49	50	44	41
ZN	.	.	81	79	98	.	.
ZR	198	296	256	240	233	271	240

Proben-Nr.	12/13	12/14	14/1	14/2	14/4	14/5	14/6	14/7
MAJOR ELEMENTS								
SiO <sub>2</sub>	59,59	55,54	67,77	67,52	53,42	60,63	60,60	61,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,41	16,61	14,14	14,19	17,07	14,94	15,60	15,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,88	10,02	3,22	3,25	7,85	3,42	6,43	6,70
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,16	0,18	0,11	0,11	0,15	0,14	0,15	0,15
MgO	2,33	3,68	0,50	0,50	5,66	1,62	1,70	1,85
CaO	4,70	7,89	1,59	1,62	9,55	3,88	4,24	4,36
Na <sub>2</sub> O	4,11	3,44	4,90	4,99	2,87	4,85	4,58	4,48
K <sub>2</sub> O	2,02	1,18	3,47	3,39	0,99	2,47	2,06	2,32
TiO <sub>2</sub>	0,95	1,20	0,39	0,38	0,77	0,80	0,93	0,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,19	0,09	0,08	0,14	0,27	0,24	0,23
H <sub>2</sub> O	3,22	0,17	3,56	3,61	0,56	4,23	2,73	1,46
TOTAL	99,58	100,10	99,74	99,64	99,03	99,25	99,26	99,19

## CIPW NORM

Q	15,9	11,6	22,3	21,8	7,8	14,2	15,9	16,0
DR	11,9	7,0	20,5	20,0	5,9	14,6	12,2	13,7
AB	34,8	29,1	41,5	42,2	24,3	41,0	38,8	37,9
AN	17,6	26,4	6,3	6,3	30,8	11,7	15,9	15,0
DI	1,3	6,3	0,0	0,2	10,6	2,8	0,7	1,8
HY	5,2	6,3	1,2	1,1	9,2	2,8	3,5	3,8
HE	6,9	10,0	3,2	3,3	7,8	5,4	6,4	6,7
IL	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
TN	1,9	2,4	0,7	0,6	1,5	1,6	1,9	2,0
AP	0,5	0,4	0,2	0,2	0,3	0,6	0,6	0,5

## RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)

QUARTZ	14,8	7,8	22,3	21,8	5,2	13,8	15,0	14,9
SANDINE	14,1	3,5	36,2	32,6	1,6	18,8	13,8	17,2
PLAGIOCLASE	36,7	64,1	37,0	40,9	64,5	55,5	39,2	34,8
CLINOPYROXENE	3,7	9,9	0,8	1,0	13,7	3,0	3,0	4,3
HYPERSTHENE	7,8	11,6	2,3	2,2	12,7	4,2	6,1	5,8
MAGNETITE	1,5	1,4	0,8	0,9	1,4	1,3	1,5	1,5
ILMENITE	1,0	1,2	0,4	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0
APATITE	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5	0,5

COLOUR INDEX	14,0	24,2	4,3	4,5	28,5	11,3	11,5	12,6
Q COORDINATES	17,3	10,4	23,4	22,9	7,3	15,7	17,0	17,1
A STRECKEISEN	16,5	4,6	37,9	34,2	2,2	21,3	15,7	19,8
P DOUBLE-TRIANGLE	66,2	85,0	38,8	42,9	90,5	63,0	67,3	63,1
F	-	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,3	1,7	2,8	2,9	1,4	3,0	2,5	2,5
TAU RITTMANN	9,7	9,5	19,3	20,0	15,6	9,4	9,4	8,9

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	.	.	465	440	.	.	.	.
CR	-	-	-	-	-	-	-	-
NB	.	.	13	8	.	.	.	.
NI	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	74	45	113	109	37	94	75	79
SR	170	184	83	78	186	159	177	163
V	.	.	.	20	.	.	.	.
Y	33	31	55	51	18	40	40	41
ZN	.	.	71	74	.	.	.	.
ZR	203	148	267	258	111	245	224	239

Proben-Nr.	1/1a	1/12	2/2	2/3	2/4
<b>MAJOR ELEMENTS</b>					
SI02	59.60	56.50	67.39	61.54	57.69
AL2O3	16.07	15.90	14.24	14.60	15.67
FE2O3	7.44	9.95	3.09	5.40	9.41
MNO	0.16	0.20	0.10	0.15	0.19
MGO	2.13	3.01	1.61	1.21	2.62
CAO	5.11	6.56	1.54	3.31	6.05
NA2O	4.20	3.83	4.52	5.34	4.02
K2O	2.41	1.30	3.15	2.49	1.66
TiO2	1.11	1.29	0.40	0.72	1.22
P2O5	0.20	0.20	0.08	0.16	0.22
H2O	0.86	0.62	3.59	4.35	0.71
TOTAL	99.29	99.36	99.71	99.27	99.26

