

Ueber die künstliche Nachahmung des Geysir- phänomens.

Von

Prof. Dr. A. Andreae.

Mit Taf. I und 1 Zinkographie.

"The variations and modifications in the geysir tubes and subterranean water passages must undoubtedly be important factors entering into any complete explanation of geysir action. Now, of course, we can see what the conditions are at the surface, but in our experiments we can penetrate to a very inconsiderable distance. We have, therefore, no data to present on these points, and investigations of this branch of the subject will have to be carried on in an artificial manner; that is, artificial geysers will have to be constructed, and various modifications made in the tubes until results are reached analogous to those seen in the natural geysers."

Peale, XII. Rep. 1833 vol. II, p. 421.

Man bezeichnet als Geysire die in der Natur vorkommenden, intermittirenden heißen Springquellen, welche in mehr oder weniger regelmässigen Zwischenräumen Eruptionen von Wasser und Dampf liefern. Den Namen Geysir (von geysa, altnordisch sich ergiessen) erhielten dieselben nach den schon am längsten bekannten Beispielen dieser Quellen auf Island, deren Kunde bis in das XII. Jahrhundert zurückreicht. — Neben den verschiedenen, für dieses Naturereigniss gegebenen Erklärungen hat es auch nicht an Versuchen gefehlt, die betreffende Erscheinung in kleinem Maassstabe künstlich nachzuahmen.

Der Vollständigkeit halber mögen auch einige der älteren Versuche hier kurz erwähnt werden, obwohl dieselben jedenfalls nur eine sehr unvollkommene Ähnlichkeit mit den Geysiren haben.

J. HERSHELL¹ suchte schon 1832 Geysireruptionen dadurch nachzuahmen, dass er den Kopf einer Tabakspfeife mit Wasser füllte und den Stiel derselben zur Rothgluth erhitze. Wurde dann der Stiel geneigt, so dass Wasser durchfloss, so trat dieses stossweise in heftigen Explosionen aus.

G. BISCHOF² bediente sich in seinen 1843 in Bonn abgehaltenen Vorlesungen, um Geysire im Kleinen darzustellen, eines Apparates, der im Wesentlichen einem Heronsball glich, nur dass Dampf statt Luft den Druck ausübte. In einen von unten erhitzten Kolben ragt ein Rohr ziemlich tief herab, welches oben ein enges Mundstück besitzt. — Ein derartig zusammengestellter Apparat ohne Rückflussvorrichtung und ohne Wasserzuzfluss überhaupt liefert jedoch, bei stets gleichbleibender Wärmequelle, nur eine einmalige Eruption und wird alsdann, je nachdem das Rohr sehr tief oder weniger tief in den Kolben hineinragt, zum Abbild einer kochenden Quelle mit periodischem Aufwallen (eines Sprudels) oder einer Dampfquelle (steam hole). — Es fehlt also diesem Geysirapparat der wesentliche Factor wiederholter intermittirender Thätigkeit.

S. BARING-GOULD³ stellte 1863 dadurch einen Geysirapparat her, welcher sehr heftige, bis 18' hohe Eruptionen lieferte, dass er eine eiserne Röhre von $\frac{3}{8}$ " Durchmesser unter einem Winkel von 110° so bog, dass sie einen kurzen Schenkel von 1' und einen langen Schenkel von 2' Länge erhielt. Der kurze Schenkel wurde dann in ein Feuer gestellt. Dieser Apparat lieferte jedesmal offenbar nur eine einmalige Eruption, resp. Eruptionsphase, und musste dann wieder mit Wasser gefüllt werden.

J. MÜLLER⁴ in Freiburg baute (1850) einen Geysirapparat, welcher die von BUNSEN (1847) bei seinen für die Geysirtheorie grundlegenden Untersuchungen am grossen Geysir auf Island beobachteten Verhältnisse nachahmen sollte. BUNSEN

¹ PEALE (HAYDEN), U. S. G. S. Rep. XII. Th. II. 1883. 417 etc.

² H. O. LANG, Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1880. 259, Anmerk. etc.

³ PEALE, l. c. 421 ff.

⁴ J. MÜLLER, Über BUNSEN's Geysirtheorie. Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 19. 1850. 350; ferner Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. 1883. 580.

hatte gefunden, dass die Temperaturen in dem etwa 22 m tiefen Rohre des grossen Geysirs nach unten dem höheren Druck entsprechend zunehmen. Diese Zunahme erfolgt jedoch nicht regelmässig; sondern derart, dass etwa in $\frac{2}{3}$ der Tiefe des Rohres sich die vor der Eruption beobachtete Temperatur am meisten dem bei jeweiligem Druck erforderlichen Siedepunkte nähert. — Dass die im untersten Drittel befindliche Wassermasse sich nicht an der Eruption beteiligt, wird dadurch bewiesen, dass in das Geysirrohr hineingehängte Steine, welche hinreichend tief hinabreichten, nicht mehr beim Ausbruch herausgeschleudert wurden. — Diese locale Temperaturerhöhung hat darin ihren Grund, dass höchst wahrscheinlich gerade an dieser Stelle beträchtliche Mengen von überhitztem Wasserdampf eintreten. Es befindet sich nämlich hier, in einer Tiefe von 45', eine zuerst von BRYSON entdeckte Hervorragung, unter welcher fortwährend Dampfblasen austreten und aufsteigen, zum Theil mit solcher Gewalt, dass ein in die Nähe gebrachtes Thermometer zerbrochen wurde¹. — Da der Taf. I Fig. 1 abgebildete Apparat bei einfacher Heizung unten keine Eruptionen liefert, so wurde etwa in halber Höhe eine zweite Heizung angebracht, und so ergaben sich zeitweise Eruptionen von 2—3' Höhe, welche von Ruhepausen oder einfachen Aufwallungen, die wieder 4—5 Minuten nach der Eruption beginnen und bis zu der folgenden andauern, unterbrochen werden. Von Zeit zu Zeit ist das Nachfüllen von etwas Wasser erforderlich. Abgesehen davon, dass dieser Apparat mit seinen zwei Wärmeherden den in der Natur herrschenden Verhältnissen nicht entspricht; scheint es, dass derselbe auch nicht sehr zuverlässig war und regelmässig arbeitete, wenigstens wurde mehrfach geklagt, dass er den an ihn gestellten Erwartungen nicht entspreche².

