

Sitzungsberichte

der

mathematisch - physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band IX. Jahrgang 1879.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1879.

In Commission bei G. Franz.

Sitzung vom 1. März 1879. (Nachtrag.)

Herr C. W. Gumbel legt vor:

„Ueber das Eruptionsmaterial des Schlammvulkans von Paterno am Aetna und der Schlammvulkane im Allgemeinen.“

Der jüngsterfolgte grossartige Ausbruch eines Schlammvulkans bei Paterno am Aetna unfern Catania hat die Frage nach der Beschaffenheit des Eruptionsmaterials und nach der Natur der sog. Schlammvulkane aufs Neue angeregt und um so mehr in den Vordergrund gedrängt, als über die Erklärung dieser ganzen Erscheinung noch grosse Unsicherheit herrscht und sehr verschiedene Ansichten sich einander gegenüber stehen. Dazu aber kommt noch, dass bekanntlich in der neuesten Zeit von Th. Fuchs ¹⁾ in Wien die Entstehung eines der merkwürdigsten Schichtgesteine des alpinen Gebirgssystems, des Flysches nämlich, mit den Auswurfsmassen der Schlammvulkane in genetischem Zusammenhange gebracht wurde. Bei den vielfach räthselhaften Erscheinungen, welche sich mit der Beschaffenheit und dem Auftreten der Flyschgesteine verknüpft zeigen, gewinnen die in dieser Richtung unternommenen Untersuchungen daher eine hervorragende Wichtigkeit nicht blos für die Geologie im Allgemeinen, sondern insbesondere für jene der Alpen. Um aber diesen Fragen näher treten zu können, erscheint es vor Allem nothwendig, vorerst das Material genauer kennen zu lernen, welches die sogenannten

1) Sitz. d. k. Acad. d. Wiss. I. Abth. Jahrg. 1877 und Verhandl. d. k. geol. Reichsanst. in Wien 1878 Nr. 7 S. 135.

Schlammvulkane der Gegenwart liefern. Es ist sehr auffallend, dass wir mit Ausnahme der klassischen Arbeiten Abich's²⁾ und einiger neuesten Arbeiten John's³⁾ noch sehr wenig über die Natur des Eruptionsmaterials solcher Schlammvulkane wissen. Selbst diese Untersuchungen beschränken sich der Hauptsache nach bloss auf chemische Analysen; an eingehender mikroskopischer Erforschung des Eruptionsmaterials fehlt es noch gänzlich, obgleich es nicht zweifelhaft sein dürfte, dass die Ergebnisse einer solchen Untersuchung viel zur Klärung der Streitfrage über die Natur und die Entstehung der sog. Schlammvulkane beizutragen im Stande sind.

Es schien mir daher von geognostischem Standpunkte aus nicht unwichtig, die Gelegenheit, welche sich bei dem Ausbruch des Schlammvulkans bei Paterno⁴⁾ bot, zu benutzen, um wenigstens einen Anfang der Untersuchung in der bezeichneten Richtung anzubahnen, wobei ich gleichzeitig die chemische Analyse mit physikalisch-mikroskopischen und z. Th. paläontologischen Beobachtungen zu verbinden versuchte. Durch die freundliche Gefälligkeit einiger Fachgenossen war ich zugleich in die angenehme Lage versetzt, meine Untersuchungen über eine Reihe von Schlammvulkanmaterial aus ganz Italien und der Umgebung des kaspischen Meeres⁵⁾ auszudehnen

2) *Mém. d. l'Acad. imp. d. scienc. d. St. Petersbourg*, VII. Serie Vol. VI. 1878.

3) *Jahrb. d. k. geol. Reichsanst. in Wien* 1877 S. 437.

4) Das Material von dem Schlammvulkan bei Paterno verdanke ich der Gefälligkeit des Hrn. Prof. Sequenza in Messina. Ich benütze hier die Gelegenheit, meinen verbindlichsten Dank für diese freundliche Unterstützung auszusprechen.

5) Herr Staaterath Abich in Wien, Prof. Bianconi in Bologna, Prof. Strobl in Parma und Director Stöhr in München waren so gefällig, mich mit reichem Material zu versehen. Auch diesen Herren spreche ich bei dieser Gelegenheit meinen besten Dank aus.

so dass allgemeinere Vergleichspunkte gewonnen werden konnten. Auch glaubte ich die Gelegenheit benützen zu sollen, um wenigstens einige der wichtigsten Bildungen der Flyschgruppe mit in den Kreis meiner Untersuchungen herinzuziehen.

Da mir als Ausgangspunkt für das Ganze die Beobachtungen an dem Eruptionsmaterial des Schlammvulkans von Paterno diete, so stelle ich die hierbei gewonnenen Ergebnisse hier voran.

Der Schlammvulkan von Paterno.

In den ersten Tagen des Monats Dezember 1878 machte sich nach den Mittheilungen des Prof. Silvestri in Catania ⁶⁾ ein neuer Schlammvulkan durch gewaltige Schlamm-eruptionen bei Paterno in der Nähe des Aetna bemerkbar. Die aus zahlreichen Eruptionspunkten mit wechselnder Heftigkeit hervorbrechende Schlammmasse bildete einen grossen rauchenden Schlammsee. Die Krater-ähnlichen Eruptionsöffnungen sind von zweierlei Art. Die einen bleiben continuirlich in Thätigkeit und werfen mit einer gewissen Regelmässigkeit dicklichen Schlamm und salziges schlammiges Wasser mit Petroleum-haltigem Schaume aus. Zugleich bewirkt das Hervordringen von Gasen, namentlich von Kohlensäure, dass die in den kraterförmigen Vertiefungen angesammelte flüssige Masse in fortwährende aufwallende Bewegung versetzt wird und dass sich darüber eine an Kohlensäure sehr stark angereicherte Dunstschicht bildet, in welcher brennende Körper erlöschen und Thiere zu Grunde gehen.

Bei der zweiten Art der Ausbruchsöffnungen ist die Thätigkeit eine intermittirende, indem hier der ausgestossene Schlamm sehr dickflüssig ist und dadurch zeitweise dem das

6) Allgem. Zeit. Beilage vom 4. Januar 1879 S. 54.

Aufwallen bewirkenden Gas Widerstand zu leisten vermag. Es ist diess die Periode einer oft einige Minuten andauernden scheinbaren Ruhe. Gewinnt dann die Gasspannung das Uebergewicht, so folgt die Periode der Explosion der Schlamm-massen, wobei ein unterirdisches Getöse und ein Erzittern des Bodens wahrgenommen wird. Indem bei derartigen Oeffnungen der dicke Schlamm bald bis zu einer gewissen Höhe emporgehoben wird, bald wieder in die Vertiefung zurücksinkt und eine Zeit lang in Ruhe bleibt, um nach 8—10 Minuten wieder in die Höhe getrieben zu werden, unterliegen diese sog. Schlammkrater einer fortwährenden Formänderung.

Diese Ausbrüche dauerten nach Silvestri's weiteren Mittheilungen ⁷⁾ mit abnehmender Energie bis gegen Ende des Monats Dezember fort, verstärkten sich aber nach dem am 24. Dezember über den östlichen Theil von Sicilien verlaufenden, starken Erdbeben in sehr sichtbarer Weise wieder. Nach zwei Tagen starker Erregtheit trat eine weitere Periode der sich allmählig verschwächenden Eruptionserscheinung ein, die erst gegen Mitte Januar völlig erloschen war, indem nunmehr nur noch gegen 10 Oeffnungen sichtbar sind, aus denen in Mitte des Eruptionsbeckens ganz ruhig ohne Erzittern des Erdbodens und ohne Getöse schlammiges, zwischen 13—37° warmes Wasser, petroleumhaltiger Schaum und reichliche Gase entströmten im Gegensatze zu dem springbrunnenartigen Empordringen dicken Schlammes in der ersten Zeit der Eruptionsthätigkeit. Durch eine Schutz-mauer wurde der Schlammstrom gegen das weitere Vordringen, welches die Verheerung der Gemüsegärten und Orangerien befürchten liess, zu einem Sumpf von beiläufig 7000 Quadratmeter angestaut, der nunmehr auszutrocknen beginnt und von Austrocknungssprüngen durchzogen wird.

7) Siehe Ausland Nr. 7 S. 138. 1879.

Das ausgetrocknete Eruptionsmaterial stellt einen lichtgrünlich grauen, pulverigen Thon dar, der von Wasser befeuchtet sehr zäh, plastisch und beim Anföhlen gewissermassen seifig sich verhält, wie z. B. der gewöhnliche Töpferthon. Das im Wasser vertheilte Material ist aus verschiedenen grossen Theilchen zusammengesetzt, nämlich aus

- A) 0,4 % gröberen Stückchen über 0,5 mm Durchmesser
- B) 15,0 % feineren Stückchen „ 0,1 „ „
- C) 84,6 % feineren Schlamm.

Die gröberen Stückchen A bestehen aus festeren Mergelbröckchen, Fragmenten von Kalkspath, ziemlich viel Schwefelkies in traubigen Klümpchen jedoch ohne Spur von Beimengungen vulkanischer Gesteinstheilchen (Bimsstein, Lava, vulkanischer Asche). Nur sehr vereinzelt kleine Körnchen könnten als Angit oder dergleichen angesprochen werden.

58,89 % dieses gröberen Beimengungen werden durch Essigsäure zersetzt, nämlich so weit sie aus kohlensaurer Kalkerde, etwas kohlensaurer Bittererde und Eisenoxydul zusammengesetzt sind. Der Rest besteht nahezu drei Viertheilen aus Quarzkörnchen. Denn die Analyse desselben ergab:

Kieselsäure	76,50
Thonerde	3,00
Eisenoxyd	4,10
Kalkerde	0,23
Bittererde	0,55
Alkalien	Spuren
Bitumen	1,00
Schwefelkies	1,73
Wasser und Verlust . . .	12,89
	100,00

Die Quarzkörnchen konnten durch die lebhaften Farben i. p. L. bestimmt erkannt werden, das Uebrige scheint vorherrschend einem festen Mergel anzugehören.

Aehnlich verhält sich auch der mittelgrosse Bestandtheil B, bei welchem neben den Mineraltheilchen nun noch merkwürdiger Weise organische Beimengungen namentlich von *Foraminiferen* sich bemerkbar machten. Nach der unter starkem Brausen erfolgten Einwirkung von Essigsäure bleibt ähnlich, wie bei dem grösseren Theil, ein Rückstand über, der unter dem Mikroskop untersucht Verschiedenes erkennen lässt und zwar:

- 1) kleine, schwarze, vom Magnet gezogene Körnchen — Magneteisen;
- 2) weisse, meist durchsichtige z. Th. auch opake, rundliche und eckige Körnchen, die i. p. L. lebhafte Aggregatfarben, höchst selten farbige Streifchen zeigen, daher weit vorherrschend zum Quarz und in wenigen Splitterchen einem Plagioklas zuzurechnen sind;
- 3) rundliche, agglutinierte röthliche Körnchen, welche undurchsichtig bis durchscheinend, i. p. L. ohne Farbe sind und wahrscheinlich aus gefärbter, amorpher oder derber Kieselsubstanz als Kerne von *Foraminiferen* bestehen;
- 4) grüne Kerne von *Foraminiferen*-Ausfüllungen aus Glauconit gebildet;
- 5) Glimmerschüppchen;
- 6) Schwefelkies.

Den wichtigsten Theil der Eruptionsmasse bildet der feine Schlamm (86,4 % des Ganzen). In Wasser vertheilt und unter dem Mikroskop untersucht, lässt derselbe neben den flockigen Thonklümpchen merkwürdiger Weise eine grosse Menge von *Coccolithen*, *Foraminiferen* und in kleinste Theilchen zersplitterte organische Reste im Versteinerungszustande erkennen. Die *Coccolithen* besitzen grossentheils die gewöhnliche Form der Tiefseeablagerungen. Dazu gesellt sich, wiewohl nur in vereinzelten Exemplaren, eine mir neue Form, welche dadurch aus-

gezeichnet ist, dass sie radial gestreift oder vielmehr gefaltet erscheint. Unter den weisschaligen, im Innern mit fester Gesteinssubstanz ausgefüllten, daher versteinerten und nicht etwa abgestorbenen Exemplaren der Jetztzeit angehörigen Foraminiferen finden sich hauptsächlich zahlreiche *Globigerinen*, seltener *Nodosarien*, *Cristellarien* u. s. w., wie sie in den süditalienischen Tertiärablagerungen vorzukommen pflegen. Unter den übrigen organischen Ueberresten machen sich besonders kleine punktirte Blättchen bemerkbar, wie in den Tiefseeablagerungen, die von *Stachelhäutern* herrühren dürften.

Zersetzt man die mergeligen Theilchen durch Säuren und schlämmt die Flocken weg, so bleiben im Rückstand Splitterchen, die optisch wie Feldspath sich verhalten, ferner Quarzkörnchen, Glimmerblättchen und braune, warzige, nur durchscheinende Klümpchen, welche wahrscheinlich aus gefärbter amorpher Kieselsäure bestehen.

Nimmt man die Schlammmasse im Ganzen, so enthält dieselbe nicht unbeträchtliche Menge an in Wasser löslichen Salzen, nämlich nahezu $\frac{1}{10}$ 0/0.