<b>CIPW - NORM</b>					
QUARTZ	13.9	13.4	24.5	14.7	14.4
CORUNDUM	-	-	0.8	-	-
ORTHOCLASE	14.5	7.8	19.4	15.5	8.8
ALBITE	36.1	32.8	39.8	47.6	34.3
ANORTHITE	18.2	22.6	7.4	9.0	20.7
BIOPSIDE	2.3	4.1	-	4.1	3.7
- WO COMP.	1.2	2.2	-	2.2	2.0
- EN COMP.	1.1	1.9	-	1.9	1.7
HYPERSTHENE	4.3	5.7	4.2	1.3	4.9
- EN COMP.	4.3	5.7	4.2	1.3	4.9
HEMATITE	7.6	10.1	3.2	5.7	9.5
ILMENITE	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
SPHENE	2.3	2.6	-	1.4	2.5
RUTILE	-	-	0.3	-	-
APATITE	0.5	0.5	0.2	0.4	0.5
TOTAL	100.02	100.02	100.01	100.01	100.02

<b>RIETHMANN - VALUES</b>					
SIGMA	2.63	1.95	2.41	3.31	2.04
EGSIC	0.42	0.29	0.38	0.52	0.31
TAU	10.69	9.36	24.30	12.86	9.55
LGTAU	1.03	0.97	1.39	1.11	0.98
A/AFM	42.39	29.67	63.07	55.73	32.70
F/AFM	43.95	52.93	23.69	35.65	51.66
M/AFM	13.66	17.41	13.24	8.61	15.64

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	389	282	686	364	275
CR	-	-	-	-	-
NB	12	6	10	10	6
NI	-	-	-	-	-
RB	89	45	97	98	51
SR	184	196	134	158	187
V	120	220	34	30	187
Y	46	37	40	43	38
ZN	89	100	62	88	101
ZR	221	152	189	270	168

Proben-Nr.	2/5	3/1	3/2	3/3	3/5
<b>MAJOR ELEMENTS</b>					
SiO <sub>2</sub>	57.47	62.29	60.35	52.06	55.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.99	15.17	15.42	16.85	15.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.40	5.92	6.63	8.42	9.92
MnO	0.19	0.15	0.16	0.15	0.20
MgO	2.74	1.36	1.82	6.53	3.07
CaO	6.40	3.54	4.61	10.17	6.49
Na <sub>2</sub> O	4.17	4.80	4.41	2.50	3.75
K <sub>2</sub> O	1.35	2.37	2.11	0.60	1.27
TiO <sub>2</sub>	1.27	0.83	0.98	0.82	1.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.22	0.24	0.09	0.19
H <sub>2</sub> O	-	2.41	2.36	0.92	12.10
TOTAL	99.19	99.06	99.09	99.11	109.97
<b>EPN - NORP</b>					
QUARTZ	13.0	17.6	16.4	7.7	13.5
ORTHOCLASE	8.0	14.5	12.9	3.6	7.7
ALBITE	35.6	42.0	38.6	21.5	32.4
ANORTHITE	21.1	13.3	16.6	33.6	22.9
DIOPSIDE	4.5	0.8	2.0	11.6	3.9
- NO COMP.	2.4	0.4	4.1	6.2	2.3
- EN COMP.	2.1	0.4	0.9	5.4	1.8
HYPERSTHENE	4.8	3.1	3.8	11.2	6.0
- EN COMP.	4.8	3.1	3.8	11.2	6.0
HEMATITE	9.5	6.1	6.9	8.6	10.1
ILMENITE	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4
SPHENE	2.6	1.7	2.0	1.6	2.6
APATITE	0.5	0.5	0.6	0.2	0.5
TOTAL	100.02	100.02	100.02	100.01	100.02
<b>WITTMANN-VALUES</b>					
SIGMA	2.11	2.67	2.45	1.06	1.94
EPSI	0.32	0.43	0.39	0.03	0.23
JAU	9.31	12.49	11.23	17.50	9.37
ETAU	0.97	1.10	1.03	1.24	0.97
A/AFH	32.65	51.19	45.07	17.86	29.16
X/XH	51.15	35.10	42.35	44.32	53.07
N/AFH	16.21	9.71	12.58	37.62	17.83

