

Zeitschrift: Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Graubünden
Band: 65 (1926-1927)

Artikel: Der Klut (Ost-Java), sein Eruptions- und Katastrophentypus und die betroffenen Präventivmassnahmen
Autor: Blumenthal, M.M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-594633>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.12.2025


ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Klut <Ost=Java>, sein Eruptions- und Katastrophentypus und die getroffenen Präventivmaßnahmen.

Mit Kartenskizze <Taf. 1>, Profil und 6 Aufnahmen des Verfassers <Taf. 2>.

Von Dr. M. M. Blumenthal

<Chur=Málaga>.



Zu den machtvollsten Energieerzeugern gehören die vulkanischen Kräfte; wohl wird deren Arbeitsweise in Ursache und Wirkung der Forschung stets zunehmend klarer und berechenbarer, gegenüber der Gewalt der Erscheinungen und der Unnahbarkeit ihrer Triebkräfte aber bleibt des Menschen Können und Arbeit bloßes Gekritzel. Eine Vulkan- gestalt aus dem Fernen Osten diene zur Veranschaulichung solcher Gewalten und ihnen gegenüber geleisteter menschlicher Arbeit.

Der G u n u n g K l u t¹ ist unter den vielen «Feuerbergen» Javas kein durch große Höhe oder Massenwirkung besonders hervorragender Vulkan. Mit seinen Nachbarn formt er einen jener zahlreichen Vulkankomplexe, die in malerischer Weise das javanische Landschaftsbild beherrschen. (Siehe das Eckkärtchen in Fig. 1.) In weitem Bogen umfließt der Brantas von der Ostseite über Süd nach West und Norden dieses vulkanische Hochland. Von den Bergformen dieser Vulkangruppe — teils in Solfatarenzustand befindliche Kegelsberge (G. Welirang), teils schon weiter zu Vulkanruinen zer- teilte Vulkanbauten — überragen die meisten den in der Süd-

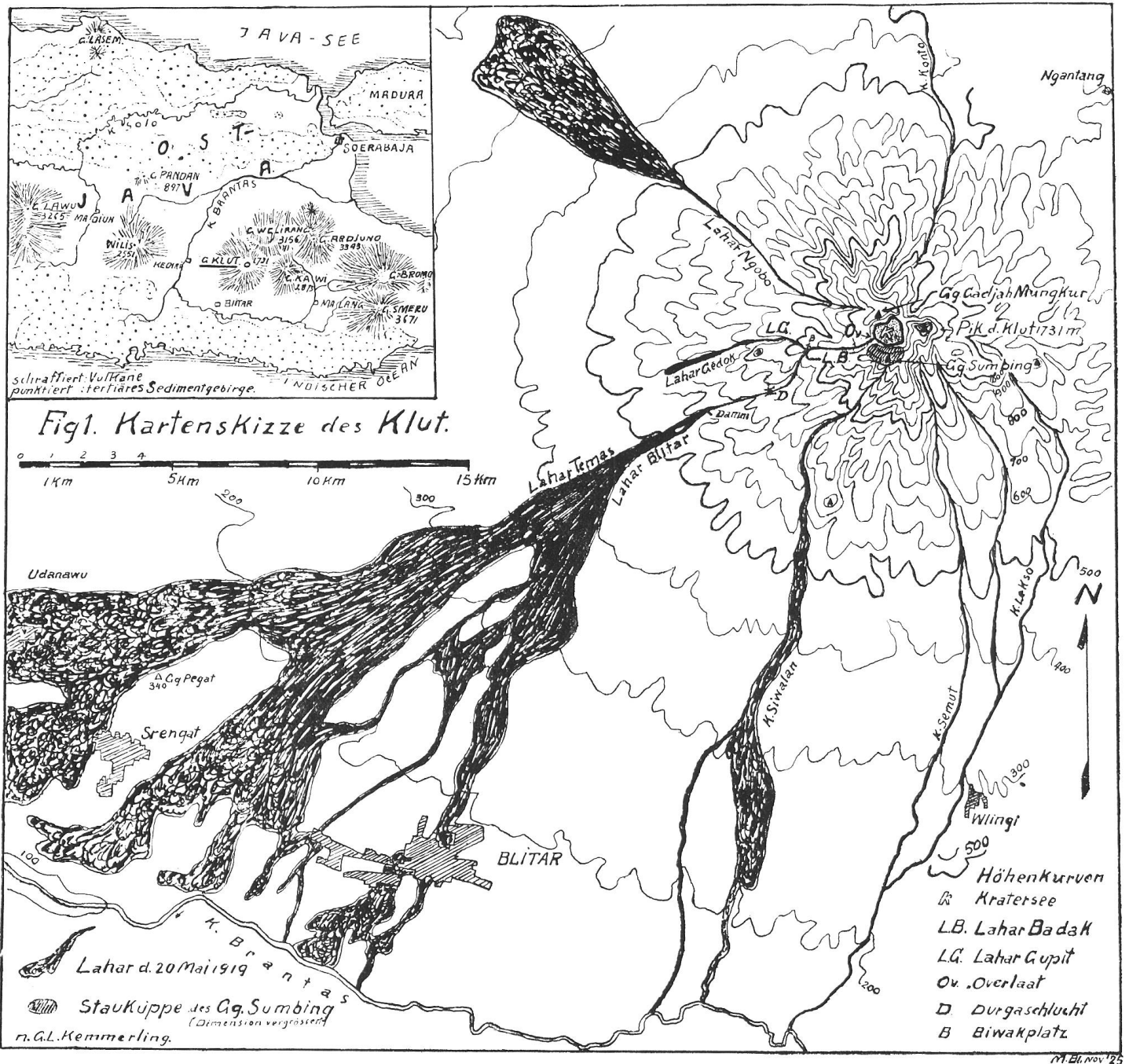
¹ G u n u n g = Berg; die an die javanische Aussprache sich anlehrende Schreibweise Keloed oder Keloet (holländisch oe = u!) ist in letzter Zeit gebräuchlicher geworden.

westecke des Komplexes liegenden Klut. Was diesem aber an äußerer Wichtigkeit scheinbar abzugehen scheint, ersetzt der Vielgenannte durch sein Temperament. Die Klut-Eruptionen folgten sich in ununterbrochener Folge seit Jahrhunderten mit variierenden Intervallen. Eine derselben, die insbesondere durch die verheerende Wirkung der Gefolgescheinungen (Schlammströme) Verderben brachte, sei der Ausgangspunkt, um das Gefüge des Berges und die besondere Art seiner Tätigkeit, seinen Eruptions- und Katastrophentypus, kennen zu lernen; die Vorbeugungsmaßnahmen, die gegenüber einem sicher wieder zu erwartenden Neuausbruch getroffen wurden, mögen die Nichtigkeit der Werke illustrieren, mit welchen der Mensch dem Vulkankoloß zu Leibe zu rücken versucht.

Es war in der Nacht vom 19. zum 20. Mai 1919, in welcher der Klut nach 18jähriger Ruhezeit seinen letzten, kurzdauernden Anfall hatte. Kurz und heftig, wie alle die bekannten Ausbrüche, war der vulkanische Paroxysmus vielleicht in einer halben Stunde erledigt, dessen unmittelbare Folgen, das Auswerfen des im Krater befindlichen Sees mit einer Wassermasse von über 38,000,000 Kubikmeter und die daraus sich bildenden Schlammströme, forderten in kürzester Zeit das Leben von über 5500 Anwohnern und überschütteten und vernichteten über 14,000 Hektaren Landes.

Begreiflicherweise hat ein Vulkan, der so sehr in das Wirtschaftsleben eines Landes eingreift, und zumal in einem Lande, in dem vulkanische Forschung einen wichtigen Bestandteil geologischer Arbeit ausmacht, eine reichliche Literatur geschaffen. Nur Weniges sei hier aus der langen Liste der Publikationen hervorgehoben — siehe Literaturliste am Schlusse dieses Aufsatzes —, wobei ganz besonders auf die schöne monographische Bearbeitung des Berges nach seiner letzten Tätigkeit durch den holländischen Vulkanologen Dr. G. L. L. Kemmerling (Vulkanologische Mededeelingen Nr. 2) hingewiesen sei; dessen Resultate sowie ein Besuch des Kraters kurz nach dem Ausbruch bilden im wesentlichen den Leitfaden für die hier vorliegende Zusammenfassung.

TAFEL 1.



Den Morgen nach jener unheilbringenden Nacht war der Schreiber in den Tertiärbergen von Mittel-Javas Nordküste mehr als 170 Kilometer vom Klut entfernt. Ein trübgrauer dunstiger Tag blieb anhalten; feinste Staubteile erfüllten die Atmosphäre und hingen als dunkle Nebelstreifen um die Bergesschultern; feinsten Aschenregen übergieß allmählich die Insel bis auf über 500 Kilometer Abstand vom Eruptionspunkte, dies insbesondere in der Richtung, nach welcher der zu dieser Jahreszeit herrschende Ostmonsun — also nach Westen — die feinsten Teile des Aschenregens verfrachtete; atmosphärische Zustände, die dieser Eruption zugeschrieben wurden, zeigten sich in Europa am 24. Mai.

Zweieinhalb Wochen später hatte ich Gelegenheit, von Kediri aus den Berg des Unheils zu besuchen und in die dampfende «Feueresse» hinabzuschauen. Wenige Neugierige waren in der ersten Zeit nach der Eruption nach dem Krater hinauf vorgedrungen; die Besteigung des Berges wurde wegen der Gefahr von bei Regenfällen sich bildenden Schlamm Lawinen und der sonst auch von den Steilhängen sich lösenden Aschenfalle gewehrt. Doch war schon am sechsten Tage nach der Eruption (erste Besteigung am vierten Tage) auf heißem Aschenboden in Kraternähe — in 30 Zentimeter Tiefe wurde eine Temperatur von 92 Grad Celsius konstatiert — ein Biwak erstanden, von welchem aus der vom niederländischen Bergbauamte (Bureau van het Mijnwezen) mit den vulkanologischen Beobachtungen betraute Geologe Dr. Kemmerling und der mit dem Studium der technischen Vorsorgsmaßregeln beauftragte Ingenieur *H. von Steiger*² ihrer exponierten Arbeit oblagen. Wirklich eine Menschenwohnung inmitten einer Stätte trostlosester Vernichtung (Fig 4). Doch bevor dem Kraterbesuch eine kurze Schilderung gegeben sei, möge eine

vulkanische Charakterisierung des Klut

vorangestellt sein.