Diese in Wasser löslichen Salze gehören weit vorwaltend Chlornatrium an. Sie bestehen nämlich aus:

Chlor	57,11
Schwefelsäure	0,48
Salpetersäure	Spur
Natrium	38,86
Kalium	0,07
Bittererde	0,73
Kalkerde	1,68
Kohlensäure und Wasser . .	1,07
	100,00

Der geringe Gehalt an Gyps und an Bittererde ist bemerkenswerth und weist in Uebereinstimmung mit dem Fehlen von Jod jeden Gedanken an ein unmittelbares Abstammen dieser Salze aus dem Meerwasser zurück.

Der feine Schlamm (C) nach dem Auslaugen der ganzen Masse mit Wasser ist zum Theil durch Säuren zersetzbar. Der durch sehr verdünnte Salzsäure zerlegte Theil, hauptsächlich Kalkcarbonat mit etwas kohlensaurer Bittererde, Eisenoxydul und Manganoxydul nebst geringen Mengen von Thon beträgt 18,52 % und besteht aus:

Kohlensaurer Kalkerde	59,85
„ Bittererde	10,30
„ Eisenoxydul	} 25,58
„ Manganoxydul	
Thon	3,65
Eisenoxyd, Kieselerde etc. etc.	1,13
	100,51

Den durch Salzsäure nicht zerlegten Rest fand ich zusammengesetzt aus:

Kieselerde.	58,75
Thonerde	22,59
Eisenoxyd	7,61
Kalkerde	0,08
Bittererde	1,52
Kali	0,90
Wasser	9,00
	100,45

Im Zusammenhalte mit der mikroskopischen Untersuchung ergibt sich hieraus, dass dieser Restbestandtheil als ein eisenhaltiger Thon mit Quarztheilchen und Glimmerschüppchen anzusehen ist. Dazu kommen noch geringe Mengen von Markasit. In diesen Schlamm Massen des Schlammvulkans von Paterno können wir dennoch durchaus keine Betheiligung vulkanischen Materials in der Zusammensetzung erkennen; dieselben gleichen vielmehr einem mergeligen Thon, wie derselbe in den tertiären Ablagerungen der Nachbarschaft vorkommen pflegt. Der Einschluss von *Coccolithen* und

Foraminiferen setzt es zndem ausser allen Zweifel, dass dieses Eruptionsmaterial, was auch immer die Ursache der Schlammvulkane sein mag, die wir hier zunächst noch unberührt lassen wollen, nichts anderes ist, als erweichter, von Wasser durchtränkter und durch Gasspannungen eruptiv gewordener Tertiärthon.

Noch ist zu erwähnen, dass zwar nicht die Gasexhalationen dieses Schlammvulkans, aber doch die der benachbarten sog. Salinelle von Paterno von Ch. St. Claire Deville untersucht⁸⁾ und zusammengesetzt gefunden wurde aus: 97,0 Kohlensäure und 3,0 Sauerstoff mit Stickstoff. Es ist wahrscheinlich, dass auch das Gas des Schlammvulkans von Paterno eine ähnliche Zusammensetzung, vermuthlich mit einer Beimengung von Kohlenwasserstoff besitzt.

Dieses auffallende Resultat der Untersuchung des Eruptionsmaterials bei dem Schlammvulkan von Paterno berechtigt begreiflicher Weise noch nicht, weiter gehende Schlüsse zu ziehen, weil hier möglicher Weise eine rein örtliche Erscheinung vorliegen könnte. Es erwies sich daher wünschenswerth, die Untersuchung in ähnlicher Weise auch noch auf andere Schlammvulkane weiter auszudehnen. Hier ist zunächst die Untersuchung desjenigen Schlammvulkans von Wichtigkeit, welcher gleichsam als Typus aller Schlammvulkane in Europa angesehen wird, des Schlammvulkans „Macaluba“, nach welchem von Manchen alle Schlammvulkane geradezu mit dem Namen Macaluben bezeichnet werden.

Eruptionsmaterial des Schlammvulkans Macaluba bei Girgenti.

Dieser schon aus dem Alterthum bekannte Schlammvulkan bei Girgenti auf Sicilien wird nach Dolomieu's

8) *Annal. d. Chimie et Physique* 3. Ser. 1858. Tom. LII S. 51.
[1879. 2. Math.-phys. Cl.]

Schilderung im Jahre 1781 von einem beiläufig 50 m hohen sehr flach kegelförmigen Hügel von sehr veränderlicher Gestalt bei etwa 925 m. Umfang gebildet. Auf dem abgestumpften Gipfel desselben machen zahlreiche sekundäre konische Aufragungen, die grössten etwa 1 m., die kleinsten oft nur spannenhoch, die eigentlichen Eruptionspunkte aus. Jeder dieser Kegel trägt oben eine trichterförmige Vertiefung, in welcher der flüssige Schlamm bis zum Rande des Kegels aufsteigt, sich hier zu einer halbkugeligen Blase aufbläht und nun, indem die Blase mit starkem Geräusche zerplatzt, theilweise emporgeschleudert wird, theilweise in die Vertiefung zurücksinkt, um nach 2—3 Minuten wieder aufzusteigen und dasselbe Spiel zu wiederholen. Der ausgeworfene Schlamm bildet einen Thonboden, der beim Austrocknen rissig wird und beim Darübergehen schwankt zum Zeichen, dass er nur eine Kruste über einem weichen, halbflüssigen Untergrunde bildet. Bei eintretendem Regenwetter erweichen die Thonmassen und die kegelförmigen Aufragungen der ganzen Region verwandeln sich in einen grossen mit halbflüssigem Schlamm erfüllten Tümpel ⁹⁾.

In etwas anderer Weise beschreibt später (1829—1832) Friedrich Hoffmann ¹⁰⁾ diese Schlammvulkane: „In einer wenig erhöhten Thonebene ist sind auf einer Fläche von etwa 150 Schritt Länge und ungefähr 50 Schritt Breite eine grosse Zahl, etwa 30, zwischen 2—3 Fuss hoher Schlammkegel aufgeworfen. Jeder trägt auf der Spitze eine unbedeutende, selten mehr als fussgrosse trichterförmige Vertiefung, welche mit Salzwasser erfüllt war und stets ward die Oberfläche dieser kleinen Wasser-Ansammlungen von austretenden Gasblasen in brodelnde Bewegung erhalten, wobei sich nicht

9) Dolomieu's Werke sind: *Mémoires sur les isles Pontes et catalogue raisonné de l'Etna* 1788; *Voyage aux îles de Lipari* 1783 und *Sur le tremblement de terre de la Calabre* 1794.

10) Karsten's und v. Dechen's Archiv, Bd. 13; 1839 S. 118. .

selten an den Abhängen der Kegel über die Ränder dieser kleinen Krater kleine Ströme der mit Salzwasser getränkten Thonmasse ergossen, welche das Bild kleiner Lavaströme gleichsam spielend darstellten.“

In neuerer Zeit (1855 und 1856) haben Ch. St. Claire Deville und F. Leblanc auch die Zusammensetzung der aus den Oeffnungen des Macaluba ausströmenden Gase untersucht und gefunden¹¹⁾, dass sie bestehen in der als Nr. 4 bezeichneten Mündung aus:

Kohlensäure . . .	1,15
Sauerstoff . . .	1,70
Stickstoff . . .	6,75
Kohlenwasserstoff .	90,40
	100,00

Diese Gase besitzen demnach eine abweichende Zusammensetzung gegen viele der eigentlichen vulkanischen Exhalationen der Fumarolen, Solfatoren u. s. w., welche durch das Vorkommen von Salzsäuren und schwefeliger Säure gekennzeichnet sind, aber es wird von Deville angenommen¹²⁾, dass zwischen den Gasexhalationen der Schlammvulkane und Salse und jener der echten Vulkane bezüglich ihrer Zusammensetzung ein allmählicher Uebergang stattfindet, so dass es unmöglich sei, sie sicher von einander zu unterscheiden.

Der mir zur Untersuchung vorliegende Eruptionsschlamm von Macaluba besteht aus einer weisslich grauen leicht zerreiblichen Erde vom Aussehen eines tertiären mergeligen Thons. In's Wasser gebracht, erweicht derselbe ziemlich rasch und hinterlässt beim Abschlämmen der feinsten Thontheilchen geringe Mengen gröberer Beimengungen. In diesen erkennt man mit unbewaffnetem Auge und mit Hilfe des Mikroskops kleine Körnchen von Quarz, Glimmerblätt-

11) Annales de Chimie et de Physique 3. Ser. 1858 p. 57.

12) Fouqué et Gorcein, Ann. d. scienc. geologiques T. II, 1870 p. 99.

chen, Splitter von Kalk, Gyps (? Anhydrit), kohlige Theilchen und von Schwefel, dessen Natur durch Verbrennung sicher nachgewiesen wurde. Aehnlich wie in den gröberen Bestandtheilen der Schlammmasse von Paterno finden sich auch hier weisschalige, mit harter Gesteinssubstanz ausgefüllte, also versteinerte *Foraminiferen* in besonders reichlicher Menge, namentlich *Globigerinen*, nach Art der in den benachbarten Tertiärschichten vorkommenden Formen. Es ist hervorzuheben, dass auch hierin jede Spur vulkanischer Gesteinsfragmente oder Mineralien fehlt. In den feinen Schlammtheilen bemerkt man u. d. M. nicht besonders häufig *Coccolithen* in gut erhaltenem Zustande. Zahlreiche Ringfragmente und feinste Kerne deuten darauf hin, dass viele derselben zertrümmert, nur theilweise erhalten worden sind. Auch dieser Schlamm enthält nach den Untersuchungen von Ass. Schwager

1) in Wasser lösliche Salze	3,70
2) durch Essigsäure zersetzbaren Antheil . . .	4,18
3) in Salzsäure " "	24,62
4) in Schwefelsäure " "	13,50
und einen Rest mit	54,00
	100,09

Die in Wasser löslichen Salze sind:

Chlornatrium	3,305
Schwefelsaures Natrium . . .	0,227
" Kalium . . .	0,121
" Kalk . . .	0,033
	3,686

In Essigsäure wird zersetzt:

Kohlensaure Kalkerde . . .	3,80
" Bittererde . . .	0,38

Der durch Salzsäure unter lebhaftem Aufbrausen zersetzte Antheil ist etwas Bittererde und Eisenoxydulhaltiges

Kalkcarbonat neben kleinen Mengen von Thon. Durch Salzsäure wird ferner A und dann durch Schwefelsäure ein Antheil B zersetzt, welche bestehen aus:

	A	B
Kieselsäure . . .	26,36	45,12
Thonerde . . .	23,44	37,48
Eisenoxydul . . .	17,24	3,46
Kalkerde . . .	2,52	0,51
Bittererde . . .	7,92	1,40
Kali	3,18	4,77
Natron	3,91	2,62
Wasser	14,15	4,88
	<u>90,72</u>	<u>100,14</u>

Dieser Bestandtheil ist ein Alkali-reicher, Eisen- und Wasser-haltiger Thon von der Beschaffenheit, wie er häufig in thonigen Sedimentär-Ablagerungen gefunden wird.

Der Rest ist zusammengesetzt aus:

Kieselsäure	78,04
Thonerde	16,81
Eisenoxyd	0,91
Kalkerde	1,23
Bittererde	0,07
Kali	0,83
Natron	1,54
Wasser	1,24
	<u>100,67</u>

Darin scheint neben einem kleinsten Theil durch Schwefelsäure nicht zersetzten Thones die Kieselsäure in Form von Quarzkörnchen vorzuherrschen. Nimmt man die Zusammensetzung des Schlammes ohne Scheidung des in Salzsäure und Schwefelsäure zersetzbaren und Restantheils, so ist dieselbe:

Kieselerde	54,42
Thonerde	19,63
Eisenoxyd	5,17

Kalkerde	3,58
Bittererde	2,36
Kali	1,59
Natron	4,03
Kohlensäure	2,48
Chlor	2,01
Schwefelsäure	0,22
Wasser	4,79
	100,28

Wir gewinnen in diesen Zahlen das Mittel, diese Zusammensetzung mit jenen andern Thongesteinen zu vergleichen, welche man meist nur nach der Bauschanalyse kennt und die wir später erwähnen werden. Wir wollen hier nur vorläufig auf die Aehnlichkeit dieser Zusammensetzung mit jener des von Abich analysirten Eruptionsmaterials des Schlammvulkans von Kumani und mancher Tiefseeschlammablagerungen hinweisen. Von Beimengungen vulkanischer Produkte oder von einer tuffartigen Zusammensetzung war nichts zu beobachten.

Ich wende mich zunächst der weiteren Untersuchung zweier Schlammauswurfsmassen zu, welche aus den durch zahlreiche Salse, Gasexhalationen und Petroleumquellen bekannten Gegenden der Apeninnen bei Modena und Parma stammen, um auch einige Beispiele aus dem nördlichen Italien für den Vergleich zu gewinnen.

Ueber diese norditalienischen Schlammvulkane verdanke ich der Güte des Herrn Bergdirektors E. Stöhr folgende Mittheilung: „Beschränkt man den Begriff „Salze“ näher bloss auf die wirklichen Schlammvulkane, die nicht bloss Kohlenwasserstoffgas ausstossen, sondern auch Schlammströme und Gesteinsfragmente ausschleudern, so finden sich in der heutigen Provinz Modena und Reggio nicht weniger als 8 solcher ausgesprochener Salze, nämlich:

- 1) Die von Monte Gibbio bekannt unter dem Namen der Salse von Sassuolo. Dazu kann man drei benachbarte kleinere Salse rechnen, welche anscheinend selbstständig, doch in innigem Zusammenhange mit der Hauptsalse zu stehen scheinen.
- 2) Die Salse von Nirano, auf die zuerst Brignoli ¹³⁾ aufmerksam gemacht hatte und welche dann von Stoppani beschrieben wurde.
- 3) Die Salse della cintura oder delle prate, die unweit von Mont'Ardone liegend zuerst von Ménard la Groye ¹⁴⁾ beschrieben wurde.
- 4) Die Salse von Pujanello, bereits von Spallanzani ¹⁵⁾ beschrieben und mit dem Namen della Toro della Maina belegt.
- 5) die Salse von Ospedaletto, die bisher noch nicht erwähnt wurde.
- 6) Die Salse von Casalina-Moncerato, ebenfalls noch unbeschrieben, aber bereits von Brignoli erwähnt. Alle die bisher genannten Salse liegen im Modenesischen; die folgenden dagegen in den Provinzen Reggio nämlich
- 7) die Salse von Querzola, von Spallanzani (Querzuola) beschrieben und
- 8) die Salse von Casola, die derselbe Gelehrte irrthümlich als die von Canossa angibt.