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	304	377	349	131	274
CR	-	-	-	217	-
NB	7	11	10	-	7
NI	-	-	-	65	-
RB	63	91	76	22	43
SR	198	148	167	176	196
V	183	41	89	195	225
Y	39	44	45	23	35
ZN	99	91	90	63	98
ZR	161	265	205	92	149

Proben-Nr.	4/13	6/1	7/5	7/15	8/2
<b>MAJOR ELEMENTS</b>					
SiO2	56.76	63.02	60.40	57.41	63.98
Al2O3	15.65	14.94	15.68	15.86	14.67
Fe2O3	9.39	4.55	6.90	9.41	4.08
MnO	0.19	0.13	0.15	0.19	0.12
MgO	2.73	1.05	1.82	2.70	1.93
CaO	6.14	2.78	4.18	6.10	2.16
Na2O	4.20	4.69	3.99	4.06	2.65
K2O	1.37	2.88	2.44	1.41	2.87
TiO2	1.26	0.63	1.05	1.28	0.58
P2O5	0.20	0.17	0.24	0.21	0.13
H2O	1.23	44.80	2.39	0.80	7.04
TOTAL	99.12	139.64	99.24	99.43	100.21

<b>CIPW - NORM</b>					
QUARTZ	12.7	19.0	17.7	13.8	32.7
QCRUNDUM	-	-	-	-	3.9
ORTHOCLASE	8.3	17.9	14.9	8.4	18.2
ALBITE	36.3	41.8	34.9	34.8	24.1
ANORTHITE	20.2	11.8	18.2	21.2	10.6
DIOPSIDE	4.5	-	-	3.4	-
- WO. COMP.	2.4	-	-	1.8	-
- EN. COMP.	2.1	-	-	1.6	-
HYPERSTHENE	4.8	2.8	4.7	5.2	5.2
- EN. COMP.	4.8	2.8	4.7	5.2	5.2
HEMATITE	9.6	4.8	7.1	9.5	4.4
ILMENITE	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
SPHENE	2.6	1.1	1.1	-	-
RUWILE	-	0.1	0.5	-	0.3
APATITE	0.5	0.4	0.6	0.5	0.3
TOTAL	100.02	100.02	100.02	100.02	100.01

<b>RITTMANN- VALUES</b>					
SIGMA	2.25	2.86	2.38	2.08	1.45
EGSIN	0.35	0.46	0.38	0.32	0.16
TAU	9.09	16.27	11.13	9.22	20.72
ETAU	0.96	1.21	1.05	0.96	1.32
A/AFM	32.88	58.94	44.02	32.51	49.11
F/AFM	51.00	32.89	43.53	51.45	33.73
M/AFM	16.12	8.17	12.46	16.05	17.17

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	290	464	404	256	447
CR	-	-	-	-	-
NB	8	14	10	6	11
NI	-	-	-	-	-
RB	48	104	94	49	107
SR	190	134	180	192	123
V	188	40	93	175	33
Y	38	50	45	39	46
ZN	104	78	87	102	75
ZR	158	233	229	160	217

Proben-Nr.	8/4	8/6	8/7	8/9	8/10
<b>MAJOR ELEMENTS</b>					
SiO <sub>2</sub>	56.19	58.89	62.76	66.97	61.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.25	15.84	13.87	14.20	14.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.96	7.47	3.61	3.18	5.63
MnO	0.15	0.16	0.11	0.11	0.15
MgO	2.40	2.22	0.84	0.53	1.15
CaO	7.99	3.10	2.11	1.68	3.27
Na <sub>2</sub> O	3.86	4.47	5.19	5.08	4.54
K <sub>2</sub> O	1.85	2.35	3.15	3.31	2.44
TiO <sub>2</sub>	0.94	1.10	0.47	0.39	0.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.27	0.10	0.08	0.21
H <sub>2</sub> O	36.10	1.01	6.53	3.73	3.77
TOTAL	131.89	98.88	98.74	99.26	98.59

<b>CFW - NORM</b>					
QUARTZ	11.2	12.3	17.4	21.9	19.4
ORTHOCLASE	11.4	14.2	20.2	20.5	15.2
ALBITE	34.1	38.6	47.6	45.0	40.5
ANORTHITE	19.6	16.6	5.7	6.5	13.5
DIOPSIDE	13.5	3.3	2.8	0.6	-
- NO COMP.	7.2	1.8	1.5	0.3	-
- EN COMP.	6.2	1.5	1.3	0.3	-
HYPERSTHENE	-	4.1	1.0	1.1	3.0
- EN COMP.	-	4.1	1.0	1.1	3.0
HEMATITE	7.3	7.6	3.9	3.5	5.9
ILMENITE	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5
SPINEL	2.0	2.3	0.9	0.7	1.5
RUTILE	-	-	-	-	0.0
APATITE	0.5	0.7	0.3	0.2	0.5
VOLLASTONITE	0.1	-	-	-	-
TOTAL	100.02	100.02	100.01	100.01	100.02