² Aus Bern; seither (1923) ist *H. von Steiger* auf Tarakan (Ost Borneo) dem Tropenklima erlegen; Fig. 7 zeigt ihn in der Bildmitte auf der Oberfläche des Lahar Badack stehend.

Schon eingangs wurde erwähnt, daß der Klut als Vulkan weniger eindrucksvoll wirkt als viele seiner Landgenossen, von denen verschiedene (Smeru, Slammat, Lawu) als gewaltige, mehr oder weniger gleichseitige Kegel sich aus dem Tiefland bis beträchtlich über 3000 Meter hinaufschwingen. Die maximale Neigung, die ein solcher Aschen- und Lapillikegel zu tragen vermag, 30—35 Grad, wird am Klut von den Durchschnittswerten nicht erreicht. Das mittlere Gefälle (vom Krater bis Vulkanfuß, dieser in zirka 500 Meter über Meer angenommen) liegt um 6 Grad herum, allein der Norden und Osten ist etwas steiler. Aus diesem sanft geneigten Vulkanmantel entwickelt sich nach oben der Kraterabschnitt des Berges; hier finden sich im Gegensatz zu dem weitausladenden tieferen Gehänge schärfere Formen und größere Neigungen. Ein zackiger Andesitklotz, der Pik des Klut, formt mit 1731 Meter die höchste Erhebung des Vulkans; er macht einen Teil aus von der heutigen Kraterumrandung und überragt den tiefsten Teil des Kraterbodens mit zirka 650 Meter (Fig. 3). Der Krater selbst formt einen tiefen, von Steilwänden umrandeten Kessel, die diesen im Mittel mit 300 Meter überragen; einzig die westliche Umrandung enthält eine schmale Bresche, die den Kraterrand bis auf 1208 Meter erniedrigt. Diesem Auslaß des Kraterinnern nach außen, von dem im Folgenden als dem sogenannten «overlaat» noch oft die Rede sein wird, kommt in der heutigen Vulkangeschichte begreiflicherweise besondere Bedeutung zu. Innerhalb dieses, roh genommen, kreisförmigen Kraters enthält der Klut einen in den Ruhepausen zwischen den Eruptionen aus den atmosphärischen Niederschlägen sich bildenden Kratersee; dessen Oberfläche betrug vor der jüngsten Eruption zirka 0,64 Quadratkilometer, seine größte Tiefe wurde mit zirka 118 Meter angegeben. Die Möglichkeit der Bildung eines Sees in dem sonst lockeren und wasserdurchlässigen Material des Vulkans wird mit der stark bindenden Eigenschaft der Klutasche in Zusammenhang gebracht, welche die ausgeworfenen vulkanischen Lockerprodukte zu einem praktisch wasserundurchlässigen Gestein zusammenkittet. Dieses zu Zeiten der Ruhe friedliche Wasserbecken war aber auch

stets ein wilder Bundesgenosse im Vernichtungsstreben vulkanischer Kräfte, wenn diese, zu neuem Ausbruch übergehend, die mächtigen Wassermassen im Nu heraushoben und über die Kraterländer hinwegdrängten und »schleuderten«; als grauenhafte, steinbeladene Schlammströme bzw. Sandschlammströme, sogenannte *L a h a r*³, wälzten dann diese sich nach der Tiefe des Vulkanfußes zu. Jede der bekannten, und so auch die letzte Eruption des Berges, wurde besonders durch diese nicht direkt vulkanische Begleiterscheinungen verheerend, man könnte von einem **Kluttypus der Eruption** sprechen.

Der heutige Krater, der der Vulkanese als Ventil ihrer angehäuften Spannung dient, repräsentiert jedoch nur eine jüngste Phase im Vulkanleben des Berges, eine Tätigkeitsperiode, die vielleicht noch innerhalb des Menschen Zeitrechnung liegt. Der ganze Berg und insbesondere die heutige Kraterregion sind sehr zusammengesetzter Natur. Abgesehen von einer alten, schwierig mehr nachweisbaren großen Caldera, die den größten Teil des heutigen Kegelberges als eine jüngere Aufschüttung in sich begreifen würde, zeigt hauptsächlich die derzeitige Kraterumrandung Teile verschiedenen Alters und verschiedener Entstehungsweise. Die hohen Ränder des heutigen seerfüllten Kraters sind nur zum kleineren Teile die von ihrem jetzigen Eruptionszentrum aus ausgeworfenen und aufgeschütteten vulkanischen Produkte. Der Kluteruptionstypus war nicht stets der heutige explosive mit vorwiegender Häufung klastischen Materials (Aschen, vulk. Sande, Lapilli und Bomben), welches als wohlgeschichtete Ablagerung einem guten Teil des Kraterinnern den ausgeprägten Typus eines Stratovulkankraters verleiht (siehe rechte Bildhälfte von Fig. 3). Als andersartige Strukturelemente fallen bei der ersten Musterung der Kraterwände die aus massigem Andesit aufgebauten

³ Der Ausdruck «*L a h a r*» stammt aus Ost Java (Kediri) und ist allmählich zu einem geologischen Term für Murgänge, seien es warme oder kalte, an Vulkanen geworden; synonym werden die Bezeichnungen «*Ladu*» (Mittel Java) und «*Besuk*» (Ost Java) gebraucht; wir hätten also nichts anderes als eine vulkanische «Rüfe» vor uns.

Gipfel Punkt 1731 Meter (der Pik des Klut Fig. 3) und Punkt 1498 Meter (G. Gadjah Mungkur Fig. 8) auf. Es sind Gebilde früherer Vulkangeschichte, als wahrscheinlich noch reichliche Lavaergüsse erfolgten; sie repräsentieren Vulkanruinen vorangehender Tätigkeitsphasen, teils möglicherweise den erstarrten andesitischen Stil einer aberodierten größeren Vulkanbaute; spätere, gleichfalls andesitische Durchbrüche, durchsetzen gangförmig wieder diese älteren Andesitstöcke (in Fig. 3 erkenntlich!), wie überhaupt auch das Stratomaterial des Berges von zahlreichen andesitischen Apophysen und Intrusionen durchsetzt wird, die gewissermaßen wie ein Gerippe das lose Gefüge des Berges zusammenhalten. (Im Hintergrund [Lahar Ngobo] des Blockdiagramms der Fig. 8 schematisch angedeutet.) Erachtet man den Kraterrand der relativ jüngsten Tätigkeit des Berges — man könnte von einer explosionsreichen Stratoperiode sprechen — durch die feste, zwar lückenhafte andesitische Begrenzung gegeben, also unter Wegdenkung der Lockerprodukte, so ergäbe dies einen oberen Kraterrand, der an Oberfläche den heutigen See zweieinhalb Mal übertrifft und einen Radius von über 700 Meter besäße.

Das auffälligste Gebilde jedoch zeigt der heutige Krater: rand an seiner Südwestseite: einen hochaufstrebenden Bergpfeiler. Es ist der *Gunung Sumbing* (1530 Meter), eine imposante Halbkuppe, deren Steilwände in prächtiger Vollkommenheit die säulenförmige Absonderung seines Andesits zeigen (Fig 2). Dieser *Gunung Sumbing* enthüllt einen ganz anderen Eruptionstypus aus der Klutgeschichte. Er formt das stehengebliebene Halbstück einer Staukuppe, deren eine Hälfte, die dem heutigen Krater zugekehrt war, durch einen späteren explosiven Ausbruch entfernt wurde. Halb vernichtet und verdeckt kommt hier somit das Produkt einer Eruptionsform zum Vorschein, welche, verglichen mit der heutigen, mehr explosiven Förderungsart des Magmas recht wesentlich anders vor sich ging⁴. Der Kraterboden, dem diese

⁴ Ueber die rezente Bildung einer dergleichen Staukuppe berichtete ich in der Zeitschrift «Natur und Technik», S. 324, Jahrg. VI, Zürich 1925: «Die Staukuppeneruption des Galunggung auf West-Java.» Man vergl. die

Staukuppe auflag, ist nach *Kemmerling* auf der Kraterseite entblößt (Agglomerate am linken Bildrand der Fig. 6); das Zentrum der Staukuppe entsprach nicht der heutigen Krater-tiefe, ihr Zufuhrkanal bleibt der Beobachtung verborgen.

Diese Andeutungen über die verschiedenen Gebilde, welche sich allein schon in der heutigen Kraterumrandung anzeigen, mögen eine Vorstellung geben über die komplexe Zusammensetzung eines von außen scheinbar einheitlichen Kegelberges. Dessen äußerer Kegelmantel repräsentiert eben bloß den Ueberguß, geschaffen durch die relativ jüngste Tätigkeit.

Wenden wir uns nunmehr dieser Vulkanaußenseite zu. Deren geringe Neigungsverhältnisse wurden schon erwähnt. Die Ursache der Bildung des weitausladenden Bergfußes und der relativ starken Erosion im Kraterteil werden nach dem im Vorangehenden über die Eruptionsart Mitgeteilten erklärlich. Jeder Ausbruch, mag viel oder wenig neugeförder-tes Magma in Form von Asche und Bomben den Vulkan-schlot verlassen haben, besaß im Vorhandensein der Wasser-massen des Kraters seinen Verfrachter, um neues und altes Material mit Vehemenz zu Tale zu schaffen. Und noch mehr als die ja eher seltenen «Eruptionslahar» waren es die aus den atmosphärischen Niederschlägen hervorgehenden kalten Lahar, die diese Arbeit leisteten. Diese stetig wiederkehrende Laharbildung verfrachtete die vulkanischen Produkte auf großen Abstand, leichter als dies durch trockene Aufschüt-tung der Fall sein konnte, daher der im Verhältnis zur ge-ringen Höhe weite Bergesfuß. Die Gipfelregion dagegen er-litt durch die von ihr ausgehenden und teils auf sie nieder-stürzenden Wassermassen eine recht starke Erosion. Der Klut bietet somit in dieser Hinsicht ein lehrreiches Beispiel des inneren Verbandes zwischen der Genese und Morpho-logie eines Berges, auf deren weitere Beziehungen hier je-doch nicht eingetreten sei. Das in Umrissen skizzierte Bild des Berges läßt sich auch deutlich aus der hier beigefügten

dort angeführte Literatur und gestatte mir diesen Hinweis auf eine dem Schweizer Leser leicht zugängliche Zeitschrift.

Kartenskizze (Fig. 1) herauslesen, wenn man die enge Schärung der 100 Meter-Höhenlinien in der Kraterregion mit ihrem weiten Abstand am Bergesfuß miteinander vergleicht.