Einige der bedeutendsten derselben wollen wir nun näher untersuchen.

13) *Relatione dell'ultima eruzione d. salza di Sassuolo, Reggio 1836.*

14) *Journal de Physique* Vol. 86.

15) *Viaggi delle due Sicille e in alcune parte dell' Appennino* Tom. III 1795 Pavia.

Salsa di Nirano ¹⁶⁾.

Einer der bekanntesten, noch jetzt sprudelnden Schlammvulkane liegt im Süden von Modena und östlich von Sassuolo im Gebiet der astischen Subapenninsmergel unfern von dem kleinen Dorfe Nirano. Herr Director Stöhr theilt mir darüber folgende Einzelheiten mit:

„Ungefähr 1 Kilometer nördlich vom Dorfe Nirano liegt am Südostgehänge eines aus blaugrauen Subapenninsmergeln bestehenden Höhenzugs etwa 40 m. unter dessen Kamm ein kleines, auf drei Seiten von Hügeln umgebenes, nach Süden offenes Hochplateau, das sich schon von ferne von dem ringsumgebenden Grün des reich bepflanzten Landes durch seine Kahlheit und helle Erdfarbe in auffallender Weise abhebt. Auf dieser etwa 400 m. langen und über 100 m. breiten Hochfläche finden sich nun zahlreiche Schlammkegel, welche durch ihre Ausdehnung, durch ihre häufigen und nach Zeit sich einstellenden Erruptionen durch die mächtigen Schlamm- und Gasexhalationen als die grossartigsten aller italienischen Salse, jene der berühmten Macabuba nicht ausgenommen, gelten können. Dieser Complex wird als Salsa di Nirano bezeichnet.

Die kleine Hochfläche wird von einem hellen, blaugrauen erhärteten Schlamm, der von früheren Ergüssen abstammt, gebildet und lässt keine jener scharfkantigen Gesteinsfragmenten wahrnehmen, welche die Salse von Sassuolo kennzeichnet. Die hier aufgesetzten Schlammkegel sind bald bloss unansehnliche Bodenschwellungen von einigen cm. bis $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ m. Höhe aus breiter Basis sich erhebend bald bilden sie steile, 1—3 m. hohe conische Erhöhungen. Bei ihrer Veränderlichkeit ist die Anzahl nicht constant; es wurden deren 15 — 18 gezählt, die jedoch meist nicht alle gleichzeitig thätig sind.

¹⁶⁾ Vergl. Stoppani, J. Petrolii in Italia in Politecnico Vol. II Milano 1866 p. 55 u. fdd.

Auf den Gipfeln dieser kegelförmigen Aufragungen finden sich immer kleine kraterähnliche Oeffnungen, aus denen bei einigen fortwährend Schlamm überfließt und Gasblasen geräuschlos aufsteigen, während bei andern das Ausstossen des Schlammes und die Gasexhalationen in kurzen Pausen intermittirend unter Begleitung eines einer arbeitenden Dampfmaschine ähnlichen stossweisbrausenden Geräusches erfolgt. Jede solche periodische Eruption beginnt mit einem stossweisen Geräusch in der Tiefe, dieses steigert sich nach und nach, bis die Oeffnung mit Schlamm gefüllt ist. Nun fliesst derselbe unter starker Gasentwicklung über, oder aber steigt bei einigen $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ m hoch senkrecht in die Luft springbrunnenartig empor, um dann rasch zurück zu fallen. Dieses Spiel wiederholt sich in Pausen von 30 Sekunden bis 40 Minuten. Wenn man versucht mit einer langen Stange den Grund der Kegel zu erreichen, so erweist es sich, dass man in $1\frac{1}{2}$ – 2 m Tiefe noch keinen Grund erreicht.

Ausser diesen mehr oder weniger thätigen Kegeln befinden sich in der nächsten Nähe nicht weniger als 39 Oeffnungen im Boden, aus denen Gasblasen aufsteigen und Schlamm sich ergiesst; einige derselben waren augenscheinlich in Neubildung begriffen. Daneben liegen weiter noch 5 Tümpel eben im Boden, die theils mit Salzwasser, theils mit flüssigem, grosse Gasblasen ausstossendem Schlamm erfüllt sind. Das Gas ist nicht zu entzündlich. Ihr Durchmesser beträgt durchschnittlich 1 – 2 Meter, nur einer geht über 2 m hinaus.“¹⁷⁾

17) „Um unrichtigen Vorstellungen zu begegnen muss bemerkt werden, dass die Abbildung dieser Salse, welche Stoppani in *Politecnico*, Vol. II. 1866 p. 60 giebt, durchaus nicht zutreffend ist, vielmehr als vom Zeichner völlig falsch dargestellt angesehen werden muss. Denn es lässt sich weder von der Vulkanen-ähnlichen Umwallung noch

Die von Hrn. Direktor Stöhr vorgenommenen Temperaturmessungen (13. Mai 1866 Vorm. 11 Uhr) zeigten 20° C. Luftwärme, genau denselben Grad besass auch die Flüssigkeit in den Tümpeln, während in den Kegelöffnungen die Temperatur zwischen 15—16° C. schwankte.

„In früherer Zeit muss die Eruptionsthätigkeit dieser Salse bedeutend stärker gewesen sein, weil in den umliegenden Feldern noch die Spuren erloschener Wirksamkeit sichtbar geblieben ist.

„Gegen die Erscheinungen bei der Salse von Sassuolo macht sich hier eine Verschiedenheit bemerkbar, welche darauf beruht, dass die Salse von Nirano im Untergrunde auf blaugrauen Subapenninmergel der astischen Stoffe aufsitzt, wesshalb in den Auswurfsprodukten nur Schlamm-massen ohne Gesteinfragmente zum Vorschein kommen, während bei der Salsa di Sassuolo, welche auf der Grenze zwischen den Subapenninmergeln aufliegenden obersten gelben Sand und der untenlagernden Argille scagliose ihre Stelle findet, die letztere noch in das Bereich der Eruption reicht und daher eckige Stücke der Argille scagliose mit zu Tage gebracht werden.“

Das aus der Salsa di Nirano herausfliessende schlammige Material erhärtet zu einer aschgrauen, brüchlichen, zwischen den Fingern schwer zerreiblichen, in Wasser aber sofort zu einem weichen, zuweilen etwas Bitumen enthaltenden Brei zerfliessenden Masse. Durch Abschlämmen derselben erhält man kleine Mengen gröberer Theilchen (3—5%) — Mergelbröckchen, Kalkspathstückchen, Gyps-

von aufsteigenden Dämpfen irgend etwas sehen. Die in Form eines grossen Kraterandes dargestellte Umgebung ist nichts anderes, als der aus Subapenninmergel bestehende Höhenzug, an den sich die kleine Fläche der Salse anlehnt“ (Stöhr).

splitter und in ziemlicher Menge versteinerte *Foraminiferen*, sowie Bruchstücke von Muschelschalen, dann Glauconit- und Sandkörnchen. Auch Echinodermenstacheln kommen, jedoch spärlich vor; dagegen scheinen *Diatomeen* und *Radiolarien* zu fehlen. In den feinen Schlammtheilchen herrschen Thonflocken, Sandsteinkörnchen und undurchsichtige, durch organische Materie gefärbte kalkhaltige Bestandtheile vor. *Coccolithe* sind nicht sehr häufig, aber doch in ansehnlicher Menge vorhanden. Ausserdem bemerkt man Glimmerschüppchen und feinste Quarzsplitterchen. U. d. M. mit Anwendung des polarisirten Lichtes geben sich in dem durch Säuren von den beigemengten Kalktheilchen befreiten Reste weder Feldspath- noch Augit- oder Hornblendestückchen zu erkennen.

Der Schlamm braust mit Säuren behandelt lebhaft auf und gibt mit verdünnter Essigsäure behandelt an Carbonaten ab: 19,83 %

12,84 „ werden weiter durch starke Salzsäure
zersetzt

und 62,80 „ bleiben im Rest, endlich

4,05 „ sind in Wasser lösliche Salze

99,52 %

Die zur Verfügung stehende Menge des Schlamms war zu gering, um eine erschöpfende Analyse der in Wasser löslichen Salze vorzunehmen. Der Hauptsache nach bestehen sie aus Chlornatrium (3,37%), kohlensaurem Natron (0,72%) und Gyps mit schwefelsaurem Natron (Rest).

In dem durch Essigsäure zersetzbaren Antheil wurden an Carbonaten kohlensaure Kalkerde (15,84) mit geringen Mengen von Bittererde und Eisenoxydul sowie mit Spuren von Manganoxydul erkannt.

In dem bleibenden Reste wird ein Theil (12,84%) durch kochende Salzsäure zersetzt und zwar mit:

Kieselsäure	23,66
Thonerde	30,71
Eisenoxyd (Oxydul)	16,53
Kalkerde	12,98
Bittererde	Spur
Kali	2,66
Natron	1,95
Wasser	10,33
	98,82

In dem nach der Behandlung der Salzsäure bleibenden Rest wird ferner durch conc. Schwefelsäure ein Antheil von 27,45% zersetzt und zwar mit:

Kieselerde	53,70
Thonerde	25,14
Eisenoxyd	4,48
Kalkerde	0,24
Bittererde	0,66
Kali	4,87
Natron	1,59
Wasser	8,92
	99,60

In dem Rückstande nach der Behandlung mit Salzsäure dagegen sind enthalten:

Kieselsäure	62,93
Thonerde	22,97
Eisenoxyd	2,34
Kalkerde	0,03
Bittererde	0,39
Kali	2,65
Natron	4,50
Wasser	3,90
	99,79

Abgesehen von Quarz, der sich u. d. M. leicht in zahlreichen Körnchen nachweisen lässt, dann von Glimmer und

Thon nimmt an diesem Reste eine verhältnissmässig natronreiche Beimengung, die fürs erste noch nicht näher zu deuten ist, wesentlichen Antheil.

Die ganze Masse des Schlammes enthält demnach

Kieselsäure	42,48
Thonerde	18,16
Eisenoxyd (Oxydul)	3,46
Kalkerde	10,42
Bittererde	1,90
Kali	2,60
Natron	6,49
Kohlensäure	8,96
Chlor	2,60
Schwefelsäure	Spur
Wasser	3,76
	100,23

Diese Bauschanalyse zeigt, wie wenig sie geeignet erscheint, uns über die Natur der Gemenge, welche im Schlamm vereinigt sind, irgend ergiebige Aufschlüsse zu geben.

Fast in gleicher Weise verhält sich auch die eruptive Schlammmasse der benachbarten berühmten grossartigen, schon von Plinius¹⁸⁾ beschriebenen Salsa von Sassuolo, welche jetzt nur mehr geringe Thätigkeit entwickelt, früher aber sehr bedeutende Schlammergüsse zu Tag brachte.

Herrn Direktor Stöhr verdanke ich die folgende aus seiner eigenen Untersuchung hervorgegangene Schilderung dieses berühmten Schlammvulkans:

„Die Sassuola-Salse ist der Typus für jene Klasse von Schlammvulkanen, bei welchen nicht einfach Schlamm Massen und Gase hervorgestossen, sondern auch Gesteinsfragmente in grosser Menge mit zu Tag gefördert

18) *Historia mundi lib. II cap. LXXXIII.*

werden. Etwas über 2 Kilometer S. von Sassuolo am Monte Gibbio gelegen besteht diese Salse in den meist langandauernden Ruheperioden aus wenigen, unscheinbaren, mit Salzwasser gefüllten Tümpeln, aus denen sich Blasen brennbaren Gases entwickeln. Im stärksten Contrast gegen die anscheinend geringfügige Thätigkeit tritt dagegen die Salse bei den zeitweise gewaltsamen Eruptionsparoxysmen mit den grossartigsten Erscheinungen hervor. Bereits Plinius erwähnt den grossartigen Ausbruch vom Jahre 90 v. Ch. Den letzten vom Jahre 1835 hat der Ingenieur Brignoli di Brunhof vortrefflich beschrieben. Nach dessen Schilderung floss der Schlamm 1835 über 1 Kilometer weit herab und füllte ein kleines Thälchen aus; die ganze Auswurfsmasse schätzt Brignoli auf $1\frac{1}{2}$ Millionen Cubikmeter. In Gegenhalt hiermit steht die zutreffende Darstellung, welche Theod. Fuchs 1875 ¹⁹⁾ gegeben hat.