Ein anderer Geysirapparat, welcher von Dr. JULIUS ZIEGLER i. J. 1863 construiert und von Dr. NIPPOLDT am 2. März 1872 in einem Vortrage des physikalischen Vereins in Frankfurt a. M. demonstrirt worden ist, zeichnet sich dadurch aus, dass er nur eine Heizung, ferner ein Dampfreservoir nach Art des

¹ PEALE, l. c. 422 und J. F. CAMPBELL, Frost and Fire. 2. vol. 1865. 417.

² H. O. LANG, l. c. 246, Anmerk.

MAC KENZIE'schen Geysirschemas besitzt, durch welches ein langsamer Wasserzufluss erfolgt, und dass das Geysirrohr (resp. Ausflussrohr) sehr kurz ist. Dieser kleine Apparat, welchen ich bei Herrn Dr. ZIEGLER in Thätigkeit sah, zeigt regelmässige Intermittenz bei sehr geringer Intensität der Eruption resp. des Ausflusses. Eine genauere Beschreibung des Apparates fehlt noch.

Einen sehr einfachen und zweckmässigen Geysirapparat construirte G. WIEDEMANN¹ (1882). Derselbe ist Taf. I Fig. 2 wiedergegeben. Dieser Apparat ist dadurch ausgezeichnet, dass er oben keine Rückflussvorrichtung hat, würde also derartigen Geysiren entsprechen, welche oben kein Becken, sondern einen Schornstein oder eine einfache Öffnung besitzen und namentlich in dem Geysirgebiete des Yellowstone-Park sehr verbreitet sind. Um einen etwas höheren Wasserstrahl bei der Eruption zu erhalten, ist die obere Spitze des Glasrohrs, welches als Geysirrohr dient, etwas (jedoch nicht zu viel) verengt. Die Röhre, welche den Wasserzufluss gestattet, ist unten umgebogen, um bei dem Einfliessen des kalten Wassers ein Zerspringen des Kolbens zu verhüten. — Ich habe diesen Apparat in verschiedenen Grössen zusammengestellt und gefunden, dass die Höhe der Eruptionen in erster Linie von der Länge des Geysirrohres, ferner von der Grösse des Kolbens abhängig ist; die Menge des ausgeworfenen Wassers hängt von dem Inhalt des angewendeten Kolbens und die Dauer der Intervalle zwischen den Eruptionen von der Intensität der Wärmequelle und ausserdem von der Grösse des Kolbens ab.

J. PETERSEN² veröffentlichte 1889 einen Geysirapparat, welcher mit einigen kleinen Modificationen Taf. I Fig. 3 wiedergegeben ist. Dieser Apparat bringt die von H. O. LANG³ ausgesprochene Idee zur Veranschaulichung, dass die Geysire ein gebogenes Rohr besitzen sollen, in welchem sich oben bei *a* Dampf ansammelt und so die Circulation und den Wärme-

¹ G. WIEDEMANN, Über einen Apparat zur Darstellung der Erscheinungen des Geysirs. WIEDEMANN's Ann. Bd. XV. 1882. 173.

² J. PETERSEN, Darstellung der Geisererscheinungen. Dies. Jahrb. 1889. II. 65.

³ H. O. LANG, Über die Bedingungen des Geysir, l. c. 1880.

ausgleich im Geysirrohr verhindert. Nimmt man bei diesem Apparat das Blechgefäß, in welchem der Dampf erzeugt wird, nicht zu klein, so kann man sehr deutlich die während sämtlicher Vorgänge hier herrschende Temperatur beobachten, was PETERSEN früher nicht gelungen war. Bei einem Apparat mit den abgebildeten Dimensionen betrug dieselbe unmittelbar vor der Eruption $107\text{--}108^{\circ}\text{C.}$, ist also (trotz des Metallgefäßes) höher als der bei entsprechendem Druck hier vorhandene Siedepunkt (bei dem Druck einer Wassersäule von $1\frac{1}{2}$ m Höhe, nebst dem Atmosphärendruck, würde der Siedepunkt weniger als 105° betragen¹). Diese Siedepunktverzögerung hat wohl ihren Grund in dem ziemlich engen Ausflusrohr, das bei a nur etwa 1 cm Durchmesser hatte und eine Stauung veranlasste. Der genannte Apparat liefert sehr schöne und verhältnissmässig lang andauernde Eruptionen. Der Verlauf ist folgender: Längere Zeit vor der Eruption erfolgt ein Steigen des Wasserspiegels in dem Bassin, die Temperatur desselben beträgt jedoch hier nur $50\text{--}60^{\circ}\text{C.}$ Die Eruption kündigt sich durch ein zitterndes Stossen und dann eine halbkugelige Aufwölbung des Wasserspiegels an. Hierauf folgen erst kleinere Stösse, dann treten sehr bald als Maximum der Eruptionsintensität ein hoher, etwa $\frac{1}{2}$ m erreichender Wasserstrahl und zugleich Dampfwolken aus; hierauf folgen noch einige Zeit schwächere, abnehmende Stösse, bis plötzlich ein ungemein heftiges Rückschlürfen des Wassers das Ende der Eruption anzeigt. Die Temperatur in dem unteren Gefäss, welche zwischen 106 und 104°C. etwa schwankt, fällt plötzlich auf 102 oder 100° . — Der abgebildete Apparat lieferte bei normalem Gasdruck und Anwendung eines sechsfachen Bunsenbrenners Eruptionen, welche eine Dauer von 45 Secunden bis 1 Minute hatten und in ziemlich regelmässigen Intervallen von 4—5 Minuten sich folgten. Um die Regelmässigkeit des Apparates zu zeigen, gebe ich nachstehend die Dauer der Intervalle von 21 ununterbrochen aufeinander folgenden Eruptionen an, welche ich am 29. November 1891 beobachtete: 22 Minuten nach dem Anheizen erfolgte

¹ Nach REGNAULT beträgt die Spannung von Wasserdampf bei 105° = 906,41, bei 110° = 1075,370; die Spannung im obigen Dampfkessel ist etwa 870.