Die Richtung der Lahar ist vorgezeichnet durch die im Vulkanmantel vorhandenen Täler. Entsprechend der Bergform strahlen diese allseitig radiär vom Krater aus. Die größeren erreichen rückwärts ansteigend die Kraterumrandung, die kleineren nehmen ihren Ursprung an Verzweigungen der Radiärrippen. Die gewaltige Erosionskraft abwärts stürmender Lahar verändert den Lauf solcher Täler öfters, wie überhaupt die feinere Topographie des Berges durch jeden Ausbruch belangreiche Veränderungen erleiden kann.

Zum Verständnis der Entstehung und Wirkungsweise der Lahar des Klut haben wir uns erst über die vorhandenen Hauptradialtäler zu orientieren. Nordwest- und Südseite besitzen, entsprechend dem weiten Bergfächer nach diesen Richtungen zu, solche vom Bergfuß bis zur Kraterumrandung reichende Haupterosionsrinnen: Kali Konto, Lahar Ngobo, Lahar Badak, Kali Semut, Kali Lekso usw.; sie mögen vor Zeiten alle ungefähr gleich stark zur Laharbildung gedient haben. Heute sind die Verhältnisse andere. Während alle anderen auf der Außenseite des recht hohen Kraterandes ihren Ursprung nehmen, steht das Tal des Lahar Badak heutzutage durch die Bresche des schon erwähnten «overlaat» mit dem Kraterinnern in offener Verbindung. Das Lahar Badak-Tal ist somit bei jeder Eruption die gegebene Bewegungsbahn für den sich bildenden Lahar; es empfängt die Wasserflut gewissermaßen aus erster Hand und in voller Kraft. Das Gelände des Vulkanfußes, auf das der Lahar Badak resp. seine unteren Verzweigungen ausmünden, war und ist den Verheerungen der wilden Schlammflut am meisten ausgesetzt. Es sind dies die volkreichen Distrikte Srengat und Blitar, die denn auch bei der letzten Eruption am meisten gelitten haben.

Nachdem nun die vorangehende vulkanologische Skizzierung des Berges uns mit dessen Wesen bekanntgemacht hat, vermag der

Anstieg zum Krater nach der Mai-Eruption des Jahres 1919

das zu Sehende ins richtige Licht zu rücken.

Des Berges kurzer Wutausbruch war schon längst vorüber, als ich mich ihm näherte (8./9. Juni); das Ungeheuer hatte sich wieder schlafen gelegt; sein wärmezeugendes Leben verriet nur mehr ein aus der Ferne hie und da noch sichtbares Dampfwölkchen, wenn es eben noch die Kraterrandlinie streifte. Sonst wieder verräterische Ruhe; nur Berichte über Berichte über Verwüstungen, über trostlose Vernichtung alles, was menschlicher Fleiß im fruchtbaren Gelände zu nährenden Frucht aufzuziehen bestrebt war; dazu zwischen Blitar und Udanawu ein Massengrab der durch die nächtliche Schlammflut überraschten Opfer.

Das weite Vorland des östlichen Bergfußes zeigte, abgesehen von der trübgrauen Stimmung und Farbe, die Lebendes und Nichtlebendes im Banne hielt, noch wenig Anzeichen der Katastrophe. Die Durchwanderung der obersten Kaffeeplantagen in zirka 700 Meter führte aber alsbald rasch in den Bereich der Eruptionseinwirkungen. Wehmütig-traurig standen die Kaffeesträucher unter der schwer ihnen auflagernden Aschenschicht; das Gewicht der Asche⁵ verursachte hier den meisten Schaden. Zusehends war die Einwirkung der Hitze deutlicher; versengte Sträucher gaben Zeugnis davon. An das grüngraue Melange der Kaffeegärten schloß sich die erste Laharwanderung. Obwohl uns noch ein Horizontalabstand von zirka 6 Kilometer vom Krater trennt, führt der

⁵ Die Asche wirkte in größerer Vulkannähe in den Anpflanzungen besonders durch ihr Gewicht und ihre Wärme, während ihre Zusammensetzung weniger von Einfluß war; wohingegen mehr gasreicher (SO_2 -gehalt!) Bimsteinfall eintrat, waren dessen Schädigungen größer. Für die Klutasche von 1919 wurden sp. G. gefunden, welche zwischen 2,4 und 2,7 liegen (nach Trocknen und Austreiben der Luft!), wobei in Vulkannähe ein Magnetitgehalt von bis zu 5 Prozent bestimmt wurde.

Nach ihrer petrographischen Zusammensetzung erwies sich die Asche als einem Hyperstenaugit-Andesit entsprechend, was der Zusammensetzung der Klutgesteine, auch älterer Ergüsse, weitgehend gleichkommt; im Laufe der Zeit blieb sich der Magmatypus des Vulkans mithin gleich.

Anstieg durch die nach oben leitenden ersten Lahartäler (Lahar Gedok und seine obere Fortsetzung, der Lahar Gupit) rasch in eine Zone gründlichster Vernichtung. Wenn auch nur ein kleiner Ausläufer des Hauptlaharstromes in diese Täler übertrat, so haben doch Hitzewirkung, Bomben- und Aschenfall in dem nach den vorhandenen Baumleichen zu urteilen zuvor kräftig dastehenden Wildbusch gründlich aufgeräumt. Jedwedes Grün ist aus dem Bilde gebannt. Zusehends nimmt die Wildheit, das Chaos der Vernichtung zu. Steile Gehänge hatten sich schon entledigt und drohten weiterhin noch sich ihrer Aschenlast in kleineren und größeren Abbrüchen zu entledigen. Der Anstieg durch diese lebensfeindliche, graue Einsamkeit ward beinahe ungemütlich.

Da, nach 1 $\frac{1}{2}$ stündigem Verlassen des letzten Grüns kam die Erlösung: zwei weiße Zeltdächer, ein Menscheneiland in dieser monotonen Einöde! Das Biwak der zuvor erwähnten kühnen Pioniere, die kurz nach des Berges Hauptleistung zu dessen Beobachtung hierher gezogen waren, liegt vor uns. Doch ein anderer überraschender Anblick fesselt zugleich. Ähnlich ist die Ueberraschung, wie beim Erreichen eines Grates, zu dessen Füßen ein breiter, talfüllender Gletscher dahinzieht, wenn man hier plötzlich den grauweißen Strom des großen Lahar Badak vor sich liegen sieht. Kein Talabschluß der Gupitrinne, der wir talaufwärts gefolgt waren, trennt mehr dieses Tal von dem großen Lahartal; eine Stufe von zirka 10 Meter leitet hinab auf den besonders längs seinen Rändern noch dampfenden Schlammstrom. (Die Stufe liegt im Vordergrund des Bildes der Fig. 4, während dahinter das Biwak sichtbar ist; hinter diesem das Tal des Lahar Gupit, nach dem Bildhintergrunde, d. i. talwärts leitend.) Sei es, daß frühere Erosion daran mitgeholfen hat, oder aber sei es, daß die Gewalt des letzten Lahar allein die Arbeit vollbracht hat — was nach älteren Photographien zu urteilen nicht der Fall sein soll —, die trennende Bergrippe zwischen beiden Tälern, Gupit und Badak, ist entfernt, eine Stufenverbindung zwischen beiden ist zustande gekommen, so daß in Zukunft einem großen Lahar auch der Weg direkt

gegen das östliche Vorland offen stände (vergl. Kartenskizze Fig. 1).

Der große Lahar Badak war von nun an die in einer schwachen Stunde zum Krater leitende breite Straße. Sie erforderte freilich ihre Vorsicht, denn allüberall dampfte und zischte die darin noch eingeschlossene Wärme nach außen⁶. Wer jedoch glaubte, sich durch einen trügerischen heißen Schlammstrom oder über eine lose Aschendecke hindurch schlagen zu müssen, konnte angenehm enttäuscht sein. Die den Laharstrom bedeckende Asche war zu einer ein Personengewicht leidlich tragenden Decke zusammengesintert (Fig 7). Wohingegen Erosion die Decke schürfte und einem heißen «Nest» darunter den Ausgang öffnete, da formte sich geradezu ein neuer «sedimentärer Vulkanismus», dies besonders in der ersten Zeit nach der Eruption. Mächtige Gas- und Dampferuptionen mit Auswurf von Laharmaterial waren die Folge solcher Schürfungen. Mancherorts war die Oberfläche des Lahars durch solche kleinere Laharvulkane umgemodelt. (In Fig. 5 sind rechts im Vordergrund die noch schwach dampfenden «Krateröffnungen» und ihre teils zerstörten Ränder sichtbar; im Bildhintergrund, bei dem weißen Punkt [Zelte], die Stufenmündung des Gupit-Tales.) Von größeren solchen Lahareruptionen des frühesten Stadiums berichtet Dr. *Kemmerling*, daß sie Material bis 60 Meter in die Höhe warfen und Dampfsäulen bis zu 1 Kilometer Höhe entwickelten, so daß man in der Tiefe des Vulkanfußes an eine vermehrte Tätigkeit des Vulkankraters glaubte.

Mit dem obersten Teil der Laharwanderung war der Abschnitt erreicht, wo die erodierende Wirkung des letzten Laharnachzuges das Tal mehr oder weniger ausgeräumt hatte und somit reichlich der anstehende Andesit zutage kam. Noch ein kurzer und steiler Anstieg über denselben, und von der Schwelle des «overlaat» schweifte der Blick in die Tiefe

⁶ Ausströmende Gase hatten im Beginne der Beobachtungen von Dr. *Kemmerling* noch eine Temperatur von 360 Grad Celsius; diese hohe Temperatur soll der Lahar hauptsächlich dort behalten haben, wo Bimsteinansammlungen vorhanden waren, deren heiße Vulkangase nur allmählich dem porösen Gestein entweichen.

des Kraters hinab. Ohne besondere Schwierigkeit konnte der Eindringling über die Aschenlagen, die durch die nach der Kratertiefe zurückrieselnden Wasser arg zerfurcht waren, einwärts dringen (Fig. 6.) Eine brodelnde heiße Wasserlache, zum größten Teil in Dampfschwaden verborgen, nahm den tiefsten Teil des neugewordenen Kraterbodens ein (siehe Fig. 3)⁷. Ein Gefühl der elendiglichen Nichtigkeit des Menschleins bodigt hier den Beschauer, der auf diese Stätte wilderster Kraft niedersieht, auf den Ort, der eben noch die wichtigsten Veränderungen durchmachte. Anscheinend ist der Gewalt des Erdinnern an dieser ihrer Meldestelle Genüge getan; doch es ist kein endlicher Abzug, kein sich Abmelden des über die kleine Menschheit hohnlächelnden Vulkanus; er meldet sich wieder; die Geschichte der Kluteruptionen gibt die Gewähr dafür.