Diese Schlammströme haben grosse Aehnlichkeit mit Erdrutschen, indem so zahlreiche, scharfkantige Gesteinsbrocken in der Schlammmasse eingebettet sind, dass häufig nur diese Gesteinsfragmente dem Auge sichtbar sind. Diese Trümmer bestehen aus Flysch und Macigno, denen sich Brocken von glauconitischem Sandstein, Splitter von Kalkspath, ferner mit Manganmineralien überrindete Gesteinsstücke und Schwefelkiestheile beigemengt zeigen. Manchmal findet man auch einzelne Stücke des bekannten Serpentin der Apenninen im Schlamm eingewickelt.“

Leider stand mir von dem Schlamm dieser Salsa eine für die chemische Analyse zureichende Menge nicht zur Verfügung. Wir besitzen nun zwar eine Analyse desselben von Spallanzani, ²⁰⁾ welche die folgende Zusammensetzung angiebt:•

19) Sitz. der Acad. d. Wiss. 1875.

20) *Viaggi a. a. O. T. III. p. 336.*

Kieselsäure	49
Thonerde	38
Kalkerde	10,
Magnesia	3
Eisen	3,6

Indess ist diese Analyse zu alt und sichtlich ungenau, um benützt werden zu können.

Was die dürftigen, an Gesteinsbrocken anhaftenden Schlammtheile zu beobachten gestatteten, ist im Wesentlichen nicht verschiedener von den Untersuchungsergebnissen des Schlamm von Torre und lässt auch hierin keine Spur ächten vulkanischen Eruptionsmaterials erkennen.

Schlammmasse vom Schlammvulkan von Torre.

Die aus einem der Hauptsprudel des sog. Schlammvulkans von Torre bei Traversetolo ²¹⁾ in den Apenninen von Parma geflossene, im trocknen Zustande aschgraue, ziemlich leicht zerreibliche thonige Substanz, welche ich der Güte des Hrn. Prof. Strobl in Parma verdanke, erweicht leicht in Wasser und giebt einen zähen, schmierigen Teig, der sich schwierig abschlämmen lässt.

Durch Wasser lässt sich ein Gehalt von 2,755 % löslichen Salzen aus der Schlammmasse ausziehen, welche weit aus der grössten Menge nach aus Chlornatrium mit geringen Mengen an Gyps und Spuren von Bittererdesalzen bestehen. Bei der ausgelaugten Masse konnte ich durch Schlämmen 33,26% gröbere Gemengtheile von dem feinen Schlamm absondern.

Da die gröberen Beimengen aus kleinen Gesteinsbrocken, Sandkörnern und zahlreichen organischen Ueberresten bestehen, so wird diese besonders behandelt und zwar zunächst

21) Stoppani, I. Petrolii, im Politecnico V. II 1866 p. 54.

mit sehr verdünnter Salzsäure, durch welche die Karbonate und etwas Silikat von noch nicht sicher ermittelter Zusammensetzung zersetzt werden und zwar mit 37,87 %, während

62,13 % von Salzsäure unzersetzt blieben.

Der zersetzte Theil besteht aus:

kohlensaurer Kalkerde . . .	33,86
„ Eisenoxydul . .	1,89
„ Bittererde . .	1,92
„ Manganoxydul .	Spur
Thonerdesilikat	0,20
	37,87

Wir wollen zunächst diese gröbere Beimengung näher untersuchen. Wie schon bemerkt, sind in derselben zahlreiche organische Ueberreste enthalten; besonders zahlreich findet man weissschalige Steinkerne von *Foraminiferen*, wie solche in den benachbarten pliocänen Tertiärschichten vorkommen. Darunter machen sich besonders *Globigerinen* durch ihre Häufigkeit bemerkbar. Daneben sieht man kleine Fragmente von Muschelschalen, von *Echinodermen* u. s. w. Weder *Diatomeen* noch *Radiolarien* wurden angetroffen. Quarzklümpchen und Glauconitkörnchen sind als *Foraminiferenkerne* zu deuten. Um die Mineralbeimengungen von den begleitenden mergeligen Theilchen zu befreien, wurde die Masse, wie erwähnt, mit Salzsäure behandelt. In dem zurückbleibenden Reste konnten nur Quarzkörner, Glimmerblättchen und undurchsichtige Thonbrocken deutlicher unterschieden werden. Weder Augit noch Feldspatheilchen liessen sich i. p. L. auffinden.

Der gesonderte feine Schlamm, der 66,74 % des ausgelaugten Materials ausmacht, wurde gesondert weiter untersucht. Beim Behandeln mit stark verdünnter Salzsäure brauste derselbe lebhaft, indem sich die darin enthaltenen Karbonate zersetzten.

In dem bei 100° C. getrockneten Feinschlamm fand ich durch verdünnte Salzsäure zersetzbar 27,095 % und zwar

kohlensaure Kalkerde . .	22,325
„ Eisenoxydul . .	2,314
„ Manganoxydul . .	0,154
„ Bittererde . .	1,992
Thonsilikat	0,210
	27,095

Der unzersetzte Rest enthält:

Kieselerde	68,50
Thonerde	} 20,56
Eisenoxyd	
Kalkerde	Spuren
Bittererde	0,82
Kali	} 3,55
Natron	
Wasser	6,69
	Summe 99,56

Unter dem Mikroskop verhält sich dieser Rest, ähnlich wie jene der süditalienischen Schlammassen. Neben feinen Quarzkörnchen bemerkt man Glimmerblättchen, opake Thonklümpchen, trübe, durch organische Materie gefärbte Knöllchen, welche Ausfüllungen von Foraminiferenkammern zu entsprechen scheinen und Thonflocken, während in der noch nicht mit Salzsäure behandelten Masse zahlreiche *Coccolithe* sichtbar sind. Fragmente von vulkanischen Mineralgemengtheilen oder von zertrümmertem vulkanischem Gestein, von Asche, Bimstein oder Lava sind nicht vorhanden.

Aus diesen Untersuchungen geht zur Genüge hervor, dass auch die Schlammassen der Salsen, von welchen viele der äusseren Erscheinung nach von den sog. Schlammvulkanen nicht verschieden sind, im nördlichen Italien nur aus aufgeweichtem Thon

und Mergel der zunächst benachbarten und im Untergrunde vorhandenen tertiären Schichtgesteinen der tortonischen und astischen Stufen bestehen. Von einer Betheiligung vulkanischer Produkte an der Zusammensetzung des durch Gasexhalationen emporgehobenen und z. Th. ausgestossenen Materials ist nichts wahrzunehmen.

Gleichwohl berechtigen diese Beobachtungen noch keineswegs zu dem Schlusse, dass, wenn auch die sog. Schlammvulkane Italiens wenigstens in ihrer Eruptionsmasse keine vulkanischen Produkte zu Tage fördern, nicht in andern Gegenden ein direkte Betheiligung der letzteren an der Bildung der Schlammmasse stattfinden könne. In dieser Beziehung verdienen vor allem die durch die klassischen Arbeiten Abich's so genau bekannt gewordenen Schlammvulkane der Umgegend des caspischen Meeres umsomehr der Beachtung, als Abich²²⁾, bei der Untersuchung der Schlammmassen aus diesen Länderstrichen zur Annahme gelangte, dass sie in gewissen Theil — in einer mineralogischen Grundsubstanz — eine Trachyporphyr-artige Zusammensetzung besitzen und aus einer Umbildung vulkanischen Gesteins hervorgegangen seien. Die Eruptionsmasse des Schlammvulkans von Kumani ist nach ihm z. B. zusammengesetzt aus:

- 1) kohlensaure Erden und Salze 14,76 %
- 2) Palagonit-Substanz . . . 37,22 „
- 3) Trachyporphyr-Substanz . 47,88 „

Es schien daher von sehr grosser Wichtigkeit, gerade diese Schlammmassen mit den soeben beschriebenen in Vergleich ziehen zu können.

Durch die zuvorkommende Freundlichkeit des geehrten Forschers bin ich in die angenehme Lage versetzt worden,

22) Ueber e. im caspischen Meere erschienene Insel, *Mém. de l'Acad. d. scienc. d. St. Petersbourg* VII. Sér. Bd. VI. S. 75 u. 111.

von denselben Schlammmassen des Schlammvulkans von Kumani sowie von anderen Vorkommnissen der caspischen Region Untersuchungsmaterial zu erhalten. Für diese Förderung meiner vergleichenden Beobachtungen über diesen Gegenstand fühle ich mich dem gelehrten Geologen im höchsten Grade verpflichtet.

Schlammmasse des Schlammvulkans von Kumani.

Bezüglich der näheren Umstände und geologischen Verhältnisse, unter welchen dieses Material zu Tage gefördert wurde, darf ich hier auf die ebenso erschöpfende, wie gründliche Schilderung Abich's selbst (a. a. O. S. 7 u. fdd.) verweisen. Nur zur ganz allgemeinen Orientirung sei erwähnt, dass im Mai 1861 eine neue Insel unfern Baku auftauchte und Schlammausbrüche mit Gasexhalationen zeigte, wie sie so häufig in dem benachbarten Festlande vorkommen. Das Gerippe der Insel bestand aus Tertiärgestein, wie es in den benachbarten Küsten auftritt, aber dasselbe bildete nur ein Trümmerhaufwerk, über welches ein zähflüssiger, oben erhärteter, in der Tiefe noch weicher, eruptiver Thonschlamm sich ausbreitete. Nach kurzem Bestande versank die Insel wieder.

Dieser Eruptivschlamm ist trocken genau von dem Aussehen und der Beschaffenheit desjenigen der italienischen Schlammvulkane. In Wasser leicht erweichend verwandelt er sich in einen zähen Thonteig und giebt an das Wasser lösliche Salze ab, die an Menge indess unbeträchtlich (0,679 %) sind und bei der geringen zur Verfügung stehenden Menge des Materials nicht sehr genau bestimmt werden konnten. Es herrscht darin schwefelsaures Natron vor (0,510), dazu kommt Chlornatrium (0,098) und schwefelsaures Kali (0,071), Chlornatron und schwefelsaure Salze gleichfalls darin vor.

Die ausgelaugte Schlammmasse als Ganzes ist nach der Analyse von Ass. Ad. Schwager (I), welche jener von Abich (II) des Vergleichs wegen beigesetzt ist, zusammengesetzt aus:

	I	II
Kieselsäure . . .	54,53	53,26
Thonerde . . .	20,76	12,93
Eisenoxyd . . .	4,69	4,63
Eisenoxydul . . .		2,10
Manganoxydul . .	—	0,14
Kalkerde . . .	6,34	6,79
Bittererde . . .	2,10	3,48
Kali	1,35	2,03
Natron	1,34	3,42
Kohlensäure . . .	6,46	6,33
Chlor	—	0,10
Schwefelsäure . .	—	0,24
Wasser	2,80	4,60
	<u>100,37</u>	<u>100,05</u>

Trotz einiger Differenzen, welche vermuthlich von dem verschiedenen Grad, bei welchem die Masse getrocknet wurde, und von verschiedenen Trennungs- und Berechnungsmethoden herrühren mögen, ist so viel aus diesen Analysen zu ersehen, dass es wesentlich dieselbe Substanz ist, mit welcher die Untersuchung vorgenommen wurde.

Wir verfolgen zunächst die chemische Analyse weiter:

Durch sehr verdünnte Säuren (Essigsäure) lassen sich die Karbonate wegnehmen. Sie betragen 11,67 %

	nach Schwager	nach Abich
Kohlensaure Kalkerde .	8,91	10,60 %
„ Bittererde .	1,76	3,50 „
	<u>10,57</u>	

Durch die Behandlung der übrigbleibenden Masse mit

concentrirter Salzsäure zersetzt sich ein Gemengtheil von 26,50 %, aus:

		nach Abich aus
Kieselerde . . .	35,61	42,02
Thonerde . . .	22,23	16,48
Eisenoxyd . . .	16,12	10,65
Eisenoxydul . .	—	5,03
Manganoxydul .	—	0,37
Kalkerde . . .	4,87	2,56
Bittererde . . .	5,19	4,53
Kali	1,29	2,14
Natron	3,32	3,86
Wasser	11,80	12,36
	<u>100,43</u>	<u>99,94</u>

Die Differenzen dieser Analysen beruhen wohl auf der Anwendung verschieden starker Säure und verschieden langer Behandlung. Abich zieht aus diesem Ergebniss der Analyse den Schluss, indem er den durch Salzsäure zersetzbaren Antheil als eine einheitliche Substanz ansieht, dass dieser Bestandtheil dem Palagonit entspreche. Ich kann dieser Annahme nicht beipflichten.

Schalten wir hier zunächst einige Resultate der optischen mikroskopischen Untersuchung ein und zwar des ursprünglichen Materials und nach der Wegnahme der Karbonate durch sehr verdünnte Säure. Betrachtet man zunächst das Material im Ganzen unter dem Mikroskop, so nimmt man neben der Hauptmasse undurchsichtiger, feinkörniger Flöcken und Klümpchen, wie sie allen Thonmassen eigen sind, Sandkörnchen, Glimmerschüppchen, Kalkspathstückchen, kleine Schwefelkieskryställchen, Glauconitkörnchen und zwar sehr spärliche, aber doch deutlich kenntliche *Coccolithen* wahr. Sie könnten natürlich ebenso gut, wie die Kalkspathsplitterchen und Glauconitkörnchen aus dem aufgelockerten Tertiärgestein des Unter-

grundes stammen und sich nur spärlich, wie Abich wohl annimmt, sekundär den Palagonitmassen beigemengt haben. Denn die Karbonate stammen unter keinen Umständen aus dem vulkanischen Material.