die erste Eruption, dann folgten die weiteren in 6, $4\frac{3}{4}$, $4\frac{1}{4}$, 5, 5, $4\frac{1}{2}$, 5, 5, 5, 5, $4\frac{1}{2}$, 4, 5, $4\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, 4, $4\frac{1}{2}$ Minuten. Die Dauer betrug fast immer eine Minute. — Die kleinen Unregelmässigkeiten erklären sich durch eingeschlüpfte und zurückgehaltene Luft; auf eine hierdurch etwas verlängerte Eruption folgt, entsprechend der stärkeren Abkühlung, ein etwas längeres Intervall. Um eine regelmässige Versuchsreihe zu erhalten, muss dafür gesorgt werden, dass sich nirgends Luft im Apparat befindet, auch soll das Wasser im Apparat vorher ausgekocht werden; von Zeit zu Zeit wird ein wenig kaltes Wasser oben zugeschüttet, um das verdunstete Wasser zu ersetzen, da der Apparat keinen Wasserzufluss besitzt wie jener der Fig. 2. — Die hier etwas eingehender geschilderten Eruptionen dieses Modells entsprechen dem von PEALE (l. c. p. 423) aufgestellten Geysir Typus No. I, von dem es heisst, „Geysers, in which the action is confined to one eruption, i. e., a distinct period of water eruption, characterized by a succession of jets, which follow each other rapidly, and are not followed by a marked steam period.“ Als Beispiele werden angeführt der Old Faithful und der Bee-Hive; von der Ähnlichkeit mit den Eruptionen des ersteren konnte ich mich durch Augenschein überzeugen. — Die beiden genannten Geysire besitzen jedoch kein Bassin, werden also wahrscheinlich einen Zufluss nach Art des Apparats 2 haben.

1890 schlug K. ANTOLIK in einem Aufsatz „Physikalische Schulversuche“¹ zwei Modificationen des WIEDEMANN'schen Geysirapparates vor. Die eine derselben (Fig. 76) besteht darin, dass er das Geysirrohr unten nicht bündig mit dem Stopfen der Kochflasche abschneidet, sondern tief in dieselbe hinabreichen lässt. Die andere Modification (Fig. 77) besteht darin, dass die beiden Rohre, das unten sehr verengerte Zuflussrohr sowohl wie das Geysirrohr, nicht tief in die Kochflasche hineinragen, und dass der ganze untere Theil des Apparates etwa unter 60° umgebogen ist. Hierdurch ist sowohl Zufluss wie Ausfluss heberartig mit der Kochflasche, d. h. dem Dampfreservoir verbunden. — Eine wesentliche

¹ Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht. 1890—91. 279—280.

Errungenschaft sehe ich in diesen Modificationen des WIEDEMANN'schen Geysirapparates, der hierdurch viel complicirter und den in der Natur wahrscheinlich vorhandenen Verhältnissen unähnlicher wird, nicht. Das l. c. Fig. 78 dargestellte Schema eines natürlichen Geysirs entspricht dem alten MACKENZIE'schen, nur dass noch eine „heisse Lavaader“ beigefügt ist; irgendwelche geologische Wahrscheinlichkeit besitzt die Darstellung nicht.

Modell No. 4, Taf. I stellt wohl den einfachsten Geysirapparat dar. Dieser Apparat unterscheidet sich von dem WIEDEMANN'schen dadurch, dass er eine Rückflussvorrichtung, d. h. ein oberes Geysirbecken besitzt, und kann deshalb der seitliche Wasserzfluss fortbleiben oder sehr untergeordnet sein. Statt des in der Abbildung angegebenen 1 cm breiten Geysirrohrs wurde auch ein solches von 2 cm Breite angewendet, und zwar in allen Fällen ohne irgendwelche verengerte Spitze; auch so lieferte der Apparat noch gute und regelmässige, wenn auch nicht sehr hohe Eruptionen. Die Beobachtung von in dem Wasser suspendirten Flocken oder Papierstückchen zeigt, dass hier eine Circulation kaum stattfindet oder so unerheblich ist, dass sie keinen grossen Einfluss auf die Vertheilung der Wärme im Geysirrohr ausübt. Ein kurzes Auf- und Absteigen, entsprechend der Bewegung des oberen Wasserspiegels, ist dagegen namentlich kurz vor der Eruption zu sehen.

Veränderungen an dem Apparat No. 4. Wurde bei einem der Abbildung entsprechenden Apparate, jedoch mit einem 70 cm langen und 1 cm breiten, nirgends verengerten Rohr, angeheizt mit einfachem Bunsenbrenner auf Sandbad; eine Kochflasche von 150 ccm Inhalt angewendet, so erhielt man einen intermittirenden Sprudel mit 3—4 Aufwallungen pro Minute von höchstens 10 cm Höhe; bei Wegnahme des Sandbades entstand ein permanenter Kochbrunnen. — Der gleiche Apparat ergab mit einem Kolben von 625 ccm Eruptionen von 8—10 Secunden Dauer in Intervallen von $1\frac{1}{2}$ Minuten und mit einer ausgeworfenen Wassermenge von 67 ccm, mit einem Kolben von 1033 ccm Eruptionen von 20 Secunden Dauer in Intervallen von 5 Minuten und mit einer ausgeworfenen Wassermenge von 215 ccm. Verhindert man den Rück-

fluss durch Senken des Beckens, so strömt nach der ersten Eruption nur noch Dampf aus.

Wird bei dem Apparat Fig. 4 das Geysirrohr in den Kolben hineingeschoben, so dass ein kleines Dampfreservoir entsteht, dann tritt anfangs keine merkbare Veränderung ein; auf offener Flamme und mit einem Kolben von 1276 ccm waren die Intervalle anfangs 1 Minute 30 Sekunden, die Eruption selbst betrug etwa 30 Sekunden, bei stetiger Vergrösserung des Dampfreservoirs beliefen sich dann die Intervalle auf 2 Minuten, und schliesslich, als das Rohr fast zur Hälfte des Kolbens hinabreichte, betrug sie im Mittel 4 Minuten 30 Sekunden, während die wenig heftigen, intermittirenden Eruptionsphasen 4 Minuten dauerten. — Bei manchen im Yellowstone-Gebiete vorkommenden Geysiren mit ausserordentlich verlängerten Eruptionsphasen, welche, wie bei dem Giant, 90 Minuten dauert, kann man wohl nicht umhin, ein sehr grosses Dampfreservoir anzunehmen. Dieselbe Erscheinung einer verlängerten Eruption lässt sich jedoch auch noch auf andere Weise erreichen, wie noch gezeigt werden soll, nämlich dadurch, dass das Geysirrohr in seinem unteren Theile eine starke Verengerung zeigt.