<b>REYMANN - VALUES</b>					
SIGMA	2.47	2.93	3.52	2.94	2.58
LEUC	0.39	0.47	0.55	0.47	0.41
TAU	12.12	10.34	18.47	23.38	13.15
ETAU	1.08	1.01	1.27	1.37	1.12
AZAFH	39.32	42.84	66.52	70.56	52.50
EYAFH	44.16	43.22	26.78	24.99	39.08
HZAFH	16.53	13.94	6.70	4.46	8.62

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	316	409	435	484	387
CR	-	-	-	-	-
NB	8	13	13	11	12
NI	-	-	-	-	-
RB	67	111	111	106	94
SR	192	182	100	84	138
V	119	111	21	18	38
Y	39	49	50	45	45
ZN	83	87	76	70	91
ZR	184	214	247	300	270

Proben-Nr.	8/13	9/15	10/3	11/2a	6/2
<b>MAJOR ELEMENTS</b>					
SI02	56.72	56.38	64.70	61.28	63.18
AL2O3	15.83	15.67	14.10	15.29	13.21
FE2O3	9.52	9.76	3.41	5.46	5.54
MNO	0.19	0.20	0.10	0.12	0.15
MGO	2.73	2.80	0.85	1.31	1.51
CAO	6.17	6.30	2.28	3.39	3.64
NA2O	4.06	3.88	4.66	4.09	4.67
K2O	1.37	1.34	3.15	3.36	2.14
TiO2	1.28	1.27	0.57	0.87	0.74
P2O5	0.21	0.21	0.12	0.21	0.17
H2O	1.05	0.79	5.61	4.46	2.17
TOTAL	99.13	98.60	99.55	99.84	99.12
<b>CIPW - NORM</b>					
QUARTZ	13.2	13.7	21.5	17.2	19.4
ORTHOCLASE	8.3	8.1	19.8	20.8	13.0
ALBITE	35.0	33.6	42.0	36.3	40.8
ANORTHITE	21.3	21.9	8.8	14.1	14.7
DIOPSIDE	3.7	3.9	0.6	-	0.6
- NO COMP.	2.0	2.1	0.3	-	0.3
- EN COMP.	1.7	1.8	0.3	-	0.3
HYPERSTHENE	5.2	5.3	2.0	3.4	3.6
- EN COMP.	5.2	5.3	2.0	3.4	3.6
HEMATITE	9.7	10.0	3.6	5.7	5.7
ILMENITE	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3
SPHENE	2.7	2.6	1.2	1.3	1.4
RUTILE	-	-	-	0.2	-
APATITE	0.5	0.5	0.3	0.5	0.4
TOTAL	100.02	100.02	100.01	100.02	100.02
<b>RITTMANN- VALUES</b>					
SIGMA	2.15	2.04	2.81	3.04	2.30
LGSIG	0.33	0.31	0.45	0.48	0.36
TAU	9.20	9.28	16.56	12.87	16.24
LGTAU	0.96	0.97	1.22	1.11	1.15
A/AFM	32.10	30.70	66.03	54.01	50.61
F/AFM	51.76	52.83	26.79	36.49	38.16
M/AFM	16.14	16.67	7.19	9.50	11.22

## TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BA	281	281	487	525	376
CR	-	-	-	-	-
NB	7	7	13	15	10
NI	-	-	-	-	-
RB	49	46	110	125	73
SR	189	194	113	171	142
V	194	207	33	60	72
Y	39	38	49	48	44
ZN	101	99	63	75	84
ZR	155	158	243	248	207

Proben-Nr.	11/4a	12/17	12/18a	13/2a	13/4
<b>MAJOR ELEMENTS</b>					
SiO <sub>2</sub>	64.55	57.19	49.27	65.29	54.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.62	15.86	17.06	14.94	15.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.40	9.40	9.25	4.85	7.81
TiO <sub>2</sub>	-	-	1.60	-	-
MnO	0.12	0.19	8.65	0.14	0.14
MgO	0.57	2.69	10.97	1.04	7.31
CaO	2.21	6.10	2.13	2.96	8.55
Na <sub>2</sub> O	4.41	4.03	0.27	4.92	2.72
K <sub>2</sub> O	3.63	1.38	0.69	2.47	1.06
H <sub>2</sub> O	0.49	1.27	0.70	0.67	0.72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.21	-	0.17	0.12
H <sub>2</sub> O	4.54	1.03	0.43	2.12	-
TOTAL	99.45	95.35	101.02	99.57	98.35