Bevor dazu einige Zahlen angeführt seien, beschäftige uns der

Hergang der Eruption und ihrer Folgeerscheinungen

noch etwas näher. Zeugen der Mai-Eruption des Jahres 1919 gibt es keine. Der Ausbruch überraschte den Menschen im Schlaf. Nachts 1.15 Uhr dröhnte das Getöse des sich heranwälzenden Lahars zu den Ohren der nächsten Anwohner am Bergesfuß (Kaffeeplantagen Tjandisewu und nächstgelegene javanische Dessa in zirka 500 Meter Höhe). Mit ungestümer Gewalt wälzte sich die Schlamm- und Steinflut des Lahars aus dem engen Vulkantal in das flachere Vorland, dort sich verbreiternd und rasch an Höhe verlierend⁸. In

⁷ Nach *Kemmerling* betrug die Oberfläche dieser Wasserlache noch den siebenten Teil des früheren Kratersees; ihr Inhalt, nur zu einem Viertel in der Form von Wasser anwesend, entsprach schätzungsweise noch 1 Million Kubikmeter. Geysirartige Spritzer wurden verschiedentlich beobachtet.

⁸ In der Gegend, wo der Laharstrom aus seinem Bergtal in das offene Vorland übertritt (oberhalb Kampong Badak), schätzt Dr. *Kemmerling* dessen Höhe auf 20 Meter bei einer Breite von zirka 200 Meter, was dem Schlammstrom somit einen Querschnitt von 4000 Quadratmeter gibt; dessen Schnelligkeit kann natürlich nicht mehr genauer berechnet werden.

ungefähr einer Viertelstunde später waren die volkreichen Ortschaften des Bergfußes wie Blitar, Srengat, Udanawu und viele andere — es wurden 104 Ortschaften heimgesucht — erreicht (siehe die Ausbreitung des Laharstromes in Fig. 1), unbarmherzig Verwüstung und Opfer fordernd. Die Größe des Unglücks resp. die Anzahl der Opfer wurde durch die Zeit des Einbruchs der Flut und die Finsternis, verursacht durch den nun folgenden Vulkanausbruch (Aschenwolke), wahrscheinlich noch bedeutend erhöht. Dem ersten Ansetzen des Lahars in den obersten Ansiedlungen folgte in auffällig langem Zeitabstande (zirka $\frac{1}{2}$ Stunde) später die Wahrnehmung des Kraterausbruches (Getöse, elektrische Entladungen, Rauchwolke); Auftreten vulkanischer Gase, örtlich verschieden starker Bimsteinfall und ein andauernder Aschenregen beschlossen im wesentlichen den Vorgang der Eruption, wie er am Bergesfuß mitzuerleben war.

Einer genaueren vulkanologischen Analyse des Eruptionsvorganges genügen jedoch solche, unter sich im allgemeinen auch nicht übereinstimmende Wahrnehmungen noch nicht; sie liefern höchstens Anhaltspunkte und können zur Kontrolle anderweitig gemachter Schlußfolgerungen dienen. Die möglichst eingehende geologische Beobachtung im Gelände, wie sie unmittelbar nach der Mai-Eruption durch den Vulkanologen Dr. *Kemmerling* besorgt wurde, erlaubt die zutreffendste Art der Aufeinanderfolge der Vorgänge der Eruption festzustellen. In Anlehnung an den eben genannten Geologen möchte ich deshalb für die Kluteruptio das folgende Schema der Aufeinanderfolge zusammenstellen:

präeruptives Stadium:

Ruhezustand im Seebecken,
Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre,
Versiegen von Quellen;
(entsprechend gemachten Beobachtungen)

Welche immense Wut der Strom entwickelt haben muß, wo sein Bett unvermittelt auf zirka 20—30 Meter eingengt wird, wie dies wenig oberhalb, beim Passieren der sogenannten Durgaschlucht, der Fall war, ist kaum vorstellbar.

eruptives Stadium:

p r ä e x p l o s i v e P h a s e :

Anreicherung vulkanischer Gase am Boden des Sees;
 Ansteigen der Spannung und rasch ungestümer werdendes
 Abheben der obersten Wasserschicht des Sees; kalte Laharbildung;
 Stürmischer Abhub und Auswurf des weiteren Seeinhaltes, dieser drängt hauptsächlich zur Oeffnung des «overlaet» hinaus, wird aber auch über die höheren Ränder hinausgeworfen; hohe Temperierung hat die Bildung des heißen Lahar zur Folge; unmittelbarer Uebergang zur

e x p l o s i v e n (p a r o x y s m a l e n) P h a s e :

Wasserrestant und Kraterpfropfen durch Explosion als Wasserdampf, Asche und Bimsteinbrocken aus dem Krater geworfen;
 Mehr oder weniger gleichzeitige Bildung einer «nuée ardente»;
 Explosive Zerstäubung magmatischen Materials (vulk. Sand und Asche abgebend); Entweichen hochgespannter Gase; Eruptionswolke;

s u b e x p l o s i v e P h a s e :

Fortdauer des magmatischen Auswurfes in stets geringer werdenden Explosionen, Aschenregen;

posteruptives Stadium:

Uebergang des Kraters in Solfatarenzustand: Umsetzen des Wasserzuflusses in Dampf, Entweichen vulkanischer Gase (Solfatarengase: H_2S , SO_2 , CO_2);
 Allmähliche Neuankündigung des Kratersees durch atmosphärische Niederschläge;
 Niveauschwankungen des Kraterbodens: Aufpressen eines Lavapfropfens (Tendenz zu neuem eruptivem Stadium);
 Abnehmende Solfatarentätigkeit und Zurückgehen der Temperaturen exhalierter Produkte und der Kratergesteine.

Soll über die Dauer der eruptiven Phase eine Angabe gemacht werden, so läßt sich vielleicht die präexplosive Phase

auf eine $\frac{1}{2}$ Stunde, die explosive auf wenige Minuten, und die subexplosive auf 8—10 Stunden veranschlagen.

Einige Vorgänge dieses Eruptionsherganges, der in früheren Ausbrüchen sicher übereinstimmende Analoga hat, fragen noch eine besondere Hervorhebung. Die Laharbildung, obwohl ja eigentlich nicht direkt ein vulkanischer Vorgang, leitete die Katastrophe ein. In Uebereinstimmung mit dem Umstand, daß nicht der ganze Seeinhalt durch eine einmalige heftige Explosion zum Krater hinausgeworfen wurde, sondern erst die obersten Wasserschichten, nur höchst wenig temperiert über den «overlaat» hinausgehoben wurden, ist das erste Eintreffen eines kalten Lahars am Bergfuße. Der nächst wuchtigen Entleerung mit hoher Temperierung des Wassers und Dampfumwandlung entspricht das Ankommen eines heißen oder wenigstens warmen Lahars⁹⁾ und das Ueberborden des Seewassers über die höheren Kraterränder und Bildung kleinerer warmer Lahar in den dort beginnenden Tälern (K. Lekso, K. Siwalan, Lahar Ngobo usw.). Das gewaltige Volumen an vulkanischem Material, das die Wassermassen zu Tale förderten, fanden sie natürlich in den schuttbeladenen Tälern und auf ihren Hängen, die ja ihrerseits auch nur das Sediment älterer Lahar repräsentieren; Vermehrung durch während der Eruption gefördertes Material war mehr nur eine unwesentliche Zugabe; eine Aschenschicht, die im Vulkangebiet selbst eine Dicke von 10—45 Zentimeter erreichte, deckte späterhin den zu einem guten Teil zur Ruhe gekommenen Strom ein und lieferte die schon erwähnte harte Schicht, welche das Begehen des Lahars nachher so leicht machte. Mit dem Ausgehen der Flut des «Eruptions» Lahars war und ist aber die Gefahr für die umgebende Landstrecke noch nicht gebannt. Gerade die Ueberstreuung der Vulkantäler und -gehänge mit losem vulkanischem Auswurf gibt die Veranlassung zur Bildung stets nachfolgender neuer Murgänge. Jede nieder-

⁹⁾ Die Temperatur der Schlamm-Masse, wie sie in Blitar ankam, war nicht mehr sehr hoch; unter den Verwundungen waren Brandwunden nicht gerade sehr bedeutend; allein Leichen, die längere Zeit im Lahar lagen, waren stärker verbrüht.

schlagsreiche Jahreszeit, also besonders die jährliche Periode des Westmonsuns, führt immer und immer wieder zur Bildung neuer Muren, die im Gegensatz zu den meist warmen «Eruptions»-Lahar als kalte Lahar bezeichnet werden und ihren Ursprung natürlich nicht immer in der Kraterregion zu haben brauchen. Ihr Vernichtungswerk im Anbauland — stetige Erhöhung des Laharbettes und daherige Laufänderung — wird, weil stets sich wiederholend, als noch verhängnisvoller erachtet als die wilde Wut des «Eruptions»-Lahars.

Eine weitere Erscheinung von Bedeutung bei der letzten Kluteruption war die Bildung einer sogen. Glutwolke oder «nuées ardentes», wie eine ähnliche erstmals bei der Vernichtung von St. Pierre auf Martinique (Mont. Pelée-Ausbruch 1902) näher bekannt wurde. Der Schluß auf ihre Entstehung, ihre Art und Wirkung ist, wie ja überhaupt auf den ganzen genaueren Eruptionsvorgang, ein indirekter. Die Glutwolke des Klut ist aufzufassen als ein der Hauptexplosion unmittelbar vorangehender Aushub resp. Auswurf eines emulsionsartigen Gemenges von Vulkangasen, hochgespanntem Dampf und den Zerspratzungsprodukten des bimsteinartigen Pfropfens des Kraterschlotes; da die Spannkraft der Gase nicht hinreichte, diese Wolke in die Höhe zu jagen, ergoß sie sich gleich wie eine Unwetterwolke vornehmlich über die offenere Kraterseite hin und kam auf den Gehängen des Berges zum Niederschlag¹⁰. Die aus der Glutwolke niederfallenden Bomben und Lapilli bestanden vorwiegend aus schlackigem Bimstein, die jenen Hitzegrad und Gasreichtum aufwiesen, von dem zuvor schon die Rede war (siehe Fußnote⁶); diese gasreichen Auswürfe können als dem zufolge der Druckentlastung (Seeauswurf!) ausgewor-

¹⁰ Für die am Merapi (Mittel Java) sich gelegentlich bildenden «nuées ardentes» (Glutwolken-Lawinen) betont Dr. Kemmerling, daß dieselben sich bilden aus einer Emulsion von Lavastaub, entstanden durch Niederfallen von noch heißer aber schon erstarrter Lava und den aus diesen Produkten freikommenden Vulkangasen. Die Emulsionsbildung hätte dann also erst außerhalb des Kraters stattgefunden.

fenen Lavapfropfen des Kraterschlotes zugehörig angesehen werden.