Nach der Behandlung mit verdünnter Säure und Hinegnahme der Karbonaten (auch der *Coccolithen*) zeigt der Rückstand des Schlammes keine wesentlich veränderte Zusammensetzung. Ich habe mit grosser Aufmerksamkeit das Material u. d. M. in Bezug auf die An- und Abwesenheit von palagonitartigen Beimengungen unter vergleichender Untersuchung typischer Palagonittuffe beobachtet, ohne auch nur verdächtige Fragmente wahrzunehmen. Splitterchen von Feldspath kommen zwar vor, wie solche übrigens auch in den dem Schlamm beigemengten Bruckstücken tertiärer Schichten aufzutreten pflegen. Da überdiess der durch starke Salzsäure zersetzbare Antheil seiner Zusammensetzung nach nicht wesentlich abweicht von jenem des durch Salzsäure zerlegbaren Theils mancher offenbar sedimentärer Thonmassen, bei denen von einer Beimengung vulkanischer Produkte nicht die Rede sein kann und auch keine Spur der letzten optisch nachweisbar sind, so scheint es naturgemässer, auch bei dem Schlamm von Kumani den durch starke Salzsäure zerlegbaren Gemengtheil einem wasserhaltigen Thonerdesilikate zuzuschreiben, das allerdings mineralogisch noch nicht genau festgestellt ist, aber wohl in fast allen sedimentären Thonarten wiederkehrt und dadurch eine gewisse Selbstständigkeit gewinnt. Man könnte an eine Zeolith-ähnliche Substanz denken.

Der durch Schwefelsäure zerlegbare Antheil ist mineralogisch gleichfalls noch undefinirt; aber auch hier dürfte die Beständigkeit des Auftretens ähnlich zusammengesetzter, blättriger Schuppen in fast allen sedimentären Thongesteinen auf einen bestimmten, vielleicht Glimmer-ähnlichen Bestandtheil hindeuten. Die mikroskopische Untersuchung vor und

nach der Einwirkung der Schwefelsäure giebt jetzt noch keine genügende Auskunft hierüber. Der durch Schwefelsäure zersetzbare Theil (44,50 %) besteht aus

SiO ₂	. . .	5,84
Al ₂ O ₃	. . .	28,70
Fe ₂ O ₃	. . .	5,68
CaO	. . .	0,51
MgO	. . .	1,23
K ₂ O	. . .	3,20
Na ₂ O	. . .	1,49
Wasser	. .	4,53

Summe 100,65

Endlich der Rest enthält:

Kieselsäure	. . .	85,79
Thonerde	. . .	7,82
Eisenoxyd	. . .	0,32
Kalkerde	. . .	0,42
Kali	. . .	2,20
Natron	. . , . .	2,75
		99,30

Der letzte Rest, der noch nach der Einwirkung der Schwefelsäure bleibt, enthält nachweislich viele Quarztheilchen. Dazu kommen noch unzersetzt gebliebene Thonbröckchen und einzelne Feldspathkörner, welch' letztere mikroskopisch sich zu erkennen geben.

Von grossem Vergleichswerthe ist die Untersuchung der im Eruptivschlamm von Kumani eingeschlossenen, festeren Gesteinsstücke, welche, wie vorher erwähnt, als Trümmer gleichsam schwimmend in den fliessenden Schlamm eingewickelt sind.

Der röthlich graue Thon, der manchem *Argilla scaliose* aus dem Apennin ähnlich ist, lässt sich zerlegen in:

- I. 11,0 % Karbonate (hauptsächlich Kalk),
- II. 26,5 „ in starker Salzsäure zerlegbare Theile

III. 44,5 „ in Schwefelsäure zerlegbare Theile,

IV. 18,0 „ rückständigen Rest.

Die Analyse dieser Theile ergab als Bestandtheile:

	Bauschanalyse	II mit Salzsäure	III mit Schwefelsäure	IV Rest
Kieselsäure .	50,56	35,61	54,12	93,39
Thonerde .	15,10	22,23	25,45	4,02
Eisenoxyd .	8,30	16,12	6,36	0,40
Kalkerde .	6,09	0,41	0,27	—
Bittererde .	3,16	9,19	2,02	—
Kali . . .	2,71	1,29	5,42	1,14
Natron . .	1,20	3,32	0,99	0,99
Kohlensäure	4,84	—	—	—
Wasser . .	6,47	11,80	—	—
	98,43	99,97	100,09	99,94

Indem man diese Zahlen mit jenen vergleicht, welche bei dem Eruptivschlamm von Kumani erhalten wurden, so ergibt sich zwar keine absolute Uebereinstimmung, aber doch eine solche Aehnlichkeit, dass sich die Entstehung des Schlammes aus der Auflockerung der auf ähnliche Weise, wie der feste Thon, zusammengesetzten tertiären Schichtgesteinen ungezwungen ableiten lässt.

Dieses wird auch durch die optisch mikroskopische Analyse bestätigt. Die durch Auflockerung des thonigen Gesteins erhaltene Masse verhält sich in den verschiedenen Stadien der Einwirkung von Säuren in ganz gleicher Weise, wie der Eruptivschlamm, nur dass in dem letzten Reste deutlich die Quarzkörnchen häufiger vorkommen. Es ist besonders hervorzuheben, dass auch in dieser in Wasser erweichten und zerdrückten Thonmasse nicht mehr und nicht weniger Spuren von Beimengungen vulkanischen Ursprungs oder von Mineralien aus Trachyt getroffen wurden, als solche in dem Eruptivschlamm von Kumani etwa sich annehmen liessen. Dabei darf daran erinnert werden, dass

in dem jetzt noch in der Tiefsee sich ablagernden rothen Thon ²³⁾ vielfach Splitter von Sanidin, Augit, Hornblende, Olivin und Magneteisen angetroffen werden, die von vulkanischen Ausbrüchen weit verschwemmt worden sind.

Eine zweite Probe von Eruptivschlamm, welche ich der Güte des Hrn. Abich aus den caspischen Gegenden verdanke, stammt von den jüngeren Schlammströmen der Insel Bulla. Auch über das Einzelne der Verhältnisse, welche sich mit den Eruptionen der Schlammvulkane dieser Insel verbunden zeigen, finden sich die ausführlichsten Schilderungen in Abich's interessantem Bericht (a. a. O. S. 19 u. fig.) Das Ganze dieser Art der Auswurferscheinungen und Gasauströmungen gleicht so sehr dem bei dem Schlammvulkan von Macaluba beschriebenen, dass man nahezu die eine für die andere setzen könnte. Auch auf der Insel Bulla bildet dislocirtes, thoniges, tertiäres Trümmergestein den Untergrund, auf dem sich 2 — 2 1/2 m hohe spitze Auswurfskegel erheben. Aus ihnen werden in Zwischenräumen Gase und Thonschlamm ausgestossen, wobei sich ein Geruch nach Naphta und Schwefelkohlenstoff (?) bemerkbar macht.

Die Schlammmasse von Bulla lässt sich abgesehen von einem geringen Gehalt an in Wasser löslichen schwefelsauren und Chlor-Salzen zerlegen in

- | | | |
|------|---------------|--|
| I. | 13,36 % | Karbonate (von Kalk-Bittererde und etwas Eisenoxydul), |
| II. | 14,44 „ | in starke Salzsäure zersetzbaren Theilen, |
| III. | 72,20 „ | im Rückstand bleibenden Restantheil. |
| | <u>100,00</u> | |

23) Voyage of the Challenger, The Atlantic Vol. II p. 379 u. fdd.

Die Bauschanalyse ergab, als Zusammensetzung:

Kieselerde	53,36
Thonerde	17,26
Eisenoxyd	3,76
Kalkerde	6,70
Bittererde	1,37
Kali	2,72
Natron	2,32
Kohlensäure	6,01
Wasser	6,56
	100,06

Ein Vergleich mit der Zusammensetzung des Schlammes von Kumani und des in diesem eingehüllten thonigen Gesteins lässt erkennen, dass eine Uebereinstimmung herrscht, wie sie sich bei so vielfach vermengten Gesteinsmassen kaum grösser erwarten lässt. Es ist auch hier die grosse Aehnlichkeit mit der Zusammensetzung der tertiären Ablagerungen von grossem Gewichte.

Bei der Untersuchung unter dem Mikroskop lassen sich, abgesehen von gröberen festen Mergelstückchen, Quarz-, Gyps- und Glauconit-Körnchen, sowie von Glimmerblättchen, Schwefelkies, Magneteisenstückchen und deutlich auch wieder *Coccolithe* erkennen, die allerdings nur spärlich beigemengt sind. *Foraminiferen* und sonstige kleinste organische Ueberreste fehlen auch in diesem Schlamme.

Nach der Behandlung mit Salzsäure lassen sich einzelne Körnchen deutlicher unterscheiden, die eine optische Reaktion auf Feldspath geben. Sehr vereinzelt kommen ausserdem bräunlich gelbe Splitterchen vor, die auf Augit bezogen werden können.

Die durch Salzsäure zerlegten (II) und die Resttheile (III) sind zusammengesetzt aus:

	II	III
Kieselerde . . .	31,25	67,67
Thonerde . . .	29,44	18,06
Eisenoxyd . . .	12,35	2,74
Kalkerde . . .	—	0,09
Bittererde . . .	4,23	0,05
Kali	1,45	3,47
Natron	6,11	1,99
Wasser	15,29	6,03
	100,12	100,04

Der in Salzsäure zersetzbare Antheil zeigt weniger Uebereinstimmung mit den vorausgehenden Proben, doch ist eine gewisse Analogie auch hierbei nicht ganz zu verkennen. Es muss in dieser Beziehung im Allgemeinen bemerkt werden, dass die durch die Behandlung mit der Säure gewonnenen Theilanalysen an sich wenig Uebereinstimmung erwarten lassen, weil die Zersetzbarkeit je nach der Stärke der Säure, der bei der Behandlung in Anwendung gebrachten Temperatur und besonders nach der Dauer der Einwirkung immer einer gewissen Schwankung unterliegt. Es gilt dies auch bei der Anwendung der Schwefelsäure, welche auch bei dieser Probe versucht wurde, ohne die Wirkung quantitativ auszuschneiden. Hierbei erlitten einzelne vorher unangegriffene Körnchen eine theilweise Zersetzung, sie wurden weiss und undurchsichtig, ohne jedoch sich in Kalilauge zu lösen. Es dürften diese Körnchen wohl als Feldspath, vielleicht als Labrador anzusehen sein. Die Glimmerblättchen erliegen einer völligen Zersetzung. Im Ganzen scheint mir nicht zweifelhaft, dass auch diese Schlammmasse nicht aus vulkanischem Zerreibsel besteht, sondern, wie jene in Italien, aus erweichtem thonig-mergeligem Tertiärgestein sich gebildet hat.

Es steht uns ferner aus der caspischen Schlammvulkanen-Region eine chemische Analyse zum Vergleiche

bereit, welche C. John ²⁴⁾ mit der Schlammmasse von Mese-Ser (Sygilpyriy Abich's) bei Baku vorgenommen hat. Die Zusammensetzung ist folgende:

Kieselsäure	70,64	} 81,90 % in Salzsäure unlöslich
Thonerde	6,96	
Eisenoxyd	2,13	
Kalkerde	0,49	
Bittererde	0,29	
Alkalien und Verlust	1,39	}
Eisenoxyd	5,75	
Thonerde	2,55	
Kohlensaure Kalkerde	5,23	
„ Bittererde	1,04	
Verlust, Alkalien etc.	3,53	}
	100,00	

Diese Zusammensetzung zeichnet sich durch den relativ hohen Gehalt an Kieselsäure aus, welcher den der übrigen bis jetzt untersuchten Schlamm Massen weit übersteigt und daher auf ganz besondere Umstände hinzuweisen scheint, unter deren Herrschaft der Schlammvulkan von Mese-Ser steht. Vielleicht, dass vorherrschend sandige Tertiärschichten das Material zu diesem Schlamm geliefert haben. Dass sehr sandige tertiäre Schichtgesteine in dortiger Gegend vorkommen, beweisen die Stückchen, welche ich gleichfalls durch die Güte des Hrn. Staatsrath Abich erhielt. Doch scheinen thonig-mergelige Bildungen auch hier vorzuherrschen.

Zwei Gesteinsproben aus den Schichtenreihen, welche die Basis des höchsten Schlammvulkans des Kaukasusgebiets, des Toragai ²⁵⁾, bilden und in tiefen Schluchten an dessen Fusse zu Tag treten, gleichen dem äusseren Aussehen nach

²⁴⁾ Jahrb. d. k. k. geolog. Reichsanstalt in Wien 1877 Bd. XXVII S. 437.

²⁵⁾ Siehe Abich a. a. O. S. 26 u. 87.

die eine unserm festeren Flyschmergel (A), die andere dem Flyschmergelschiefer (B). Beide Proben wurden der Analyse unterzogen und erwiesen sich anstehend aus:

	A	B
I. Karbonaten	24,07 ‰	35,52 ‰
II. In Salzsäure zersetzbar	14,03 „	15,68 „
III. Rest	61,90 „	48,80 „
	100,00 ‰	100,00 ‰

Weiter bestehen diese Gesteine im Ganzen dann in dem Antheile II und III aus:

	Im Ganzen		In ClH zersetzbar		Restantheil	
	A	B	A II	B II	A III	B III
Kieselssäure	39,50	40,22	23,71	14,75	58,58	77,45
Thonerde	20,50	13,94	37,85	46,34	24,51	12,98
Eisenoxyd	3,25	1,36	10,35	3,01	3,12	1,86
Kalkerde	14,20	15,24	0,14	—	0,35	0,34
Bittererde	0,96	4,35	4,99	—	0,13	0,49
Kali	2,89	1,41	1,50	1,51	4,32	2,32
Natron	1,45	1,65	4,14	4,20	1,50	1,88
Kohlensäure	10,95	16,35	—	—	—	—
Wasser	6,05	6,11	15,64	30,06	6,21	2,36
	99,75	100,63	98,32	99,88	98,72	99,60

Diese Gesteine lassen sich unter die an Karbonaten ärmeren Mergelgesteine einreihen, wie solche auch in der Flyschregion vorzukommen pflegen, obwohl die letzteren durchschnittlich entweder kalkreicher sind oder aber entschieden Sandsteinbildungen entsprechen.