Modell 5 Taf. I stellt einen sehr grossen Geysirapparat dar, der nach den vorher besprochenen Principien gebaut ist. Das ebenfalls aus Blech gefertigte Geysirrohr ragt etwas in den unteren, aus Blech bestehenden und mit Hartloth befestigten Dampfkessel hinein. Die Eruptionen dieses Apparates gleichen der Form nach durchaus denjenigen natürlicher Geysire, wie die einigen Exemplaren beiliegende Momentphotographie, welche ich der Güte des Herrn Dr. DITTRICH verdanke, zeigt. Diese Eruptionen entsprechen dem PEALE'schen Typus No. II, bei welchem auf eine heftige Wassereruption (der photographisch dargestellte Moment) eine längere, ausgesprochene Dampfphase folgt, wie bei dem Castle Geysir.

Das Seifen der Geysire¹. Es ist bekannt, dass man

¹ A. HAGUE, Soaping Geysers. Science. Vol. XIII. 1889. 328. JAMES C. GRAHAM (Some experiments with an artificial geyser, Am. Journ. of Sc. Jan. 1893. 54) hat sich neuerdings eingehend mit obiger Frage beschäftigt. Er fand, dass mit gesättigter Seifenlösung gefüllte Geysirmodelle bei sonst gleichen Bedingungen etwas kürzere Intervalle zwischen

einzelne der natürlichen Geysire durch Zusatz von Seife oder Lauge zu einer vorzeitigen Eruption bringen kann, jedoch eignen sich hierzu nur solche Geysire, deren Temperatur den Siedepunkt beinahe erreicht oder auch schon überschritten hat¹ und die ausserdem eine nicht zu grosse Öffnung besitzen. Vermuthlich beruht der Vorgang einer verfrühten Eruption hier darauf, dass Strömungen in dem Geysirrohr durch die ungleichen Lösungen entstehen und dadurch den Anstoss zum Aufkochen geben, dass sie stark überhitzte Wassermassen in Bewegung setzen und nach oben führen. Auch mechanisch durch heftiges Peitschen oder Hineinwerfen von vielen kleinen Steinen gelang es zuweilen, die Siedepunktverzögerung aufzuheben und eine zu frühe Eruption zu erhalten; in dem ersten Falle gibt wohl die Erschütterung, in dem zweiten die vergrösserte Oberfläche und namentlich die an den hineingeworfenen Objecten haftende Luftschicht den Anstoss zum Sieden. — Geysirapparate, wie die geschilderten, mit ihren an sich kurzen Intervallen und den bei den geringen Druckdifferenzen kleinen Temperaturunterschieden eignen sich nicht sehr gut zur Nachahmung dieser Erscheinungen; dagegen veränderten sich die Eruptionen einiger Geysirmodelle in auffallender Weise bei dem Zusatz von Lauge. Wurde das Modell No. 3 mit einer sehr schwachen Lauge 1—2 oder höchstens 5 vom Tausend Kali statt mit Wasser gefüllt (resp. die erforderliche Menge von Lauge sorgfältig in das untere Gefäss gebracht), so trat in allen Fällen eine Verlängerung der Eruptionen selbst, sowie auch der Intervalle ein, und zwar gewöhnlich nicht augenblicklich, sondern allmählich nach einigen Eruptionen. Die Thätigkeit des Apparates 3, dessen Wärmequelle so regulirt war, dass sie als Mittel vieler, regelmässiger Eruptionen Intervalle von 2—3 Minuten und eine Eruptionsdauer von $\frac{1}{2}$ —1 Minute zeigte, änderte sich nach Zusatz von 2 $\frac{0}{100}$ Kalilauge dahin, dass die Intervalle 5—6 Minuten und die Eruptionsdauer selbst 5 Minuten betrug.

den Eruptionen zeigen als mit Wasser gefüllte, und dass die Abkühlung bei der Seifenlösung nach erfolgter Eruption eine beträchtlich grössere ist.

¹ Manche Geysire im Yellowstone Park zeigen oben Temperaturen von 94° C., während der Siedepunkt in diesem Gebiet bei der mittleren Höhenlage von 8000' nur 92,5° C. beträgt.

Diese verlängerten Eruptionen waren derart, dass erst eine normale Wasser- und Dampferuption von etwa 1 Minute 40 Secunden erfolgte und dann 4 Minuten lang ein explosives Stossen von etwa 6 Stössen pro Minute fast ohne Dampfausströmung stattfand. Die Temperatur vor der Eruption unten im Dampfkessel war 108° C. und sank nach dem Einschlürfen des durch die lange Eruption stark abgekühlten Wassers auf $88\text{--}85^{\circ}$ C. Die angewendete schwache Lauge hatte fast genau den gleichen Siedepunkt wie Wasser. Zusatz noch grösserer Mengen von Lauge steigerten die Intervalle und die Eruptionsdauer auf mehr als eine Viertelstunde oder ergaben sogar eine Dauereruption der oben beschriebenen Art. Diese bei Apparat 3 beobachtete Erscheinung war an den anderen Apparaten (4, 5) nicht wahrzunehmen, Zusatz von Lauge änderte hier die Eruptionen nur unmerklich. Die Erklärung der obigen auffallenden Erscheinung ergab sich, als ein Apparat, dessen Dampfkessel aus Glas bestand, angewendet wurde. Die Lauge bewirkt ein schaumiges Aufkochen und hält in den Apparat eingeschlürfte Luft zurück; hierdurch wird ein vollständiger Rückfluss des Wassers verhindert, es bleibt ein elastisches Polster von Luft und Dampf zwischen der unten in ganz kurzen Intervallen (im angeführten Beispiel 6 Mal pro Minute) aufkochenden, nicht zu grossen Wassermenge und der im Geysirrohr auf- und abgestossenen Wassersäule. Eine willkürlich vorgenommene kleine Abkühlung, eventuell auch schon eine starke Erschütterung oder locale Compression des Steigrohres, macht dem Schauspiel ein Ende und erzeugt heftigen Rückfluss und lange Pause. Es lag nahe, zu versuchen, die durch Laugenzusatz bewirkte Veränderung auch mechanisch zu erhalten, und gelingt dies vollkommen, wenn man das Geysirrohr bei Modell 3 an der Stelle *a* oder *b* durch eine Klemmschraube stark verengert; man erhält dann auch Dauereruptionen, doch waren die Stösse bei Anwendung von Lauge höher und schöner. Bei den Modellen 4 und 5 hatte die Lauge keinen Einfluss, da der Rückfluss des Wassers resp. das Entweichen des Dampfes hier leichter stattfinden kann. Mechanische Verengung jedoch, dadurch, dass man bei *a* (Fig. 4 oder 5) ein Stück Gummischlauch mit Klemmschraube einschaltete und stark zuschraubte,