Die Glutwolke erreichte als solche den Vulkanfuß nicht, sie hätte ein zweites St. Pierre geschaffen, wohingegen ihr heißer Atem hinkam, erledigte sie mit dem aus ihr nieder gehenden Bimsteinregen das Werk grenzenlosester Vernichtung; jedwede Vegetation wurde natürlich versengt; mächtige Baumstämme an Steilhängen wurden glattweg in der Richtung der Glutwolke dem Gehänge nach zu Boden gestreht. Ein aus ihren schwereren Bestandteilen sich bildender heißer und wahrscheinlich trockener Lahar erreichte im Lahar Badak noch eine Länge von zirka 5 Kilometer und füllte denselben örtlich bis zu 30 Meter (?) Dicke an.

Soweit die Charakterisierung des Ausbruches, wie er sich im wesentlichen aus den Untersuchungen von *G. L. Kemmerling* ergibt. In der Erklärung der Ursachen, der Art und Aufeinanderfolge der Vorgänge herrscht freilich noch keine Uebereinstimmung. Während *Kemmerling* in der Ansammlung magmatischer Gase an der Basis des Kratersees die direkte Hebekraft für die Wassermassen sieht, glaubt *N. Wing Easton* diese in dem allmählich vor sich gehenden, in der präexplosiven Phase rasch zunehmenden Auftrieb eines mächtigen Lavapfropfens (Staukuppe) erkennen zu können. Der Explosion des Lavapfropfens im Sinne *Wing Eastons* folgte dann unmittelbar die Bildung der Glutwolke aus den schweren Bestandteilen der Explosion, vermengt mit überhitztem Wasserdampf, Gasen und Luft. Wenn auch diese Anschauung in verschiedenen Beobachtungen eine Stütze findet — z. B. in dem in der Uebersicht der Phasen schon erwähnten und später noch näher anzuführendem Aufpressen einer Insel (Lavapropfen) im Kratersee der post-eruptiven Phase, und des weiteren in merkwürdigen Differenzen, die sich ergeben zwischen der Wasservolumenzunahme im See, berechnet aus den atmosphärischen Niederschlägen bei Voraussetzung konstanter Kraterform und dem wirklich gefundenen Abflußdebit¹¹ —, so bleibt ihr doch

¹¹ Siehe Fußnote 13.

mühsam zu folgen. Dies zumal, wenn man bedenkt, welches prinzipiell anderes Eruptionsbild eine Staukuppenbildung bietet — man denke an den Galungung — gegenüber jenem explosiven Vorgang der Kluteruptionen. Daß ein Kraterboden, also der den Kraterschlot abschließende und auf eine variierende Dicke verfestigte Lavapfropfen, Niveauschwankungen mit gelegentlichem Aufpressen von Lavamassen unterworfen sein kann, verwundert ja für sich gar nicht; eine mächtige Staukuppenbildung — womit Umschmelzungsvorgänge oder geringere Aufpressung des Kraterpfropfens nicht identifiziert seien — repräsentiert aber einen speziellen Eruptionstypus und setzt ein physikalisch anders gestaltetes Magma (viel geringeren Gasgehalt!) voraus, als dies bei den Kluteruptionen der heutigen Tätigkeitsphase der Fall ist. Da die Natur freilich kein starres Schema kennt, mögen die Uebergänge von einem Typus in den andern an manchen Vulkanen vorhanden sein, jedoch zeitlich auseinander gerückt.

Die im Voranstehenden gegebene Schilderung einer Kluteruption gilt für den Ausbruch von 1919; blättert man in der *Eruptionsgeschichte des Berges* zurück, so reihen sich ähnliche Ausbrüche in großer Zahl aneinander. Nachspüren der Details für die älteren Ereignisse ist natürlich ausgeschlossen, wo allein schon die historische Festlegung mit Unsicherheiten rechnet. Der gleiche Typus ist immerhin weit zurückgehend erkennbar.

Die zeitlich nächstliegende Eruption datiert vom 22./23. Mai 1901 und zeigt weitgehende Analogie. Das Auswerfen des Kratersees, weil allmählicher sich vollziehend und der sich bildende Lahar (gleichfalls der Lahar Badak) sich im Vorland stark verteilte, war von bedeutend weniger verheerender Wirkung als im Jahre 1919. Andere Daten von heftiger Eruption sind 3./4. Januar 1864, 1848 (16. V.), 1835, 1826, 1811 usw. bis 1334 und zuvor. Die Aehnlichkeit der Ausbrüche ist, soweit Schlüsse zulässig, so typisch, daß föglicherweise von einem *Kluttypus* die Rede sein kann; die jüngere Morphologie des Berges gestattet ja den gleichen Rückschluß.

Eine belangreiche Aenderung in der Topographie des Berges vollzog sich mit dem Ausbruch des Jahres 1848, denn erst durch ihren Lahar wurde das Tal des Lahar Badak, wie es heute verläuft, geschaffen. Das Tal des Lahar Gedok nämlich leitete zur Zeit, da der verdiente Javaforscher *J. Junghuhn* den Vulkan bestieg und beschrieb (1844), noch bis an den Kraterrand hinauf; wie heute die Täler Gedok-Gupit auf den Lahar Badak ausmünden, wurde beim Krateranstieg schon erwähnt. Neben Eruptionskatastrophen verzeichnet der Klut auch Lahar von Bedeutung, die nichts mit Vulkanismus zu tun haben; so stürzte 1875 ein Teil des westlichen Kraterrandes ein und öffnete die Bresche, die heute das Kraterinnere mit dem Lahar Badak in Verbindung setzt; diese Vulkanseite war von dieser Zeit an in erster Linie den Verwüstungen der Lahar preisgegeben.

Die Aufeinanderfolge der Kluteruptionen läßt keine genauere zu definierende periodische Wiederkehr erkennen. Seit Beginn des vorangehenden Jahrhunderts ergeben sich Intervalle von 15,9, 13, 16, 37 und 18 Jahren, was somit einem Durchschnitt von 18 Jahren entspricht, eine Zahl, die freilich nicht viel aussagt. Wenn auch der kleine Mensch gegenüber den Kräften, die den Klut seinen Mund zu öffnen zwingen — oder mit anderen Worten gegenüber den magmatischen Umschmelzungen und Gasspannungen — ratlos dasteht, so ist es ihm in der heutigen Zeit doch möglich, die verheerenden Gefolgeerscheinungen einzudämmen und zu verkleinern. Wie diesem Ziele seit der 19er Eruption nachgestrebt wurde, soll in dem folgenden Kapitel kurz besprochen werden.

Die Vorbeugungsmaßnahmen.

Es ist klar, daß es nicht im Bereiche früherer Zeiten lag, den Vulkangewalten und ihren verheerenden indirekten Folgen in irgendeiner Weise wirksam oder in vorbeugender Weise zu begegnen. Der Anwohner kleidete den gefürchteten Berg in eine mythische Erhabenheit und unterwarf sich willfährig dem unabweisbaren Geschick drohender Vernich-

tung. Die europäische Kolonisation, die in den fruchtbaren Gefilden große Werte schuf, die stetigen, oft großen Menschenverluste, alles drängte bei dem heutigen Stande technischen Könnens auf rasche, bestmögliche Abhilfe, auf Eindämmung der verheerenden Wirkungen der immer sich wiederholenden warmen und kalten Lahar.

Auf die Eruption des Jahres 1901 hin wurde denn auch dem Klut resp. seinem Kratersee eingehende Aufmerksamkeit geschenkt. Verschiedene technisch-geologische Gutachten befassen sich während des letzten intravulkanischen Stadiums mit Präventivmaßregeln — dahingegen wurde sogar auch die Frage der Verwendung des Seebeckens als Reservoir für Irrigationszwecke zur Sprache gebracht. Zur Abwendung kleinerer kalter Lahar von dem volkreichen Blitar wurde die auf diesen Ort zuleitende Laharabspaltung (siehe Kartenskizze Fig. 1) mit einem absperrenden Damm versehen (1905), begreiflicherweise gegenüber der Gewalt des «Eruptions» Lahar ein nichtiges Spielzeug. Des weiteren wurde (1907) der Kraterauslaß um 7 Meter erniedrigt, d. h. bis auf anstehenden Andesit, um so einen möglichen Seedurchbruch durch loses Material zu verhindern; ein Betondamm mit Schleusen versehen hielt von nun ab das Seeniveau auf einer gewünschten Höhe. Eine gründliche Remedur, welche dem Krater sein Verderben bringendes Wassergeschoß entnahm, eventuell durch Abzapfung durch ein Tunnel, wie dies der begutachtende Ingenieur *Hugo Cool* schon ernstlich vorschlug, unterblieb jedoch, so daß dem letzten Ausbruch dieser Bundesgenosse der Verwüstung wieder voll und ganz zur Verfügung stand.

Welche lebendige Kraftes bedeutet, wenn eine Wassermasse von gegen die 40 Millionen Kubikmeter in 1200 Meter Höhe über Meer auf den Berghang resp. in ein relativ enges Tal hinausgeworfen wird¹², kann am ehesten eingeschätzt werden nach den gewaltigen erosiven Leistungen einer daraus ent-

¹² Der Bruch des Stauwehres im Val Gleno (Bergamasker Alpen) am 1. XII. 1923 gab einer Wassermasse von 6 Millionen Kubikmeter freien Lauf nach der Tiefe.

stehenden «Rüfe»; das Verlegen ganzer Täler, das Abschleifen ganzer Gehänge gibt davon Zeugnis.

Nach der 19er Eruption war denn auch die Frage nicht mehr gestellt nach der Art der Verwendung und Kontrolle des Kratersees, sondern nach dem schnellstmöglichen Mittel, dessen Neufüllung zu verhindern, resp. die Leerhaltung des Kraters ständig zu machen.