<b>CIPW - NORM</b>					
QUARTZ	20.9	13.9	19.4	20.8	8.8
CORUNDUM	-	-	11.9	-	-
ORTHOCLASE	22.6	8.3	4.1	15.0	6.4
ALBITE	39.2	34.7	2.3	42.7	23.4
ANORTHITE	9.9	21.5	10.5	11.7	27.7
DIOPSIDE	-	3.2	-	0.3	9.9
- WO COMP.	-	1.7	-	0.2	5.3
- EN COMP.	-	1.5	-	0.1	4.6
HYPERSTHENE	1.5	5.3	37.3	2.5	13.9
- EN COMP.	1.5	5.3	27.2	2.5	13.9
- FS COMP.	-	-	10.2	-	-
MAGNETITE	-	-	13.3	-	-
HEMATITE	4.6	9.6	-	5.0	7.9
ILMENITE	0.3	0.4	1.3	0.3	0.3
SPHENE	0.6	2.6	-	1.3	1.4
RUTILE	0.1	-	-	-	-
APATITE	0.3	0.5	-	0.4	0.3
TOTAL	100.01	100.02	100.11	100.01	100.01

<b>WITTMANN- VALUES</b>					
SIGMA	3.00	2.06	0.15	2.45	1.26
LGSIG	0.48	0.31	-0.83	0.39	0.10
TAU	20.84	9.31	23.99	14.96	17.87
LCTAU	1.32	0.97	1.38	1.17	1.25
ALTAU	63.58	32.30	3.15	57.14	20.70
FLTAU	32.15	51.64	60.89	34.82	39.26
HTAU	4.49	18.06	35.96	8.04	40.04

<b>TRACE ELEMENTS (IN PPM)</b>					
BA	499	266	92	417	257
CR	-	-	-	-	408
NB	17	8	-	9	5
NI	-	-	51	-	115
RB	138	47	7	78	33
SR	107	193	209	123	158
V	18	186	209	46	187
Y	58	39	16	47	23
ZN	84	97	62	86	64
ZR	299	162	60	219	102

## Lebenslauf

06.11.54	geboren in Frankfurt/M. Eltern: Dr.F. und Dr. E. Adams, geborene Oehler
1961 - 1965	Ludwig Richter-Schule (Volks- schule), Frankfurt/M.
1965 - 1974	Lessing-Gymnasium, Frankfurt/M. Abschluß: Allgemeine Hochschul- reife
1.10.1974	Immatrikulation an der Johann Wolfgang Goethe-Univers., Frankfurt/M.  Fachrichtung: Geologie/Paläon- tologie
22.12.1976	Diplom-Geologen-Vorprüfung
18.4.-20.5.1977	Praktikum am Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt/M.
15.10.-08.12.1979	Praktikum bei den Rheinischen Braunkohlenwerken AG, Köln
Okt.1979-Feb.1982	Praktikum und freie Mitarbeit im Institut f. Erd- und Grund- bau, Dr.-Ing. Sior, Frankfurt/M.
13.10.1981	Diplom-Geologen-Hauptprüfung
22.03.1982	Immatrikulation an der Eberhard Karls-Universität, Fachrichtung: Mineralogie/Petro- graphie

Meine akademischen Lehrer waren :

In Frankfurt/M. :

Dr.G.Becker - Dr.W. Forkel - Prof.Dr.H. Fueß - Prof.Dr.K.v.  
Gehlen - Dr.A. Golwer - Prof.Dr.W. Jakoby - Prof.Dr.M. Kore-  
kawa - Prof.Dr.G. Kowalczyk - Prof.Dr.H. Krumm - Prof.Dr.E.  
Martini - Prof.Dr.G. Miehe - Dipl.-Ing.K.H. Müller - Prof.  
Dr.H. Murawski - Dr.H. Pickel - Dr.G. Pieper - Dr.J. Prüfert  
Prof.Dr.H.E. Reineck - Prof.Dr.S. Rietschel - Dr.F. Rösing  
Dr.F. Schaarschmidt - Prof.Dr.R. Schroeder - Prof.Dr.H. Urban  
Prof.Dr.K.P. Vogel - Prof.Dr.J. Winter - Dr.K.P. Winter -  
Prof.Dr.W. Zacher - Dr.H. Zorn.

In Tübingen :

Dr.K. Hammerschmidt - Prof.Dr.P. Metz - Prof.Dr.H. Pichler  
Prof.Dr.G. Voll - Prof.Dr.W. Weiskirchner