erzeugte Dauereruptionen¹. Diese an künstlichen Geysiren gemachten Wahrnehmungen gestatten uns, aus der fast allein der Beobachtung zugänglichen Eruption natürlicher Geysire auf deren unterirdischen Apparat Schlüsse zu thun. Die dem Typus III und IV von PEALE angehörigen Geysire mit sehr verlängerten Eruptionsphasen besitzen höchst wahrscheinlich Krümmungen und locale Verengerungen ihres Steigrohres.

Bei fast allen beschriebenen Apparaten ist die Ursache der Eruption die in einem grösseren Reservoir, welches unter hydraulischem Druck steht, plötzlich erzeugte Dampfmenge. Wenn der dem herrschenden Druck entsprechende Siedepunkt erreicht oder auch schon etwas überschritten ist, so beginnt die Dampfbildung. Im Geysirrohr steigt Dampf und überhitztes Wasser empor, expandirt und hebt (nach dem BUNSEN'schen Princip) den Druck auf. Hat die Entlastung stattgefunden, so beginnt plötzliches, heftiges Kochen im Reservoir und die Eruption hat ihr Maximum erreicht. Die plötzlich erzeugte grosse Dampfmasse hat Wärme verbraucht und gestattet den Rückfluss von etwas abgekühltem Wasser aus dem oberen Bassin oder den Zufluss aus einer benachbarten communicirenden Wasserader. Beim Eintreffen des ersten abgekühlten Wassers erfolgt weitere Condensation von Dampf, es entsteht ein Vacuum und weiterer Rückfluss durch heftiges Einsaugen, das zum Schluss der Eruption führt. Geysire mit sehr vollkommener Rückfluss- resp. Zufluss-Vorrichtung werden daher ein plötzliches Aufhören der Eruption und eine ziemlich regelmässige Thätigkeit zeigen. Das Geysirrohr muss sich gleich nach der Eruption wieder, wenigstens theilweise, mit Wasser füllen. Geysire dagegen, bei welchen der Wasserzufluss nur langsam und vielleicht auch weniger regelmässig erfolgt, haben lange und in dem letzten Falle auch wenig regelmässige Intervalle. Die Füllung des Geysirrohres tritt hier erst nach und nach ein, und es wird inzwischen demselben meist langsam Dampf entströmen.

Nach dem Verhalten des Geysirrohres an seiner oberflächlichen Mündung können wir unterscheiden:

¹ Einschaltung von einer kugelförmigen Erweiterung an gleicher Stelle hatte keinen merkbaren Einfluss auf die Eruptionen.

- A. Geysire mit Bassin, entsprechend den Modellen mit Bassin.
- B. Geysire ohne Bassin, mit einfacher Öffnung oder Schornstein, entsprechend den Modellen ohne Bassin, eventuell mit Spitze.

Beispiele für A sind der Grosse Geysir auf Island, der Saw-Mill, der Grand, der Minut und der kleine Modell-Geysir im Yellowstone-Gebiete; alle diese besitzen ein mehr oder weniger regelmässig schüsselförmiges Bassin. Bei anderen Geysiren ist das Bassin trichter- oder kraterförmig, wie bei dem Strochr auf Island, dem Black-Sand-Geysir und dem gewaltigen Excelsior-Geysir im Yellowstone-Park, wieder andere haben krugförmige Becken mit oben verengerter Mündung, wie der Union, der Trinity-Geysir und die Giantess im amerikanischen National-Park.

Beispiele für B sind die von PEALE (l. c. p. 403 a. a. O.) erwähnten Geysire ohne oder doch nur mit ganz unerheblichem Geysiritabsatz im Norris- oder Gibbon-Basin des Yellowstone-Parkes und dann die zahlreichen Geysire mit Schornstein oder Kegel aus Kieselsinter, welche gerade eine Eigenthümlichkeit des Yellowstone-Gebietes darstellen, so der Old Faithful, der Bee-Hive, der Castle, Grand, Grotto, White Dome-Geysir und andere. — Übergänge und Zwischenbildungen zwischen den Formen A und B finden sich natürlich ebenfalls, auch ist anzunehmen, dass die Geysire nach dem Typus A ausserdem in der Regel eine unterirdische Versorgung mit Quellwasser besitzen.

Nach der Art ihrer Eruption hat PEALE (l. c. p. 423) folgende 4 Typen unter den Geysiren des Yellowstone-Gebietes unterschieden:

- I. Geysire mit einer Eruptionsphase, d. h. einer Wassereruptions-Periode, die aus rasch aufeinander folgenden Wasserstrahlen besteht. Beispiel: Old Faithful und Bee-Hive.
- II. Geysire, bei welchen die Eruption aus einer einzigen Wassereruptions-Periode besteht, auf welche jedoch eine ausgesprochene Dampferuptions-Periode von beträchtlicher Dauer folgt. Beispiel: Castle.

III. Geysire, welche aus verschiedenen Wassereruptionen bestehen, die durch Pausen von mehreren Minuten oder Stunden getrennt sind, während das Haupt-Intervall einen oder mehrere Tage dauert. Beispiel: *Grand, Giantess*.