Nach den früher schon gemachten technischen und topographischen Aufnahmen waren die hydrotechnischen Verhältnisse des Sees für eine erste Beschlußfassung genugsam bekannt. Dessen Wassermasse wurde auf zirka 38,600,000 Kubikmeter veranschlagt — vor dem Kraterrandeinbruch von 1875 enthielt der See zirka 78 Millionen Kubikmeter Wasser —; der mittlere jährliche Niederschlag sollte dem Seebecken, nach dessen Anwachsen und Inhalt durch *Hugo Cool* schätzungsweise berechnet, zirka 6,5 Millionen Kubikmeter atmosphärisches Wasser zuführen¹³. Daraus ließe sich freilich noch nicht ein genauer Schluß auf den jährlichen Zuwachs resp. das Ansteigen des Seeniveaus im nahezu entleerten Kratterraum und so die Zeitdauer einer eventuellen Neuanfüllung tun. Einmal läßt sich das Einzugsgebiet des Sees, das über den heutigen Kraterrand hinausgreifen dürfte, nicht genauer ermitteln und sein Ertrag in Rechnung bringen, des weiteren aber können Bodenbewegungen während der Auffüllung die Kapazität der Seewanne ganz belangreich beeinflussen und, wenn nicht hinreichend bekannt, den Wert der Inhaltsberechnung und die Bestimmung der Zeit zur Neuanfüllung sehr unsicher machen. Immerhin ergab die rechnerische Behandlung der Seeanfüllung hinreichende Anhalts-

¹³ Als eine mittlere Niederschlagshöhe (1908—1919) wird 3820 mm angegeben; die zwei letzten Beobachtungsjahre, also während der Seeneufüllung, ergaben dagegen für den Klutkrater 1923: 4038 mm, und 1924: 4357 mm; *Kemmerling* führt für das durch ihn mutmaßlich abgegrenzte Einzugsgebiet des Sees (1,43 Quadratkilometer) eine jährliche Niederschlags-Volumenzunahme für den See von 4,98 Millionen Kubikmeter an, während die Berechnung aus dem Abfluß eine solche von 9,68 Millionen Kubikmeter ergeben soll, welch letzterer Betrag, das Wasservolumen des Sees und die Auffüllungszeit miteinander vergleichend, besser harmoniert.

punkte, um daraus technische und geologische. Schlußfolgerungen ableiten zu können.

Die Erfahrung von nach 1901 hatte gezeigt, daß die Neuanfüllung des Sees in zirka $4\frac{1}{2}$ Jahren vollzogen war. Gleiches wie in der abgelaufenen intravulkanischen Periode konnte mutatis mutandis auch für die jetzige Periode von Geltung sein, dies zumal für beide Perioden der Fall vorhanden war, daß während des ersten Jahres zufolge der Solfatarentätigkeit am Kraterboden und vielleicht noch nicht genügend wirkender Abdichtung, kein Seezuwachs sich vollziehen konnte.

Der seither trotz dem Einsetzen der Vorbeugungsmaßnahmen wieder zu einem Höchststand von 1189 Meter (Oktober 1923) angewachsene See (Füllungs-niveau 1196 respektive 1206 Meter¹⁴) blieb wenig hinter der Ganzfüllung der Kraterwanne, was also in $3\frac{1}{2}$ Jahren geschah. Den fehlenden Restbetrag in Berücksichtigung gezogen, wäre also eine Neuanfüllung in ungefähr 4 Jahren vollzogen gewesen. Die diesmalige wie die frühere Seeneufüllung steht bezüglich der dazu notwendigen Zeit in Widerspruch mit der Seevolumenzunahme, berechnet aus der jährlichen Niederschlagsmenge — die Seewanne müßte darnach eine längere Zeit zur Auffüllung gebrauchen —, weshalb der Schluß, daß der Kraterraum während der Auffüllung Volumenveränderungen durchmacht, nicht umgangen werden kann; sie sind auch seither beobachtet worden.

Nach dieser teils vorausgreifenden Betrachtung über Seeinhalt und Auffüllung kehren wir zurück zum Zustande, wie er sich 1919 stellte. Die zu treffenden Präventivmaßnahmen gegenüber Neuausbrüchen hatten sich in verschiedener Richtung zu bewegen:

1. **Bewachung des Vulkans nach seinem thermisch-seismischen Verhalten**, um daraus Schlußfolgerungen auf eine zunehmende Aktivität ziehen zu können;

¹⁴ Die Unsicherheit in der genauen Kenntnis des früheren Füllungs-niveaus soll durch einen Höhenbestimmungsfehler des «overlaet» (= 2 m über Füllungs-niveau) verursacht sein.

2. **Entfernung des Kratersees**¹⁵ zur Vermeidung der aus seinen Wassermassen sich bildenden Lahar, und
3. **Zweckmäßige Wohnungsanlage** und schnell funktionierender Warnungsdienst.

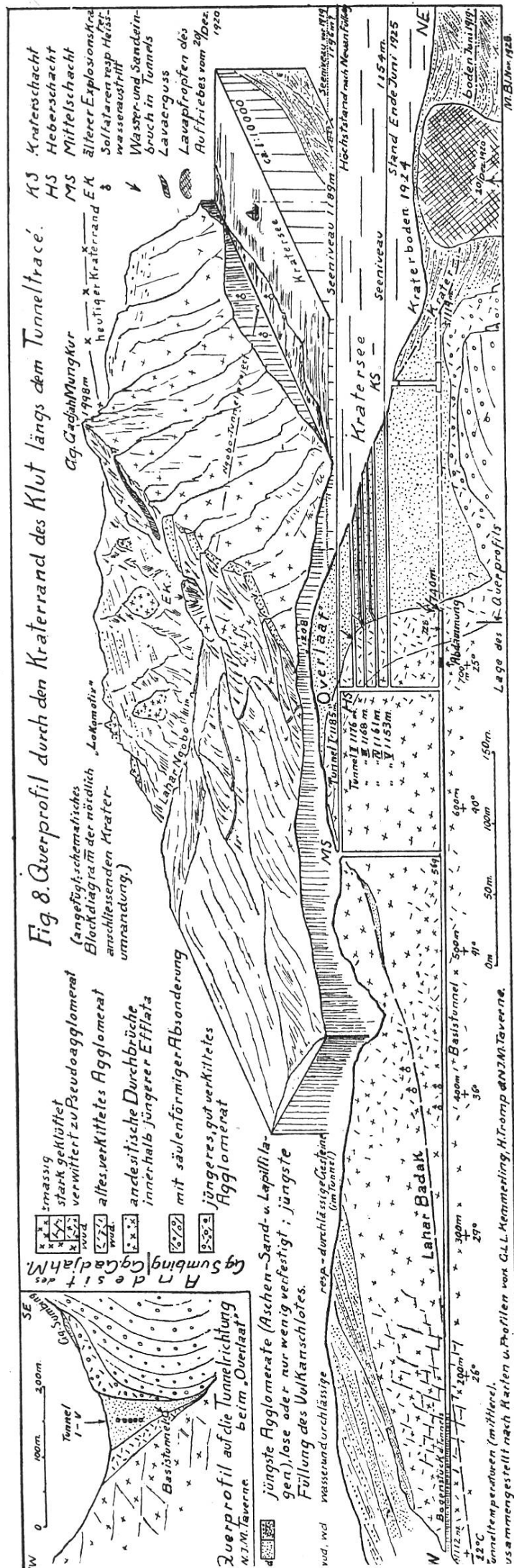
Der ersten Forderung genügt in weitgehendem Maße die staatliche Einrichtung des Vulkanbewachungsdienstes, wie sie in Niederländisch Indien seit 1920 organisiert und durch vorzügliche Kräfte bedient worden ist. Aufstellung und Beobachtung selbstregistrierender Thermometer zur Messung der Seewassertemperatur, Messung von Gas- und Gesteinstemperaturen in Tunnels und anderwärts, Messung von Quellen, Aufstellung von Seismometer und eventuell Tremometer usw. können durch Aneinanderreihung von Beobachtungsserien Grundlagen liefern, welche über das innere Leben des Berges den besten Aufschluß geben. Messungen und Beobachtungen solcher Art konnten freilich erst im Laufe der Zeit von großem Wert werden. Desgleichen war die möglichste Rücksichtnahme auf die Lage der Wohnstätten (laharsichere hohe Ufer) eine Frage der Zeit. Mehr Eile fragte die Erledigung der Kraterseefrage. Hier spielte der Zeitfaktor eine erhebliche Rolle, zumal es galt, der neuen Seeauffüllung nach Möglichkeit zuvorzukommen und bei jedem unberechenbar sich einstellenden Neuausbruch ein fertiges Werk zu haben.

Das Studium der Ausführungsart der Trockenlegung des Kratersees wurde auch unmittelbar nach dem Ausbruch in gründlicher Weise zur Hand genommen. Folgende Möglichkeiten kamen in Erwägung; der Krater wird trocken gehalten:

1. durch eine Pumpeneinrichtung;
2. Anlage eines Tunnels;
3. Eingraben eines tiefen Auslasses.

Da schon im Februar 1920 zur Anlage eines Tunnels übergegangen wurde, wird uns dieses Projekt und dessen Ausführung

¹⁵ Es wurde späterhin auch die Frage aufgeworfen (Prof. B. G. Escher, Leiden), ob die Entfernung des Sees nicht event. gar eine die Glutwolkenbildung fördernde Wirkung haben könnte. Die indischen Vulkanologen (Kemmerling, Taverne) halten jedoch eine solche Beeinflussung nicht als bestehend, eher das Gegenteil.



rung noch weiter beschäftigen; deshalb vorab einige Bemerkungen zu den übrigen Möglichkeiten.

Eine Pumpinstallation, angetrieben durch eine elektrische Zufuhrleitung aus der Ebene, hätte sehr wahrscheinlich die Tiefhaltung resp. die Auspumpung eines neu sich bildenden Sees in relativ kürzester Zeit bewerkstelligt. Diese, wie auch andere Unternehmungen, hatten mit schwieriger Zufuhr zu rechnen. Der Nachteil einer Pumpeinrichtung war die sehr wahrscheinliche Zerstörung — sofern nicht eine genügend sichere Einmauerung oder Einsprengung in den Andesit des G. Sumbing gewählt wurde — bei einer nächsten Eruption, sowie eine geringere Betriebssicherheit; auch an eine Schädigung der Eisenteile durch säurereiches Wasser dachte man. (Spätere Prüfung ergab zwar, daß das Seewasser nahezu neutral reagiert.) Das Abgraben des Riegels bis auf seine äußere Basis (zirka 110 Meter) frug einen ganz bedeutenden und kostspieligen Bergaushub und hatte mit dem voran erwähnten Projekt die wahrscheinliche Zerstörung bei Neuausbruch zur Folge. Welches auch die Vor- und Nachteile, Mehr- oder Minderkosten des einen gegenüber dem andern Projekte waren, es wurde zur Ausführung des Tunnelprojektes übergegangen, und zwar nach der Tracéanlage des mit derem Studium betrauten Ingenieur *H. von Steiger*. Rückschauend, was freilich leichter ist als ausschauend das Beste zu erkennen, kommt man nunmehr eher zur Ueberzeugung, daß die Pumpinstallation doch das zweckmäßigste Projekt gewesen wäre, insbesondere, wenn man heute das Bild des durch Galerien und Schächte geradezu perforierten Riegels des «overlaats» betrachtet. (Für das Folgende sei stets auf das Profil der Fig. 8 verwiesen.)