Eine schon dem äusseren Aussehen nach tuffige Gesteinsprobe von gleicher Lokalität bildet nach Abich Zwischenlagen in ähnlichem Mergelschiefer. Bei Behandeln mit Salzsäure braust die Masse ziemlich lebhaft

und es zersetzt sich neben einem an Eisenoxydul reichen Kalkkarbonat noch eine Zeolith-ähnliche Beimengung. Im Rückstand verbleibt eine körnige Masse mit zahlreichen Quarzkörnchen, vielen Splittern von Feldspath und mit deutlich dichroitischen braunen Fragmenten, welche zum Augit zu gehören scheinen und Magneteisentheilchen umschliessen. Es ist diess ein offenbar aus vulkanischem Tuff oder durch niedergefallene vulkanische Asche entstandenes Sedimentgebilde.

Noch bestimmter erweist sich die Einlagerung von Zwischenlagen vulkanischen Ursprungs an einer weissen, leicht zerreiblichen mehrlartigen Masse, welche Abich ²⁶⁾ als Tuff vom Abhange des Schlammvulkans Toragai beschreibt. Die mir gütigst überschickte Probe verhält sich unter dem Mikroskop ganz genau so, wie vulkanische Asche und gleicht in auffallender Weise dem von mir untersuchten vulkanischen Flugstaub ²⁷⁾, welcher von Island her über ein Theil der skandinavischen Halbinsel sich verbreitete. Zerriebenem Bimsstein ähnlich bilden glasartig-helle Splitter und fadenförmige Bruchstücke, welche selten dunkle Punkte, häufig dagegen Luftbläschen enthalten und jene eigenthümliche Streifchen erkennen lassen, wie sie bei allen geflossenen Laven vorkommen, fast ausschliesslich die staubartig feinen Theilchen dieser Gesteinssubstanz. In der mir vorliegenden Probe konnte ich weder Glimmerblättchen, noch Hornblende oder Augit beobachten. I. p. L. erweisen sich alle Theile als glasartig-amorph, sehr vereinzelt erscheinen hier und da kleinste doppelt brechende Pünktchen ohne deutliche Umrisse, welche gegen die Hauptmasse verschwindend gering erscheinen. Nach diesem Verhalten entspricht die Masse einer vulkanischen Asche.

26) A. A. O. S. 87 u. fdd.

27) Ausland 1875 Nr. 24 S. 466.

Abich theilt das Resultat seiner Analyse dieser Masse mit, welche folgende Zusammensetzung nachweist:

Kieselerde	65,21
Thonerde	15,95
Eisenoxyd	2,29
Kalkerde	1,53
Bittererde	2,17
Kali	1,70
Natron	4,55
Chlor	0,25
Wasser	5,87
	99,52

Abich vergleicht diesen Tuff (vulkanische Asche) mit dem von Karbonaten und in Wasser löslichen Salzen getrennten Antheil des Schlammes von Kumani und als nach gleichen Verhältnissen zusammengesetzt. Demgemäss nimmt er darin eine Vermengung

von 18,65 % Palagonit-Substanz
und 81,35 „ Trachyporphyr-Substanz an.

Das Verhalten unter dem Mikroskop lässt jedoch eine Mengung verschiedener Substanzen darin nicht wahrnehmen. Am nächsten kommt nach Zusammensetzung und Beschaffenheit diesem Tuff von Torofai das schlackige Auswurfsmaterial von Santorin. Diese Masse von Torogai dürfte daher wohl gemäss ihrer Einlagerung zwischen tertiärem Schichtgestein als ein Absatz vulkanischer Asche anzusehen zu sein, welche zwar das Bestehen vulkanischer Thätigkeit in der Nachbarschaft während der Bildung des tertiären Schichtgesteins beweist, aber ausser aller Beziehung zu der Erscheinung der Schlammvulkane selbst steht.

Leider ist mir zur Zeit kein Material der zahlreichen, aus anderen Gegenden bekannten Schlammvulkane zur Verfügung gestellt. Soweit aber die Schilderungen erkennen lassen, herrschen bei den meisten ganz ähnliche

Verhältnisse, wie wir solche bei den Schlammvulkanen Italiens und der caspischen Region so eben kennen gelernt haben.

Bekannt sind die zahlreichen Schlammvulkane der Halbinsel Taman zwischen schwarzem und asow'schem Meere und bei Kertsch der Krim. Aus zahlreichen kleinen Kegeln erfolgen hier häufig Schlamm- und Gas-Eruptionen. Der ausgeworfene Schlamm ²⁸⁾ wird als eine blaugraue thonige Masse untermenget mit Fragmenten von schiefrigem Thon, feinkörnigem Sandstein und Naphta geschildert, während die ausströmenden Gase wesentlich aus Kohlenwasserstoff bestehen soll. Wir dürfen darin unbedenklich die gleiche Beschaffenheit voraussetzen, wie in dem Schlamm des caspischen Meeres.

In tieferem Binnenlande kommt, soviel bekannt, eine Art Schlammvulkan mit periodenweise eintretenden Schlamm- auswürfen und Gasexhalationen in Siebenbürgen ²⁹⁾ im sog. Höllenmorast (Pokolsár) in Kovasna, N. von Kronstadt vor. Auch hier tritt salzhaltiges Wasser mit auf und es scheinen selbst bituminöse Beimengungen nicht ganz zu fehlen. Dass es sich hier um vulkanische Eruptionen nicht handeln kann, bedarf keiner weiteren Erörterung.

Um gleich hier die europäischen Vorkommnisse noch weiter anzuführen, sei erwähnt, dass auch auf Island, dem Land der Eruptionen, Schlammvulkane auftreten. Der

28) Abriuzkji, Nov. Ann. de Voyage II. 129 u. Erdmann's Arch. XIV. 68; Engelhardt u. Parrot, Reise in die Krym. I. T. 71; Verneuil in Mém. d. l. soc. geolog. III. p. 4 u. Huot, Voyage d. l. Russie mérid. II 569; Abich, Geol. d. Halbinsel Kertsch u. Taman in Mem. d. l'Ac. d. St. Petersburg 1860.

29) v. Hauer und Stache. Geol. von Siebenbürgen S. 287 und v. Hauer Geologie 4. Aufl. S. 89.

Schilderung W. Watt's ³⁰⁾ ist zu entnehmen, dass in der Nähe des Krafla (Krabla) und des Myvatn (Mückensee) der Namafjöl einen Zug von Solfataren beherbergt, und dass hier das Tuffgestein zu Thon zersetzt, und mit mehlartigem Schwefel vermengt ist. Heisses Wasser und zischende Dampfstrahlen dringen auf Spalten reichlich hervor. Auf der Gegenseite dieses Höhenzugs nun finden sich Schlammvulkane in Form von kesselförmigen Vertiefungen, die mit blaugrauem, oft sehr zähem Thon erfüllt sind. Durch Gase wird derselbe in kochende Bewegung versetzt und stossweise hoch in die Luft geschleudert. Aehnliche, jetzt nicht mehr thätige Kessel, welche theilweise zerstört sind, zeigen von der grossen Verbreitung dieser Eruptionerscheinungen auf Island. Es scheint diess ein Beispiel zu sein, dass auch aufgelockertes und theilweise zersetztes, durch Vermengung mit Wasser zu einem thonigen Schlamm umgewandeltes vulkanisches Material, wie in den bisher beschriebenen Fällen, mergeliges Schichtgestein, die Masse zu liefern vermag, aus welchem der Eruptivschlamm gewisser Schlammvulkane bestehen kann. Möglicher Weise sind aber auch hier tertiäre Ablagerungen betheiligt, welche, wie bekannt, auch auf Island nicht fehlen. Es lässt sich nur aus der näheren Untersuchung der Schlammmasse selbst, die mir leider nicht zur Verfügung stehen, mit Sicherheit ermitteln, welcher Fall hier vorliegt.

Sehen wir uns nun weiter nach Schlammvulkanen in anderen Landstrichen um, so ist zunächst Hinterindien zu erwähnen, welches auf der Insel Cheduba ³¹⁾ an dem Küstenstrich Arrakan an der Ostseite der Bai von Bengalen dieselben Erscheinungen anzuweisen hat, wie die caspischen Länder und Italien. Kleine bis Meter hohe Kegelerheb-

30) W. Watts, Across the Valma- Jokull, or Scenes in Iceland. 1877.

31) Halsted, in The Edinb. new philos. Journ. 1852 V. LII. p. 349.
[1879. 2. Math.-phys. Cl.]

ungen sind hier häufig zu finden, welche besonders heftig bei Regenwetter Schlamm, heisses Wasser und Gase ausstossen. Die letzteren können entzündet werden und scheinen demgemäss hauptsächlich aus Kohlenwasserstoff zu bestehen, was um so wahrscheinlicher ist, als in der Nähe wirkliche Naphtaquellen bekannt sind. Auch in diesem Falle ist eine direkte Betheiligung vulkanischer Erscheinungen nicht nachweisbar. Weiter erwähnt Férussac ³²⁾ in Birma bei Dembo 12 kleine Schlammvulkane von 6–7 m Höhe und Vertiefungen von 2–3 m im Umfang, aus denen blaugrauer Thonschlamm unter Ausströmen von dunkel gefärbten Gasen ausgeworfen wird. Salzquellen und Naphta stehen damit in Verbindung.

Hieran schliessen sich die von Juhnshuhn ³³⁾ ausführlich beschriebenen Schlammvulkane Java's, welche z. Th. als blosse Schlammtümpel und Gasquellen anzusehen sind, wie der kesselförmige Sumpf Danu, Tji-Ujah, und die Schlammquellen auf Pulu-Semao, Pulu-Kambing und Pulu-Roti. Berühmt sind die ächten Schlammvulkane von Kuwn und Mendang-Rawasan, welche ausserhalb des vulkanischen Gebiets in Ebenen auf Alluvialboden zwischen aus tertiärem Mergel- und Kalk-Gestein bestehenden niederen Hügeln und in der Nähe des sich von selbst entzündenden ewigen Feuers Merapi liegen. Ausser dem bleigrauen Thonschlamm und den Gasexhalationen, die oft ein blasenähnliches Aufblähen des Schlammes und endlich ein unter dumpfem Knall erfolgendes Platzen der Blase bewirken, strömt hier auch Erdöl hervor. Bemerkenswerth ist besonders, dass das mit ausfliessende Wasser reich genug an Kochsalz und auch an Jod-Bromsalzen ist, um zur Darstellung von Kochsalz benutzt zu werden. Nach der Untersuchung Ehrenbergs ³⁴⁾

32) Bulletin del. soc. geol. de France T. VIII p. 6.

33) Juhnshuhn, Java II, S. 5; 145; 272, 790; 795, 854 XL

34) Monatsbericht d. Acad. d. Wiss. in Berlin 2855 S. 570.

enthält der Kuwuschlamm *Foraminiferen* und andere kleinste organische Ueberreste und ähnelt auch in dieser Beziehung den italienischen Vorkommnissen. Alle diese Verhältnisse deuten auch bei diesen Schlammmassen auf eine ähnliche Beschaffenheit hin, wie wir sie bisher kennen gelernt haben. Andere Schlammvulkane Javas, wie jene bei Pulungan und Kalanganjar liegen nahe am Meere auf dem allmählig aus diesem emporgehobenen alluvialen Küstenstriche und bilden bis gegen 10 m hohe kegelförmige, aus der verhärteten thonigen Schlammmasse entstandene Hügel mit Gasauströmungen und Schlammruptionen, wie bei den vorigen. Juhn huhn scheint nicht geneigt, diese Erscheinungen in direkt ursächlichen Zusammenhang mit der vulkanischen Thätigkeit zu bringen, welche auf Java in so reichem Maasse entwickelt ist.

Auch Amerika hat seine Schlammvulkane. Die berühmtesten sind die schon von Al. v. Humboldt ³⁵⁾ trefflich beschriebenen sog. Volcanitos von Turbaco in Neu-Granada. Neuerdings hat Herm. Karsten ³⁶⁾ diese und die Schlammvulkane von Zamba untersucht und beschrieben. Nach ihm liegen diese nur wenig über die Oberfläche aufragende, von einem Ringe verhärteten Thones gebildete „Volcanitos“ im Gebiete tertiärer und jüngster Ablagerungen und sind eigentlich nur Gasquellen, in welchen das umgebende thonige Gestein durch die Einwirkung des Wassers in einen Brei verwandelt wird. Dieser Thonschlamm fließt über und bildet, indem er austrocknet, die kleinen Erhöhungen. Das ausströmende Gas besteht aus atmosphärischer Luft, Kohlenwasserstoff mit Spuren von Kohlensäure, das Wasser enthält ohne höhere Temperatur zu zeigen, Salz in Lösung. Vauvert de Méan ³⁷⁾, welcher später

35) Reise in die Aquinoctial-Gegenden Bd. VI. b. S. 105.

36) Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch. 1852. IV. S. 581.