IV. Geysire mit einer verlängerten Eruptionsperiode, wie vorige, auf welche jedoch noch eine Dampfphase folgt. Beispiel: *Giant und Union*.

Diese Typen lassen sich mit den beschriebenen Apparaten nachahmen; so erhält man Geysire nach dem Typus:

I. Bei Anwendung des Modells No. 3, d. h. in dem Fall, wo das Geysirrohr mit dem Dampfkessel durch ein heberförmig gebogenes Rohr verbunden ist (cf. p. 6). Die Aufstellung des Modelles kann sowohl nach A wie nach B stattfinden, d. h. sowohl mit Rückflussvorrichtung wie mit Zuflussvorrichtung.

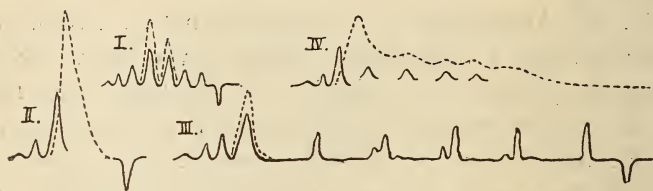
II. Bei Anwendung der Modelle 4 und 5, sowohl nach der Aufstellung A (abgebildete Figuren) wie nach der Aufstellung B (Fig. 2). Bei Modell 5 ist die Dauer und Intensität der nachfolgenden Dampfphase noch etwas grösser.

III. Indem man bei Modell 4 oder 5 bei a, sowie bei Modell 3 bei a oder b eine Verengerung des Rohres durch Klemmschraube bewirkt. Die gleiche Erscheinung erhält man noch vollkommener, wenn man bei Modell 3 eine geringe Menge Kalilauge, etwa 2—3⁰/₁₀₀, zusetzt. In beiden Fällen ist die Aufstellung A zu wählen. Die Ursache dieser in kurzen Intervallen verlängerten Eruptionsphase beruht in beiden Fällen, wie gezeigt wurde, auf der Einschaltung einer elastischen Dampf- resp. Dampf-Luft-Schicht.

IV. Die Nachahmung dieses Typus, genau in der von *PEALE* geschilderten Weise, ist mir, trotz der verschiedenartigsten Variationen an meinen Apparaten, nicht gelungen. Als Beispiele führt *PEALE* den *Grand und Union-Geysir* an. Einer schönen Eruption des ersteren hatte ich Gelegenheit beizuwohnen; dieselbe dauerte fast 1½ Stunden. Es ist mir nicht erinnerlich, dass hier ein deutliches oder gar regelmässiges Intermittiren während der langen Eruption stattfand. Den Beginn derselben sah ich leider nur aus der Ferne; nachher zeigte sie sich als eine sehr verlängerte, an Intensität

ziemlich constant abnehmende Dampf-Wasserphase, etwa der Eruption des Castle-Geysers. (Typus III) entsprechend, nur dass die Dampfphase nicht so rein ist, d. h. mehr Wasser mitgerissen wird und auch länger dauert. Eruptionen, welche diesen gleichen, d. h. welche nach einer kurzen Wasserphase eine sehr verlängerte Dampfphase zeigen, erhält man, wenn man bei Modell 5 das Rohr sehr tief in den Dampfkessel hinabreichen lässt, oder wenn man bei der Aufstellung B überhaupt einen unverhältnissmässig grossen Dampfkessel wählt, sowohl bei Modell 2 wie 3. Ursache der verlängerten Eruption ist die sehr grosse vorhandene Dampfmenge, die nur nach und nach entweichen kann.

Nachstehend sind die vier mit den Apparaten erzeugten Geysirtypen schematisch graphisch dargestellt, die Typen I bis III entsprechen auch denjenigen von PEALE. — be-



deutet Wasser, bedeutet Dampf; die Ordinate entspricht der Intensität, die Abscisse der Zeit¹.

Es ist, wohl mit Recht, eine verbreitete Ansicht, dass kein Geysir, geologisch gesprochen, eine lange Dauer seiner Thätigkeit besitzt, Geysirgebiete sowohl wie die einzelnen Geysire sind ebenso und wohl noch in viel höherem Grade geologische ephemere Gebilde, wie Vulcangebiete und Einzelvulcane. Die Geysire sind nur eine mehr oder weniger kurze Phase im Entwicklungsgang gewisser heisser Quellen. Auch gibt es alle möglichen Übergänge zwischen typischen Geysiren und gewöhnlichen kochenden Quellen einerseits, sowie Dampfquellen (steam vents) andererseits. Ein Geysir von geringer Intensität und mit kurzen Intervallen wird zu einem kochen-

¹ Genaue derartige graphische Darstellungen würde man etwa durch photographische Projection des thätigen Geysirs auf einen rotirenden Cylinder erhalten können.

den Sprudel. Ein Geysir, dem reichliche Wasserzufuhr fehlt, kann zur Dampfquelle werden. Zahlreiche andere Ursachen sind ferner denkbar, um einen Geysir zum Erlöschen zu bringen, die Wärmequelle resp. Dampfzufuhr kann abnehmen, der hydraulische Druck kann durch Wachsen des Geysirrohes zu gross werden, durch fortgesetzte Auslaugung können die unterirdischen Reservoirs schliesslich undicht werden u. s. w. Im Yellowstone Park finden wir offenbar alle möglichen Stadien von Geysiren im Entstehen und Verfall, die erforderlichen Bedingungen sind hier gegeben. Die gewaltige, wohl an vielen Stellen über 1000' dicke Liparitdecke, auf welcher die Geysirbecken liegen, ist zerklüftet und bildet ein Plateau, das fast ringsum von 2000—4000' höheren Bergen umgeben ist. Die von den Bergen abfliessenden, unter die Decke gerathenden meteorischen Gewässer steigen als Quellen wieder auf den Spalten und Klüften in der Decke empor; denn gradeso wie die gewöhnlichen Quellen sind auch die Geysire von der Menge der atmosphärischen Niederschläge abhängig. Es kann nun die Frage gestellt werden, auf welche Art erfolgt die Erwärmung der Quellwässer, und woher stammt der Dampf? Entweder die grosse Liparitmasse besitzt in ihren tieferen Theilen selbst noch die genügende Temperatur, um den nöthigen Dampf aus dem zufließenden Wasser selbst zu erzeugen, was unwahrscheinlich ist, oder es strömt dieser aus tieferen, abyssischen Lavareservoirs zu, auf welchen sich im Erstarren befindliche, Wasserdampf abgebende Eruptivmassen befinden. Für die letztere Auffassung spricht unter anderem die Anordnung der grossen Geysirbecken auf einer geraden Linie, welche parallel dem Bruchrande der Gallatin-Berge verläuft, sowie die zahlreichen anderen Erscheinungen vulcanischer Nachwirkung, wie Solfataren und Mofetten. Die aufsteigenden überhitzten Dämpfe mengen sich also mit den meteorischen Quellwässern und erzeugen an die 3500 Thermen in dem Gebiete. Nur etwa der vierzigste Theil dieser Thermen kann als Geysire bezeichnet werden. Die directe Bildung, d. h. gewissermaassen das erste Debütiren