Für die Durchbohrung des Vulkanmantels wurde wegen der größtmöglichen Kürze ein Tracé gewählt, das das Kraterinnere mit dem Lahar Badak verbinden sollte. (Ein anderes, aber größere Tunnellänge fragendes Projekt war jenes durch den Gadjah Mungkur nach dem Lahar Ngobo; siehe Blockdiagramm Fig. 8.) Da die mittlere Tiefe des Kraterbodens nach der Eruption in zirka 1100 Meter lag, wurde das äußere Tunnelende bei Inachtnahme einer möglichst gün-

stigen Lage des Mundloches (fester Andesit) in zirka 1113 Meter auf der linken Seite des Lahar Badak gewählt; das gewählte Tracé entsprach auch einem möglichst langen Durchsetzen festen Gesteins, war aber in dieser Hinsicht doch weniger günstig als das Ngobo-Projekt; ein Gefälle von 2‰ und eine Länge von zirka 980 Meter waren vorgesehen.

Man sah sich vor eine recht neue, wenn auch die Leistungen beim Tunnelbau der Alpen damit vergleichend, nicht vor eine außergewöhnlich schwierige Aufgabe gestellt. Das Durchbohren eines Kraterrandes hatte natürlich mit ganz unberechenbaren Faktoren zu rechnen, welche die Ausführung ganz gewaltig behindern konnten, wie hohe Temperaturen, Vulkangase, Einbrüche von Wasser und Sand, wenn lose Agglomerate zu passieren waren, was auf der Kraterseite vorauszusehen war. Die geologische Expertise und Prognose setzte alle diese Gesichtspunkte nach Möglichkeit in das richtige Licht.

Die begleitende Profilskizze (Fig. 8) durch den zu durchbohrenden Kraterrand enthält die bis Mitte 1925 ausgeführten Anlagen. Es lassen sich darin zwei Etappen des Tunnelbaues auseinanderhalten: 1920—1923, welche Etappe die teilweise Ausführung der Tunnelbaute nach dem Steigerschen Plane umfaßt, und 1923—1925, in welcher Zeit die kombinierte Schacht-Galeriemethode nach den Vorschlägen von Ing. *H. Tromp* ausgeführt wurde. Der eigentliche Tunnelbau frägt eine erste kurze Besprechung.

Wie zu erwarten, konnte der Tunnel auf die Hauptstrecke seiner erreichten Länge (6—741 resp. 728 Meter) in dem Andesit des Gadjah Mungkur vorgetrieben werden. Doch erwies sich derselbe bei weitem nicht überall als standfest; längs Kluftflächen stürzte das Gestein auf weite Strecken stets nach; andere Partien zeigten wiederum einen eher lockeren, durch Verwitterung, wahrscheinlich unter Gaseinwirkung, zu einem agglomeratähnlichen Gestein gewordenen Andesit; einzelne Strecken stärkeren Gasausströmens (Temperatur bis 46 Grad Celsius¹⁶) kosteten merkwürdigerweise

¹⁶ Die angetroffenen Temperaturen sind dem Profil (Fig. 8) beige-schrieben; vergleichsweise sei hier angefügt, daß der Tunnelbau durch den

relativ geringere Mühe. Obwohl mit Tag- und Nachtschichten gearbeitet wurde, wobei man aber eben auf ganz ungelernete inländische Arbeiter angewiesen war, machte man während der ersten 2 Jahre nur einen Fortgang von 600 m. Parallel den Tunnelarbeiten auf der Lahar Badakseite ging das Abteufen eines Schachtes auf halber Höhe der Kraterseite (Kraterschacht, KS des Profils) und die Inangriffnahme der Tunnelmündung auf der Kraterseite, welche jedoch in Anbetracht der dort herrschenden Hitze bald unterbleiben mußte. Aber auch die Kratergeister schienen gegen diesen Angriff auf das Bergesinnerste sich sträuben zu wollen. Nicht weit von der Tunnelmündung staute sich in der Nacht vom 6. auf den 7. Dezember 1920 ein Lavafropfen empor, damals als kleine Insel über das neue Seeniveau hervorragend, den See resp. Kraterboden in dieser Partie nicht unwesentlich erhöhend; die voran schon gemachte Einschränkung bezüglich einer konstanten Seewanne wird dadurch ins richtige Licht gerückt. Der Fortgang der Tunnelarbeiten auf der Kraterseite erhielt so sein Ende. Auch der Kraterschacht wurde nach Erreichen der Tunnelaxe nicht nennenswert weiter in derselben fortgesetzt; man hatte daselbst Gasausströmungen, die bis zu 40 Prozent CO_2 enthielten, angetroffen. Ein weiterer ausgeführter Schacht, der Mittelschacht (MS des Profils), diente hauptsächlich Ventilationszwecken. Auf Ende März 1923 — der Kratersee war inzwischen bis auf 70 Meter über das Tunnelniveau gestiegen — waren die Tunnelarbeiten bis auf zirka 220 Meter von ihrem vor auszusetzenden Ende auf der Kraterseite fortgeschritten, als Wassereintritt (erst 6 L.-Sek., später 30—40 L.-Sek.) die Nähe oder gar schon den Uebergang in loses, wasserführendes Agglomerat der Kraterinnenseite fürchten ließ. Aus festem Andesit war der Tunnel in noch wasserundurchlässiges, festverkittetes Agglomerat übergegangen, schnitt darauf (erstmalig bei 728 Meter) aber mit seiner rechten Seite

Simplon Höchsttemperaturen von 54 Grad Celsius zu überwinden hatte und auf mehr als 2 Kilometer solche von über 50 Grad Celsius anhaltend traf; freilich war die Atmosphäre eine bessere als im Gestein eines tätigen Vulkans.

stark wasserdurchlässiges Gestein an, das sich später als mit dem unverfestigten Kraterschutt des Kraterinnern identisch zu sein erwies. Wasser- und Sandeinbrüche unter recht hohem Druck — die sieben Atmosphären des Kratersees standen dahinter — fanden statt und füllten das Tunnel auf eine größere Strecke, welches Ereignis auch fünf javanischen Arbeitern das Leben kostete (April 1923).

Ein zweiter Gasterntal-Einbruch, wenn auch in kleineren Dimensionen, hatte sich vollzogen¹⁷; «man war durch das Unglück überfallen worden, während man zu Sicherungsmaßnahmen überging». Dem engeren Tunnelprojekt setzte das Ereignis auf der erreichten Länge von 741 Meter ein Ende; der Tunnel wurde bei zirka 700 Meter abgemauert. Eine Möglichkeit der Fortsetzung durch Ausweichen in festes Gestein à la Lötschberg oder die Anlage eines Drainierungssystems zur Ermöglichung weiterer Tunnelarbeit, sei es in gleicher oder abweichender Richtung, trat zurück hinter der Ausführung eines anderen Projektes, das den Ingenieur *H. Tromp* zum Urheber hatte.

Der Grundgedanke der *Trompschen* See-Entleerung war, den nunmehr schon hochangestiegenen Kratersee durch eine Serie kurzer Tunnels anzubohren und treppenweise von Niveau zu Niveau vermittelt einer Heberleitung zu entleeren. Wollte man zur Erhöhung der Leistung eines solchen Siphonsystems eine Pumpeinrichtung hinzufügen, so war die Entleerung zu beschleunigen, blieb man allein beim Saugheber, so war ohne weitere bewegende Kraft eine meist ökonomische und relativ rasche Entleerung möglich; dies freilich unter Voraussetzung, daß die Tunnelarbeiten keine neuen Schwierigkeiten antreffen; zudem war dadurch aber auch das gefährliche Weiterarbeiten unter hohem Niveau des Sees umgangen.

¹⁷ Wie bekannt, geriet (24. VII. 1908) der Richtstollen des Lötschberg-tunnels am Fuße des Fisistockes unverhofft in das übertiefte Gasterntal und stieß so plötzlich in den grundwasserdurchtränkten Gasternkies vor, was den folgeschweren Einbruch verursachte. Mit Ausweichen des Tunnels in einer Kurve in den Gasterngranit wurden die Tunnelarbeiten fortgesetzt.

Anscheinend ohne langes Zaudern schritt man zur Ausführung dieses Planes (Juni 1923). Dieser forderte die Anlage neuer Tunnels. Ein erstes von zirka 185 Meter Länge wurde in 1185 Meter getrieben, als zugehöriger äußerer Heberschenkel diente der Mittelschacht. Die eingebaute Heberleitung funktionierte aufs beste; ihr Saugeffekt erniedrigte das Seeniveau um 8,25 Meter. Auf das höchste Tunnelniveau des neuen Planes folgten sich in kurzen vertikalen Abständen, entsprechend der möglichen Saugwirkung, tiefere; sie wurden von einem neuen, größere Kürze ermöglichenden und auf das alte Tunnelniveau abgeteuften Schacht (er ist im Profil als Heberschacht, HS, markiert) aus vorgetrieben; ihre Niveaus lagen im Schacht in zirka 1176, 1168, 1161 und 1153 Meter. Auf Mitte 1925 war der Zustand der, daß vermittelst des vierten Tunnels der Wasserspiegel (ab 1189 Meter!) auf 1154 Meter gebracht war und noch zirka 8,5 Millionen Kubikmeter Wasser des Aushubes warteten.

Das angestrebte Ziel, die Trockenlegung des Kraterbodens, war der Verwirklichung nahe gebracht — oder ist wahrscheinlich heute erledigt¹⁸ —, wenn auch Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwand ein grelles Licht auf die Schwierigkeiten werfen, welche sich der Durchbohrung eines Kraterrandes, zudem im Gebirge der Tropen, entgegenstellen. Es ist trotz der Kraftanwendung Kleinwerk gegen die kleinste Regung des Riesen. Und schickt dieser nach gehabter Ruhepause sich wieder an, seinem angehäuften Groll Luft zu machen, dann mag er seinen Aschenwurf mit ungehemmter Explosionsenergie ohne Seezugabe in die Atmosphäre zersteuben — über Zeiten befruchtet er ja damit wieder den Boden. Sache eines aufmerksamen und wissenschaftlich geleiteten Bewachungsdienstes wird es freilich stetsfort bleiben, gewissermaßen die «Feingefühle» des Riesen zu erlauschen und jedwede Regung zum Aufruhr zeitig zu erkennen.