37) Compt. rendu, XXXVIII. p. 765.

diese Salze untersucht hat, fand solche zusammengesetzt aus Seesalz, kohlensaurem Natron und Kalkerde, schwefelsaurem Natron, Ammoniak-, Bor- und Jod-haltigen Salzen vermengt mit einer organischen Materie. Grossartige Senkungen scheinen mit dem Vorkommen dieser Volcanitos in Verbindung zu stehen. Gleichwohl ist Karsten geneigt, diese Erscheinungen nicht als vulkanische aufzufassen, indem er auf die reichen Asphaltablagerungen und die Steinsalzlagen der Nachbargebirge hinweist.

Auch dem Schlamm von Turbaco fand Ehrenberg ³⁸⁾ *Foraminiferen* und andere kleinste organische Theile beigemengt.

Auf den angeschlossenen Antillen kehren ähnliche Bildungen wieder. Besonders ist es die dem Festlande zunächst liegende Insel Trinidad, auf welcher Schlammvulkane in Verbindung mit dem Vorkommen von Asphalt (Par-lake) und Benzolaustritten bekannt sind. Die kaum mehr als ein Meter hohen Hügel liegen auf der SW.-Spitze der Insel und beherbergen gegen 45 m im Durchmesser weite Eintiefungen, welche von einem in kochender Bewegung befindlichen und blasenwerfenden Schlamm erfüllt sind.

Aus vielen anderen Gegenden der Erde werden ähnliche oder nahe verwandte Erscheinungen erwähnt, welche im grossen Ganzen nichts wesentlich Abweichendes bieten. Es genügt daher auf die vorausgehenden wenigen Beispiele hingewiesen zu haben.

Ich benützte diese Veranlassung hier einige allgemeine Bemerkungen einzuschalten.

Bei der Untersuchung dieser mergeligen und thonigen Gesteinsmassen und bei dem Nachforschen nach anderweitigen Beobachtungen und chemischen Analysen, welche

38) Monatsb. d. k. Acad. d. Wiss. in Berlin 1855 S. 570 ff.

zum Vergleiche benützt werden könnten, hat sich mir nämlich auf der einen Seite die Ueberzeugung aufgedrängt, dass diese Sedimentärgebilde keineswegs so ganz regellos zusammengesetzt sind, als es auf den ersten Blick scheinen könnte, dass vielmehr nach dem Alter derselben sich eine gewisse eigenthümliche Zusammensetzung herauszustellen scheint. Auf der anderen Seite ergab sich aber, dass die Resultate der bisher geführten Untersuchungen zu wechselseitigen Vergleichen weitaus der Mehrzahl nach als völlig unbrauchbar sich erweisen, weil fast jeder Beobachter sich verschiedener Methoden oder Manipulationen bedient hat, um zu den für ihn scheinbar genügenden Resultaten zu gelangen. Da aber derartige meist mühevollen Untersuchungen erst dann einen mehr als bloss subjektiven oder lokalen Werth erlangen, wenn sie mit anderen nach einheitlicher Methode ausgeführten Proben verglichen werden können, so leuchtet es von selbst ein, wie wünschenswerth eine Verständigung in Bezug auf den Modus dieser Art Gesteinsuntersuchung sei.

Da ich mich unterstützt von Ass. Ad. Schwager schon sehr lange mit derartigen Arbeiten beschäftige und erkannt zu haben glaube, worauf es hierbei besonders ankomme, so erlaube ich mir hier mit einem Vorschlage für eine allgemein anzuwendende Methode der Untersuchung thoniger Gesteine hervorzutreten, die ich Besserem gegenüber gerne bereit bin, umzuändern. Da es sich für genetisch-geologische Studien nicht darum handeln kann, die Zusammensetzung einer Gesteinsmasse im Ganzen wie solche etwa eine Bauschanalyse liefert, und wie es für gewisse technische Zwecke auch höchst wichtig sein mag, kennen zu lernen, so werden Bauschanalysen nur als Controlle benützt werden können. Zu unseren Zwecken führen nur Theilanalysen und zwar nur solche, bei welchen chemische und optisch mikroskopische gleich-

heitlich mit einander Hand in Hand gehend durchgeführt werden.

Es lässt sich etwa folgender stufenmässiger Gang einhalten.

I. Untersuchung.

Die kochhitztrockne d. h. bei 100 — 105° C. längere Zeit aufbewahrte Substanz wird zuerst chemisch darauf geprüft, ob dieselbe in Wasser lösliche Salze enthält und welche Zusammensetzung diese Salze haben. In vielen Fällen, namentlich bei älteren Gesteinsarten kann man von dieser Probe Umgang nehmen.

Optisch erstreckt sich die erste Untersuchung auf den Nachweis organischer Beimengen, namentlich der meist mikroskopischen *Foraminiferen*, *Radiolarien*, *Diatomeen* und *Coccolithen*. Zugleich wird auch die Anwesenheit kleiner Mineraltheile wie Feldspath, Quarz, Glimmer, Hornblende, Augit, Kalkspath, Gyps, Magneteisen, Schwefelkies, G'auconit etc. etc. mit Anwendung der zur Unterscheidung dieser Mineralien dienlichen Hilfsmittel festzustellen gesucht.

Bei dieser ersten Probe stellen sich nun bereits sehr wesentlich verschiedene Eigenschaften der thonigen Gesteine ein. Die einen zergehen in Wasser leicht zu einem Thonschlamm, die andern zerfallen im Wasser nur in kleine, nicht weiter sich lockernde Stückchen, die sich aber mit geringer Kraft zerdrücken und in einen Thonbrei verwandeln lassen. Die meisten älteren Thongesteine dagegen, der Schieferthon, Mergelschiefer, Steinmergel und Thonschiefer leisten der Einwirkung des Wassers Widerstand und müssen gewaltsam zerkleinert werden.

Nur bei der ersten Art, der in Wasser aufschlammbaren Thone oder Mergel ist es zweckdienlich, etwa beigemengte gröbere etwa über 1 mm im Dm. grosse Fragmenten abzusondern und bei bemerkten Besonderheiten

dieselben für sich weiter zu untersuchen. Behufs Gewinnung und Bestimmung der eingeschlossenen organischen Ueberreste wird man sich besonderer Proben bedienen, aus denen man durch Abschlämmen die kleinen Versteinerungen gewinnt. Es ist nicht ohne Interesse, die bei diesem Schlammprocess zurückbleibenden Mineraltheilchen gleichfalls einer mikroskopischen Prüfung zu unterziehen.

Bei manchen, durch Wasser nur theilweise erweichbaren Gesteinsarten gelingt es, durch sehr vorsichtiges Zerdrücken eine ähnliche schlämbbare Masse zu erhalten und auf organische Einschlüsse zu untersuchen. Viele solcher Proben kann man dadurch zum Zerfallen bringen, dass man sie in oftmaliger Wiederholung mit einer gesättigten Glaubersalzlösung kocht und alsdann austrocknen lässt, wobei das krystallisirende Salz die Thon- oder Mergel-Theilchen zersprengt. Auf diese Weise gelingt es oft, organische Einschlüsse zu isoliren, die man sonst nur durch Dünnschliffe entdecken kann.

Die härteren Gesteinsproben muss man ohne eine solche Scheidung in Arbeit nehmen. Schwierigkeiten ergeben sich bei dieser ersten Abtheilung der Untersuchung dadurch, dass die aufgeschlammte thonige Masse fast immer, wenigstens beim Nachwaschen trüb durchs Filter geht. Man muss das etwas trübe Filtrat dann eindampfen, wobei der Thon eine zusammenhaltende Kruste bildet, und diese dann sorgfältig wieder mit Wasser übergiessen und auslaugen. Auch ist daran zu erinnern, dass man bei diesem ersten einfachen Auslaugen mit Wasser nur eine geringe Menge des etwa vorhandenen Gypses erhält. Legt man Gewicht darauf, diese Menge genau zu bestimmen, so wird man in einer gesonderten Probe eine Zersetzung desselben durch Kochen mit kohlensauren Alkalien zu bewirken suchen.

II. Untersuchung.

Die meisten Thonarten, sowie alle Mergelarten enthalten Karbonate von Kalkerde, Magnesia, Eisenoxydul und Manganoxydul; um sie zu entfernen ist eine zweite chemische Arbeit erforderlich. Zu diesem Zwecke unterwirft man beiläufig 10 g dauernd bei 100° C getrockneter Substanz der Einwirkung einer sehr verdünnten Salzsäure von 1,05 sp. Gew. ohne Anwendung erhöhter Temperatur (15—20° C) längere Zeit hindurch (2—3 mal 24 Stunden) unter fleissigem Umrühren. Zur Controlle ist eine Kohlensäurebestimmung wünschenswerth. Die in Lösung ³⁹⁾ erhaltenen Stoffe werden bestimmt. Sie gehören jedoch nicht ausschliesslich Karbonaten an. Es hat sich nämlich fast durchweg ergeben, dass, wenn auch nur geringe Mengen von Thonerde in Lösung gegangen sind, die einem sich selbst in sehr verdünnter Säure zersetzbaren Silikat entsprechen.

Ich glaube gefunden zu haben, dass es eine chloritische Beimengung — ein Thonerde-Eisenoxydul-Bitterdesilikat — ist, welches diese Erscheinung hervorruft, weil man bei der mikroskopischen Untersuchung vor der Einwirkung der verdünnten Säure oft grünliche Blättchen — nicht die meist derben Klümpchen des Glauconits — wahrnimmt, welche nach der Einwirkung der Säure verschwunden sind. Bei der ganz geringen Menge dieser Beimengung lege ich kein grosses Gewicht auf einen näheren Nachweis dieser Substanz. Will man dieselbe näher bestimmen, so wird man das Filtrat erst zum Trocknen eindampfen müssen, um die lösliche Kieselsäure unlöslich zu machen und ebenso den Restantheil trocknen, um auch ihm den Kieselsäureantheil nach bekannter Methode zu entziehen.

39) Auch hierbei erhält man beim Ausstüssen oft ein trübes Filtrat, daher es räthlich ist, die zuerst erhaltenen Theile vorher wegzunehmen.

Auch Eisenoxydhydrat und phosphorsaure Kalkerde werden theilweise zerlegt. Diesen Verhältnissen ist gleichfalls Rechnung zu tragen.

Der Rückstand nach der Behandlung mit sehr verdünnter Säure muss auch optisch mikroskopisch untersucht werden, theils um die oft jetzt erst klarer hervortretenden Beimengungen von Feldspath, Quarz, Glimmer zu bestimmen, die durch die weisse Kalkschale oft verhüllten Glauconitkörnchen darin nachzuweisen und namentlich um die aus Kieselsäure bestehenden, oft äusserst feinen *Diatomeen* und *Radiolarien* aufzufinden. Zu letzterem Zwecke benützt man Material, welches nur gröblich gepulvert wurde und bei grösserem Gehalt an Kalk nach der Einwirkung der Säure nunmehr durch gelindes Drücken zertheilt werden kann.

III. Untersuchung.

Der unzersetzte, wieder bei 100° C getrocknete Rest wird hierauf mit etwa der dreifachen Gewichtsmenge starker Salzsäure von 1,11 spec. Gew. unter steter Erneuerung der verdampften Säure 3 Stunden lang in der Kochhitze behandelt; ⁴⁰⁾ Filtratflüssigkeit und Rückstand werden zum Trocknen gebracht, um die zersetzte Kieselerde ⁴¹⁾ zu gewinnen und im Uebrigen nach bekannten Methoden verfahren. Behufs Bestimmung des Eisenoxyduls wird man eine Probe demselben Prozesse in einer Atmosphäre von Kohlensäure unterwerfen und ohne das Filtrat abzudampfen

40) Die chemischen Manipulationen werden hier nur angedeutet. das sonst erforderliche Verfahren ist ohnehin bekannt und geläufig.

41) Bei der Behandlung mit Alkalien, um die löslich gewordene Kieselsäure wegzunehmen, färbt sich die alkalische Flüssigkeit oft intensiv kaffeebraun von zersetzten bituminösen Theilen. Die Tiefe der Farbe gestattet einen Rückschluss auf die beiläufige Menge dieser Beimengung.

die Menge des Oxyduls bestimmt. Es folgt eine direkte Bestimmung des Wassers. Auch ist eine Bauschanalyse der Gesamtmasse als Kontrolle zu empfehlen.

Durch die Einwirkung der starken Salzsäure wird zersetzt: der Glauconit, der grössere Resttheil der chloritischen Beimengung, Magneteisen, Brauneisenerz und ein Theil von Rotheisenerz, dann zeolithische Bestandtheile, welche nach der oft wahrgenommenen gallert-ähnlichen Beschaffenheit des Rückstandes und nach der Menge von Natron zu vermuthen sind. Ausserdem werden auch feinste Theilchen von Plagioklas (Anorthit ist wohl nicht vorauszusetzen) etwas angegriffen. Um über diesen umfangreichen Complex von möglicher Weise vorhandenen und durch starke Salzsäure zersetzten Gemengtheilen einige Anhaltspunkte zu gewinnen, ist es unabweisbar nothwendig, die Substanz vor und nach der Einwirkung der Säuren aufs sorgfältigste mikroskopisch zu prüfen. Die optischen Eigenschaften der durch die Säure zerlegten Gemengtheile im Zusammenhalte mit den Resultaten der chemischen Analyse geben Anhaltspunkte genug, um wenigstens mit einiger Sicherheit auf die An- oder Abwesenheit dieses oder jenes Minerals zu schliessen. Bei den älteren thonigen Schieferarten dürften chloritische und feldspathige, bei den jüngeren glauconitische und zeolithische Beimengungen die Hauptrolle hierin spielen.