¹ Bezüglich des Yellowstone-Gebietes und seiner Geysire vergleiche ausser PEALE l. c. namentlich noch A. HAGUE, Geol. history of the Yellowstone National Park. Transact. Am. Inst. of Mining Ing. vol. XVI. 1888.

eines Geysirs wird man wohl selten zu beobachten Gelegenheit haben, zumal die meisten Geysire anfangs wohl eine sehr unregelmässige und sporadische Thätigkeit besitzen, bis sich das die Thätigkeit regulirende Geysirrohr und eventuell auch Becken gebildet hat. Von dem Steamboot Vent im Norris-Geysir-Becken liegen Nachrichten über seine Bildung vor, welche sich am 11. August 1878, wie es scheint, durch eine heftige Explosion ereignete (PEALE l. c. p. 405 u. 128). Nach den Angaben von NORRIS hat dieser Geysir eine doppelte Periode und zeigt einerseits kleine Eruptionen alle halbe Stunden und alle 6—7 Tage eine Haupteruption; zeitweilig scheint er dann wiederum ganz inactiv zu sein. Bei diesem ebensowohl wie bei dem New Geysir hat noch kaum ein Absatz von Kieselsinter stattgefunden; sie bilden gegenüber der grossen Masse der anderen Geysire eine Ausnahme.

Nehmen wir für die normale Bildung eines Geysirs, für den wir nicht das zufällige Vorhandensein eines mehr oder weniger complicirten Systemes von Röhren und Hohlräumen in der Erde voraussetzen wollen, folgende Art der Entstehung an: Eine reichlich Dampf führende Thermalquelle tritt auf einer in der Natur vorhandenen, vielleicht auch schon oberflächlich durch Verwitterung erweiterten Spalte in dem Liparit zu Tage. Sehr bald wird, namentlich randlich, der Absatz von Kieselsinter, der vorwiegend durch Verdunstung und durch Algenwachsthum¹ geschieht, beginnen und nach der Mitte der Quelle fortschreitend eine jener prachtvollen blauen, oft kreisrunden und tieftrichterförmigen Wasserbecken bilden. Häufig sind die Ränder dieser Quellen unterhöhlt, da der Absatz des Sinters oberflächlich am schnellsten fortschreitet. Mit der Zeit wird sich dann, wie BUNSEN und TYNDALL² es geschildert haben, ein flacher Kegel aufbauen, in dessen Mitte wird für das aufsteigende heisse Quellwasser ein Canal, das Geysirrohr, frei bleiben. Ein Geysirbecken wird entstehen bei regelmässigem, randlichem Überfliessen, eine Schornsteinbildung wird eher dann

¹ W. H. WEED, Formation of travertine and siliceous sinter by the vegetation of hot springs. IX. Ann. Rep. U. S. geol. Surv. 1887—88.

² J. TYNDALL; Heat as a mode of motion. 1887. 167.