¹⁸ **Nachschrift.** Ueber den letzten Zustand der Klutarbeiten verdanke ich Herrn Dr. N. J. M. *Taverne* in Moeara Enim (Sumatra) Mitteilungen, aus denen ich das Folgende entnehmen möchte:

An das im begleitenden Querprofil der Fig. 8 noch eingezeichnete Tunnelniveau von 1153 m (alle Zahlen stets abgerundet!) schlossen sich nach

der Tiefe zu noch zwei weitere Niveaus an, welche, wie die vorangehenden, von Hilfstunnels begleitet waren; dieses sechste und siebente Niveau des ganzen Hebersystems lagen bezw. in 1143 m und 1133 m. Der Wasserabhub durch das vorletzte Tunnel ließ die zuvor erwähnte kleine Lavainsel, die vom 6./7. Dez. 1920 (Profil enthält irrtümlicherweise 20. Dez.!) im Krater aufgestiegen war, wieder zum Vorschein kommen.

Im Jahre 1925 wurde eine Wasserschicht von 27,97 m, im Jahre 1926 noch eine solche von 13,15 m abgehoben, wobei das Seeniveau auf 1129,4 m zurückgebracht war, und in der Kratersceewanne noch ca. 1,800,000 m³ Wasservolumen verblieben, eine Quantität, die bei Neutätigkeit nicht mehr zum Verhängnis werden kann; verschiedene Tunnelniveaus werden nunmehr noch betoniert.

Geringe Tendenz zu Neutätigkeit im Krater machte sich im Mai 1926 durch Stärkerwerden der Fumarolentätigkeit (H₂S), Veränderung der Seefarbe (Trübwerden), und Temperaturerhöhung bemerkbar, ging aber noch im Juni gleichen Jahres auf die «Normalruhe» zurück.

Rückblickend darf nunmehr gesagt werden, daß die Anstrengungen und Maßnahmen, womit man den Gefahren des Klut beizukommen suchte, heute, nach Erledigung der See-Entleerung, als ein seinen Zweck erfüllendes des Unternehmen angesehen werden darf.

Erläuterungen zu Tafel 2:

Fig. 2. **Der Gunung Sumbing.** (Säulenförmige Absonderung des Andesits; Vordergrund des Bildes entspricht dem Taleinschnitt beim «overlaats».)

Fig. 3. **Tiefblick in den Krater nach der Mai-Eruption 1919.** (Im Hintergrund der Pik des Klut, 1731 m; im Bergsporn davor setzen Andesitgänge durch.)

Fig. 4. **Das Biwak am Durchbruch vom Lahar Badak zum Lahar Gupit.** (Vordergrund Stufe des einen Tales in das andere.)

Fig. 5. **Kleine, dampfausstoßende «Lahar-Krater» auf der Oberfläche des Lahar-Badak.** (Punktiert: Dampfkraterränder; der gestrichelte Pfeil gibt die Strömungsrichtung des L. Badak an.)

Fig. 6. **Blick von innerhalb des Kraters gegen den «overlaats» nach der Mai-Eruption 1919.** (Vordergrund: durchrillte Aschenlagen.)

Fig. 7. **Laharoberfläche im mittleren Teile seines Laufes.** (Oberfläche bedeckt durch hartgewordene Aschenschicht.)

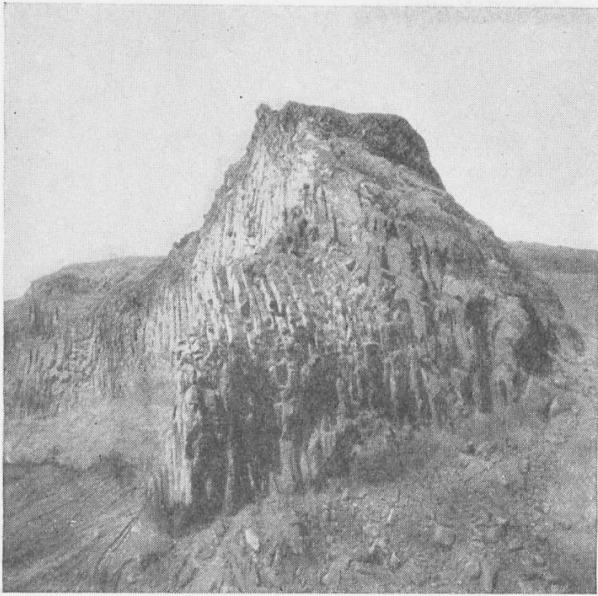


Fig. 2.

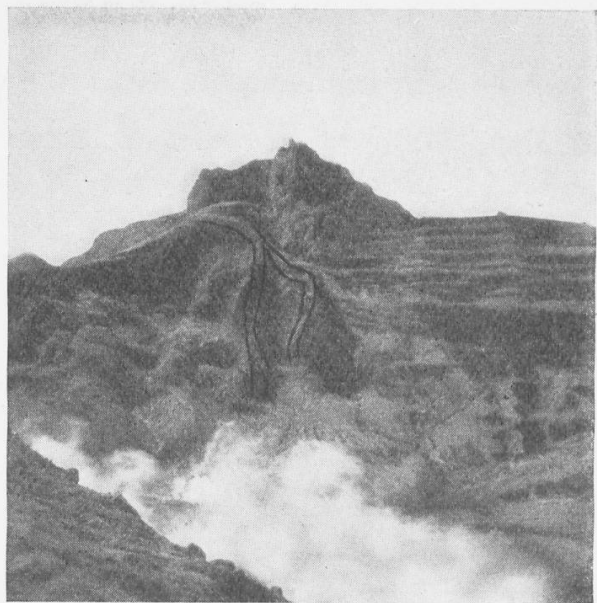


Fig. 3.



Fig. 4.

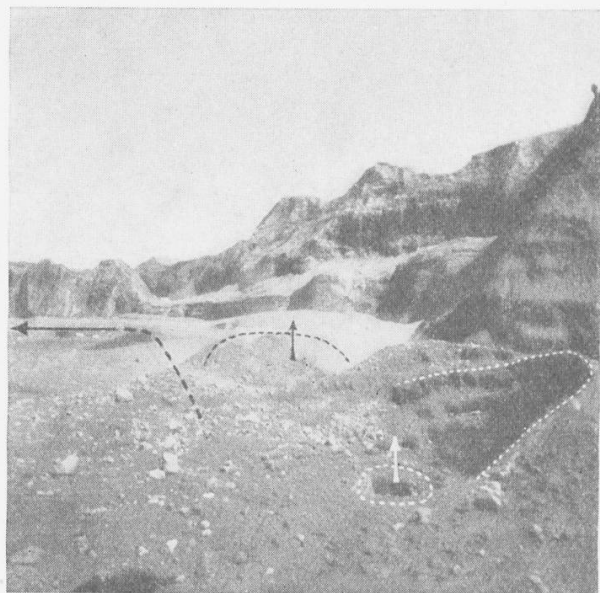


Fig. 5.

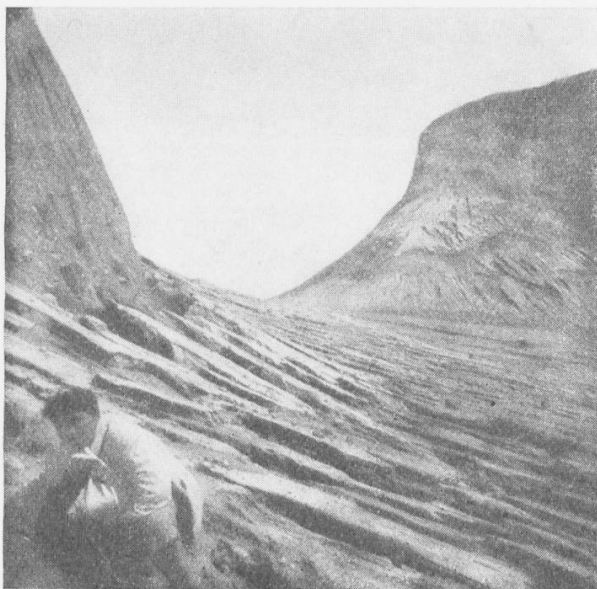


Fig. 6.



Fig. 7.

Auswahl wichtigerer und neuerer Klut-Literatur.

- 1907: **Hugo Cool**, «Eenige mededeelingen en beschouwingen naar aanleiding van een onderzoek aan den kraterwand van den Kloet in Mei 1907.» Jaarboek v. h. Mijnwezen in Ned. Oost Indië. 36 Jaarg.
- 1919: **B. G. Escher**, De Kloet. (Vortrag) enth. in: «De Waterstaats-Ingenieur» Nr. 7, Weltevreden.
- 1919: **B. G. Escher**, De Kloet van een geomorphologisch standpunt beschouwd. Natuurk. Tijdschrift v. Ned. Indië. Deel 79/1.
- 1919: **J. Koning** (u. Mitarbeiter), De Kloetramp van 1919. Ausgabe des «Soerabaiasch Handelsblad».
- 1919: **J. E. A. Den Doop**, Over geomorphologie van den Kloet. Natuurkdg. Tijdschr. v. Ned. Indië, Deel 79.
- 1921: **G. L. L. Kemmerling**, De uitbarsting van den G. Keloet in den nacht v. 19 op d 20. Mei 1919. Vulkanologische Mededeelingen Nr. 2. Weltevreden.
- 1923: **G. L. L. Kemmerling**, Uit Indien's Vulkaanrijk. Tijdschr. v./h. Kon. Ned. Aardrijkskdg. Gen., Deel 39/1.
- 1923: **N. J. M. Taverne**, Vulkanologische Berichten: Nr. 36 De G. Keloet. Natuurkdg. Tijdschr. v. Ned. Indië, Deel 84/1. Weltevreden.
- 1923: **H. Tromp**, Plan tot voortzetting der Kloetwerken. De Mijningenieur, Nr. 8.
- 1924: **G. L. L. Kemmerling**, De drooglegging v. h. kratermeer v. G. Keloet. De Ingenieur Nr. 8. Den Haag.
- 1924: **N. Wing Easton**, De Kloet, het meer en de uitbarsting. De Ingenieur Nr. 12.
- 1925: **N. J. M. Taverne**, Vulkanolog. Berichten Nr. 48. De G. Keloet. Natuurkdg. Tijdschr. v. Ned. Indië, Deel 85/2.