IV. Untersuchung.

Eine weitere Untersuchung des Restes bezieht sich auf den Nachweis eines durch Schwefelsäure zersetzbaren Antheils, wie solcher bei fast allen thonigen Gesteinen vorkommt und gewöhnlich als eine der Porzellanerde ähnliche Thonart angesprochen wird. Die häufige Anwesenheit ansehnlicher Mengen von Alkalien und der geringe Wassergehalt weisen aber vielfach auch auf andere

Substanzen namentlich auf Pinitoid und auf ein Pyrophyllit-artiges Mineral oder auf Glimmer hin.

Zu diesem Zwecke behandelt man den weiteren Rest aus Untersuchung III mit concentrirter Schwefelsäure von 1,84 spec. G. etwa 6 Stunden lang in Kochhitze und bestimmt den Wassergehalt der Substanz analog, wie bei III. Auch in diesem Falle wird ein Vergleich der Probe vor und nach der Einwirkung der Schwefelsäure mittelst optisch-mikroskopischer Prüfung weitere Schlüsse über die durch die chemische Analyse erlangten Resultate zu ziehen gestatten.

V. Untersuchung.

Der nach der Anwendung von Schwefelsäure unzersetzt bleibende Rest besteht grösstentheils aus Quarzkörnchen und Splitterchen einiger weniger anderer Mineralien, die von Schwefelsäure, wenn auch angegriffen, doch nicht ganz zerlegt werden. Daher liegt bei dieser letzten Prüfung das Hauptgewicht auf der optisch-mikroskopischen Untersuchung der übrig gebliebenen Theile. Neben dem Quarze, welcher sich i. p. L. durch seine intensive, bunte Aggregatfarbe bemerkbar macht, verdient die Anwesenheit von Feldspaththeilchen besonders sorgfältiger Prüfung nach Methoden, die hier nicht näher zu erörtern sind und als bekannt vorausgesetzt werden. Dasselbe gilt von Augit, Hornblende, Granat etc. etc. Meist zeigen sich in diesem Reste unregelmässige, trübe, unreine, oft undurchsichtige Klümpchen in grosser Menge, welche wahrscheinlich durch organische Stoffe gefärbter Quarzsubstanz angehören. Auch schwarze kohlige Theilchen finden sich oft noch diesem Reste beigemengt. Will man die Natur dieser kohligen Beimengungen näher prüfen, so empfiehlt es sich, eine besondere Probe, nachdem die Karbonate auf bekannte Weise entfernt sind, mit verdünnter Fluorwasserstoffsäure

bei mässiger Wärme zu behandeln, die durch leicht abschwemmbarⁿ erdigen Theilchen durch vorsichtiges Schlämmen wegzuwaschen und die kohligen Rückstände mit chlorsaurem Kali und rauchender Salpetersäure vermengt eine Zeit lang stehen zu lassen. In vielen Fällen erhält man durch eine solche Behandlung durchsichtige Fragmente, die sich unter dem Mikroskop weiter untersuchen lassen, um zu erkennen, ob man es mit Resten von Landpflanzen oder etwa mit Meeresalgen etc. etc. zu thun hat.

Um namentlich einen Gehalt an Feldspath näher nachzuweisen, ist es zweckmässig, diesen letzten Rest einer Bauschanalyse zu unterwerfen.

Nach dieser zwischengeschobenen Erörterung kehren wir zu der weiteren Behandlung des vorliegenden Stoffes zurück.

Ueberblickt man nun den ganzen Kreis der in den sog. Schlammvulkanen hervortretenden Verhältnisse, so scheint, wenige Fälle ausgenommen, daraus hervorzugehen:

1) dass die ausgestossene Schlammmasse nichts anderes darstellt, als erweichtes, aus der unmittelbaren Umgebung stammendes oder aus nicht beträchtlicher Tiefe emporgeschobenes thoniges oder thonig-sandiges Schichtgestein, welches oft noch organische Ueberreste enthält, während eigentliche vulkanische Produkte — Asche, Lapilli, Lava, Bimsstein — an der Zusammensetzung nicht theilhaft sind. Denn es sind gewiss nur Ausnahmefälle, wenn in Mitte vulkanischer Bildungen letztere, wie das Schichtgestein wohl auch oberflächlich von Gas und Wasser erweicht, das Eruptionsmaterial liefern. Thatsächlich jedoch ist dieser Fall bis jetzt an keinem Schlammvulkan noch sicher nachgewiesen.

2) Mit den Schlammvulkanen steht, abgesehen von reichlichem Wassererguss, in nothwendigem genetischem

Zusammenhänge das Ausströmen von gepressten Gasarten, unter welchen Kohlenwasserstoff die erste Rolle spielt. Die hohe Spannung dieser ausströmenden Gase und die lange Andauer dieser, wenn auch oft nur periodisch zur Wirksamkeit gelangenden Erscheinungen lässt sich nicht von einer in der grösseren Tiefe bereits vorrätig ⁴²⁾ vorhandenen und nicht andauernd sich erneuernden Gasmenge herleiten, weil bei dieser Annahme in verhältnissmässig kurzer Zeit der Vorrath erschöpft sein müsste. Die anhaltende und fortdauernde Neubildung besonders des hauptsächlichsten dieser Eruptionsgase, des Kohlenwasserstoffs setzt mit Nothwendigkeit das Vorhandensein von organischer Beimengung in den tiefer lagernden Schichtgesteinen voraus, welches auch durch das regelrecht mit den Schlammvulkanen verknüpfte Auftreten von Petroleum, Naphta, Asphalt oder bituminösen Stoffen bestätigt wird. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass bei diesem Zersetzungsprocesse auch Phosphorwasserstoffgas gebildet wird. Dadurch würde das vielfach festgestellte Entzünden der ausströmenden Gase aus freien Stücken eine befriedigende Erklärung finden. Mit dem reichlicheren Auftreten von Kohlensäure scheint dagegen eine gewisse Annäherung an vulkanische Vorgänge in der Tiefe sich zu verbinden.

3) Die Beimengung von in Wasser löslichen Salzen, namentlich von Chlornatrium in der Schlammmasse erklärt sich theils aus dem Umstande, dass manche Schlammvulkane in der Nähe des Meeres, oder auf einem von Meerwasser durchtränkten Boden liegen, und daher mit dem zudringenden Meerwasser auch dessen Salze mit aufnehmen — darauf

42) Dergleichen Stoffe sind zweifelsohne bereits vorgebildet und von der Gesteinsmasse eingeschlossen, in Vorrath vorhanden und können sich auch an der Zusammensetzung des Eruptionsmaterials betheiligen. Sie sind es aber nicht, welche die während langen Zeiten andauernde Zugänge an solchem Material, namentlich die Gase, liefern können.

weist namentlich ein Jod- und Brom-Gehalt der Salze hin — theils ist anzunehmen, dass in den vom Eruptionskanal berührten Schichten solche Salze z. B. Gyps, Steinsalz reichlich als Zwischenlagen vorhanden sind, aus denen das durchströmende Wasser den Salzgehalt schöpft. Endlich wird bei geringem Gehalt an solchen Salzen diese Beimengung durch den Umstand erklärlich werden, dass das ausquellende Wasser, welches ja fast ausnahmslos geringe Mengen von Salzen auf seinem Durchzug durch Schichtgesteine aufgenommen hat, indem es mit dem Thon vermischt und mit Schlamm ausgeworfen bei Austrocknen des letzteren verdunstet, seinen Salzgehalt im Thon zurücklässt. Indem dieses Durchtränken mit Wasser und Wiederaustrocknen sich öfters wiederholt, reichert sich schliesslich der austrocknete Schlamm mit gewissen Mengen der Salze an, wie wir solche im Schlamm finden, ohne dass eigentliche Salzlagerstätten in der Tiefe vorhanden sind.

4) In Bezug auf Temperatur der Schlammgrüsse herrscht keine durchgreifende Regel. Wohl wurde wahrgenommen, dass grösstentheils die Schlammquellen keine wesentliche höhere Temperatur besitzen, als die der umgebenden Luft oder die mittlere Jahrestemperatur des Ausflusspunktes. Doch sind auch hier und da höhere Temperaturen beobachtet worden. Sie dürften mit den reicheren Kohlensäure-Exhalationen im Zusammenhange stehen, welche auch bei zahlreichen Mineralquellen sich gleichzeitig einstellen.

5) Aus der Art der Verbreitung der Schlammvulkane in den verschiedenen Ländern lässt sich eine gewisse Beziehung zu vulkanischen Gegenden und vulkanischen Eruptionen nicht verkennen. Doch finden sich Schlammvulkane auch ausserhalb der noch jetzt von vulkanischen Vorgängen betroffenen Länderstrecken. Aber in diesem Falle kommen sie entweder in Gebieten vor, die von Hebungen

und Senkungen häufig beunruhigt sind, oder sie beschränken sich doch auf Züge grosser geotektonischer Spalten und Verrückungslinien, welche die Erdrinde durchziehen und Zugänge bis in grosse Tiefe eröffnen.

Aus alledem scheint hervorzugehen, dass der eigentliche Herd der mit den weitaus meisten Schlammvulkanen verknüpften Erscheinungen nicht mit dem der vulkanischen Thätigkeit der Tiefe direct identisch gehalten werden darf, dass diese Erscheinungen vielmehr auf dem Vorhandensein gewisser Schichtgesteinen und auf deren Gehalt an bituminöse Stoffe liefernden Beimengungen beruhen. Nur in vereinzeltten Fällen mögen es mit vulkanischen Vorgängen in Verbindung stehende Gase sein, welche den gewöhnlichen Schlammvulkanen ähnliche Erscheinungen bewirken, oder sich den Kohlenwasserstoffgasen der eigentlichen Schlammvulkane beigesellen, wie ja auch umgekehrt Kohlenwasserstoffgase bei vulkanischen Exhalationen öfters sich zeigen. Dazu muss ferner der Umstand hinzutreten, weil die Entwicklung der Gase und der bituminösen Stoffe continuirlich oder doch während langandauernder Zeitperioden stattfindet, dass diese bestimmten Schichtgesteine in tiefere Lagen der Erdrinde versetzt werden, wo einerseits die zur Entwicklung der Gase und bituminösen Stoffe aus den organischen Beimengungen nothwendige Bedingungen — besonders Wärme u. s. w. — gegeben sind und andererseits die Erdrinde tief genug von Spalten durchzogen ist, um den auf diese Weise gebildeten und unter einer gewissen Spannung stehenden flüchtigen Stoffen das Empordringen zu Tag zu gestatten.

Solche günstige Verhältnisse werden sich ganz besonders häufig da einstellen, so durch vulkanische Ereignisse die jüngeren Sedimentgebilde vielfach aus ihrer höheren Lage verrückt, gesenkt und zugleich von tief gehenden Spalten durchzogen sind. Aehnliche Verhältnisse können überall

da wiederkehren, wo starke dislocirende Bewegungen der Erdrinde in den von tertiären oder jüngeren Ablagerungen eingenommenen Gegenden stattfinden oder jüngst stattgefunden haben. Wir begreifen auf diese Weise, in welchem entfernteren Zusammenhange die Erscheinungen der Schlammvulkane mit wirklich vulkanischen Thätigkeiten stehen oder in wiefern dieselben in den von Erdbeben und Niveauschwankungen oft heimgesuchten Gebieten aufzutreten pflegen. In anderen Fällen mag die vulkanische Thätigkeit die Entstehungsbedingungen der Eruptionsgase und der bituminösen Stoffe gleichsam mit sich näher an die Oberfläche gerückt und in die höheren Lagen der Schichtgesteine emporgezogen haben, indem hier ein höherer Grad von Wärme und mit demselben die Bedingung der Umbildung organischer Stoffe sich einstellte. Eine derartige Beziehung zwischen Schlammvulkanen und dem Vulkanismus dürfte namentlich auf Sicilien anzunehmen sein.

Trotzdem ist aber die ganze Erscheinung der sog. Schlammvulkane von dem wahren Vulkanismus so von Grund aus verschieden, dass es sich empfehlen möchte, um den der Bezeichnung Schlammvulkan stets anklebenden Beigeschmack an ächt vulkanische Thätigkeit zu beseitigen, sich eines andern Ausdrucks, vielleicht am geeignetesten „Schlammprudel“ zu bedienen.

Das häufige Vorkommen dieser Schlammprudel in fast allen Theilen der Erde weist auf eine geologische Erscheinung hin, welche sich gewiss nicht bloss auf die gegenwärtige Periode der Entwicklungsgeschichte unserer Erde beschränkt. Es ist vielmehr mit grosser Wahrscheinlichkeit schon à priori anzunehmen, dass auch in vorausgehenden Zeitabschnitten analoge Vorgänge stattgefunden haben. Dieser Gedanke ist bereits, wie schon Eingangs erwähnt wurde, mehrfach ausgesprochen und sogar der Versuch gemacht worden, manche eigenthümliche Erscheinungen, welche sich

in der sog. Argila scaglioso des Apennin bemerkbar machen, auf die Thätigkeit solcher Schlammgesprudel in der Tertiärzeit zurückzuführen. Am bestimmtesten ist neuerlichst dieser Gedanke von Theod. Fuchs ⁴³⁾ auf die Entstehung der sog. Flysch- oder Macignoschichten ausgedehnt worden. Wir werden in einem zweiten später folgenden Aufsätze versuchen, auch zur Lösung dieser Frage älterer Schlammgesprudel einen Beitrag zu liefern.

43) Ueber die Natur des Flysches in LXXV. Bd. d. Sitzber. d. Ac. d. Wiss. in Wien I. Abth. 1877.