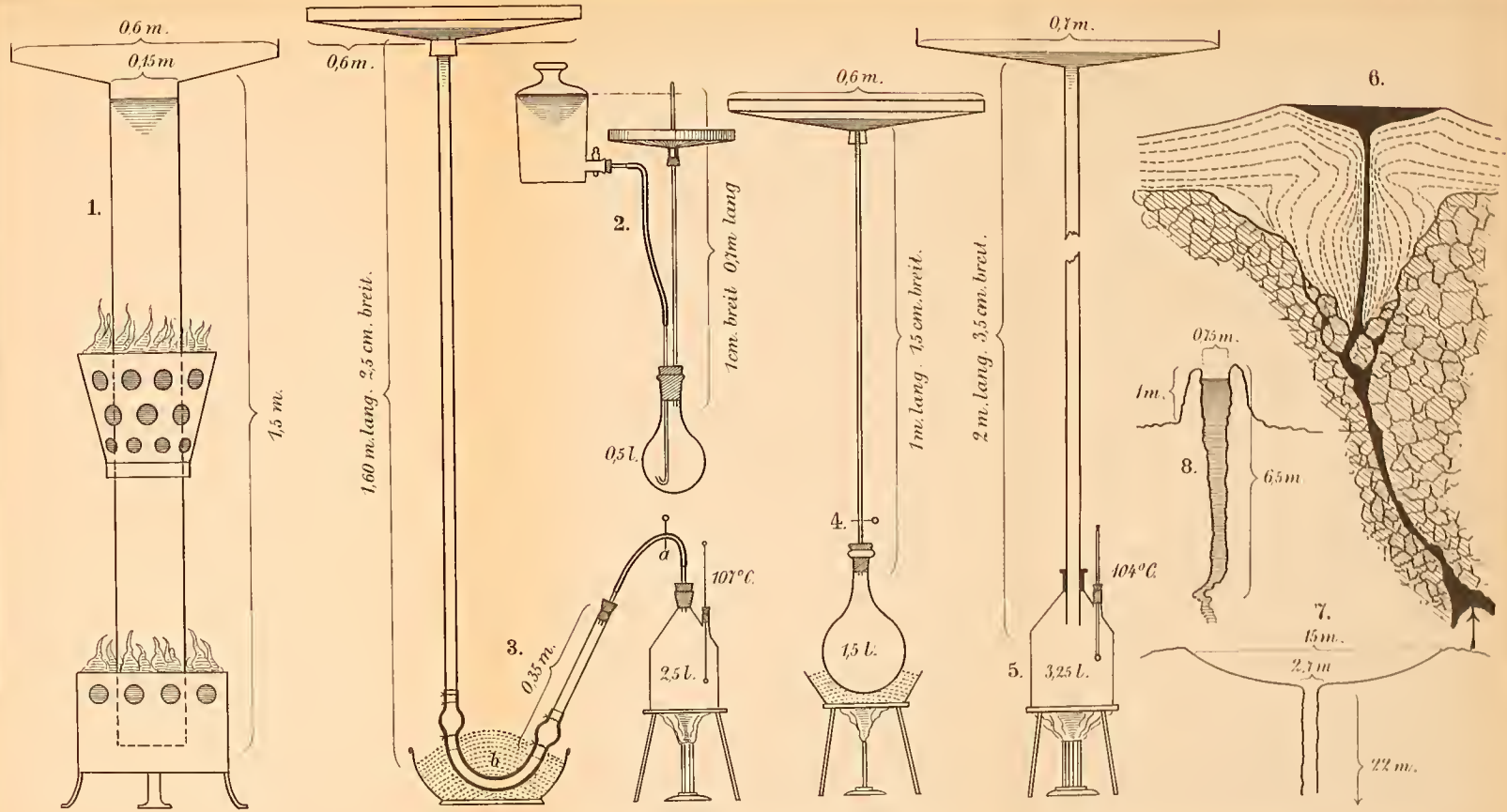
erzeugt werden, wenn das Geysirrohr für gewöhnlich nicht mit Wasser erfüllt ist und der Absatz mehr bei und gleich nach der Eruption stattfindet, auch wenn die Algenthätigkeit beim Absatz des Sinters sehr überwiegt. Solche Geysire mit grossen Kegeln und Schornsteinen sind wohl meistens sehr alt, und zeigt uns der Great-Fountain-Geysir im unteren Becken gewissermaassen ein Übergangsstadium von einem Geysir mit Becken zu einem solchen mit beginnendem Kegel. PEALE hat auch auf die meist ungleichseitige Ausbildung der Geysirschornsteine und die eventuelle Beziehung zur Windrichtung hingewiesen. Entsprechend dem Volumen der oberflächlich als Sinter abgesetzten und auch der in Lösung fortgeführten Substanzen hat aber unten eine Zersetzung und Fortführung von Gestein stattgefunden, die zur Bildung von Höhlungen und den für die meisten Geysire erforderlichen Reservoirien resp. Dampfkesseln führen wird. Die grosse Fähigkeit von überhitztem, unter Druck stehendem Wasser, Gesteine zu zersetzen und zu lösen, ist ja bekannt. Die Bildung der Höhlen resp. erweiterten Klüfte wird aber gerade da stattfinden, wo die überhitzten Dämpfe und die circulirenden Quellwässer sich vereinigen. Dies wären die verschiedenen Bedingungen, die zur Bildung von intermittirenden heissen Quellen erforderlich wären.

Zum Schluss muss noch darauf hingewiesen werden, dass Geysire, wie es scheint, gerade nur da auftreten, wo wir Kieselsinter-absetzende Quellen haben; dies ist der Fall im Yellowstone-Gebiet, dann in Nevada, auf Island, auf Neuseeland und wahrscheinlich in allen Geysirgebieten. Die Kalk-absetzenden Quellen der Mammoth-hot-springs im Yellowstone-Gebiet, ebenso wie vieler anderer Quellgebiete, die ganz ähnliche Kalksinter-Terrassen besitzen, wie Pambuk-Kalessi bei Smyrna und Hammam Meskoutine bei Constantine, haben keine Geysire. Kalkkegel, welche zuweilen als erloschene Geysir-Kegel aufgefasst wurden, wie Liberty Cap an den Mammoth-hot-springs, sind wohl niemals Geysire gewesen, denn genau die gleichen, noch als gewöhnliche heisse Quellen thätigen Kalkkegel finden sich bei Hammam Meskoutine. Wahrscheinlich eignen sich die Kalk-absetzenden Quellen deshalb nicht zur Bildung von

Geysirrohren und Becken, weil der Absatz des Sinters hier einerseits zu schnell und unregelmässig, andererseits auch kaum dicht und fest genug erfolgt.

Erklärung der Tafel I.

1. Geysir-Apparat von JOH. MÜLLER (1850), ausgeführt in Blech mit doppelter Kohlenfeuerung. Originaldimensionen, wie sie in der Kosm. Phys. 4. Aufl. 1883. p. 580 angegeben sind.
 2. Geysir-Apparat von G. WIEDEMANN (1882), Flaschen und Rohre aus Glas; Wasserzfluss durch einen Gummischlauch.
 3. Geysir-Apparat von JOH. PETERSEN (1889), etwas verbessert. Dampfkessel aus Blech mit Hartloth gelöthet, die Röhren aus Glas mit Gummischlauch verbunden, der noch durch Kupferdraht auf dem Rohr befestigt ist. Um den Schlag beim Rückschlürfen zu Schluss der Eruption zu schwächen, steht bei *b* eine Schüssel mit Sand. Oben Rückflussvorrichtung (Geysirbecken) aus Weissblech.
 4. Einfacher Geysir-Apparat mit Rückflussvorrichtung. Aus Glas. Bei *a* kann ein Stück Gummischlauch mit Klemmschraube zu gewissen Versuchen eingeschaltet werden.
 5. Grosser Geysir-Apparat ganz aus Blech. Mit Dampfreservoir.
 6. Schema eines natürlichen Geysirs. Unten der zerklüftete Liparitfels, auf der in der Tiefe durch Auslaugung erweiterten Spalte steigt die Dampf-führende Therme empor und hat sich oben aus Kieselsinter Geysirrohr und Becken gebaut.
 7. Bee-Hive Geysir im Yellowstone-Gebiet. Ein Geysir ohne Becken (*B*).
 8. Grosser Geysir von Island. Ein Geysir mit sehr vollkommenem Becken (*A*).
-



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: [1893_2](#)

Autor(en)/Author(s): Andreae Achilles

Artikel/Article: [Ueber die künstliche Nachahmung des Geysirphänomens 1-18](#)