

## **Juveniles und vadoses Wasser.**

Von Professor Dr. Rudolf Hoernes.

Aus dem Geologischen Institut der Universität Graz.

Seit Jahrzehnten hatte Eduard Sueß in seinen an der Universität Wien gehaltenen Vorlesungen die Ansicht ausgesprochen, daß zwischen zeitweilig aufwallenden Thermen, wie dem Sprudel in Karlsbad, den eigentlichen intermittierenden Kochquellen, wie den Geysirs auf Island, und den vulkanischen Ausbrüchen kein wesentlicher, sondern nur ein gradueller Unterschied vorhanden sei. Diesen Gedanken hat Sueß auch schon in einem am 24. März 1878 zugunsten des deutsch-österreichischen Lesevereins der Wiener Hochschulen gehaltenen Vortrag über die Heilquellen Böhmens zum Aus-

druck gebracht. Er besprach in demselben die Vorgänge eines vulkanischen Ausbruches, die vorbereitende, durch Erderschütterungen und mancherlei Nebenerscheinungen gekennzeichnete Phase und betonte, daß es wichtig sei, zu wissen, daß die Eruption mit dem Vorstoßen eines mächtigen weißen Ballens von Wasserdampf beginnt, der einem Wollballen gleicht und hoch in die Luft geschleudert wird. „In dem Maße,“ sagt Sueß, „als sich die Eruption steigert, wird das Ausbrechen solcher Wasserballen häufiger und häufiger, bis sich eine förmliche Dampfsäule über dem Berge bildet. Dann zerreißt

der Berg an irgendeiner Stelle, es fließt glühende Lava hervor; Asche wird fortwährend aus dem Krater herausgeschleudert. Als das erste Agens aber erkennt man stets den Wasserdampf, und insofern besteht zwischen einem vulkanischen Ausbruche und der Explosion eines Dampfkessels eine größere Ähnlichkeit, als man etwa meinen sollte, denn die außerordentliche Expansivkraft des Wasserdampfes ist auch hier die treibende Kraft. Man kann nun für diese eruptive Tätigkeit von den gewaltigsten Vulkanen angefangen eine absteigende Reihe von Intensitäten verfolgen bis zu den warmen Quellen hinab, die ebenfalls durch das kontinuierliche Ausstoßen von Wasserdampf entstehen, und insofern sind heiße Quellen und Vulkane nur Endglieder ein und derselben Erscheinungskette.“

Ausführlicher und überzeugender hat Sueß diesen Gedanken in dem Vortrag über heiße Quellen dargelegt, den er auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Karlsbad im Jahre 1902 hielt und in welchem er den Ausdruck *juvenil* für das aus der Tiefe des Erdinnern an die Oberfläche gelangende, durch die Entgasung des sich abkühlenden heißen Balles neu gebildete Wasser prägte, während er die 1893 von Franz Posepny zuerst für infiltrierende Wässer im Gegensatz zu den aus der Tiefe aufsteigenden gebrauchte Bezeichnung *vados* (seicht) in weiterer Fassung nicht nur auf die infiltrierenden Wässer, sondern auch auf alle Teile der Hydrosphäre, Ozeane und Flüsse, Wolken und Niederschläge anwendete. Der Inhalt dieses Vortrages hat, so klar auch Sueß seine Ansichten darlegte, so manche Mißverständnisse hervorgerufen. Bei der Bedeutung, welche diese Ansichten für die richtige Erkenntnis des Wesens so vieler Heilquellen haben, scheint es zweckmäßig, sie einer ausführlichen, neuerlichen Besprechung zu unterziehen und zwar um so mehr, als die Grundlagen dieser Ansichten einerseits durch einen Vulkanologen wie Brun, anderseits durch einen Geologen, der sich in so ausgedehnter Weise mit Heilquellen beschäftigte wie Lepsius, nachdrücklich angegriffen worden sind. Die Widerlegung dieser gegenteiligen Meinungen kann aber erst nach Darlegung des Gedankenganges, den Sueß in seinem Karlsbader Vortrage verfolgte, durchgeführt werden.

Sueß geht von den eingehenden wissenschaftlichen Untersuchungen über die Karlsbader Thermen aus, die doch noch manche Zweifel über das Wesen dieser großartigen Naturerscheinung zu lösen übrig lassen, er spricht von den älteren Darstellungen der Lehrbücher, welche die heißen Quellen durch in-

filtrierende Tagwässer gespeist sein lassen, die in einer gewissen Tiefe die hohe Temperatur derselben sich aneignen und mit derselben aufsteigend dem Gestein ihre festen Bestandteile durch Lösung entnehmen. Er zeigt, daß dies für Karlsbad nicht zutrifft. Er verweist auf die 1880 von Franz v. Hauer, Ferd v. Hochstetter und Heinr. Wolf ausgesprochene Ansicht, daß das Infiltrationsgebiet der Karlsbader Thermen in dem ausgedehnten und vorherrschend granitischen Gebiet sich auch nur mit annähernder Sicherheit nicht feststellen lasse, er erinnert daran, daß G. Laube die große Menge kohlen-sauren Kalkes in der Sprudelschale, die aus Granit stammen sollte, wie die große Wassermenge des Sprudels rätselhaft fand, daß Ludwig und Mauthner sich die bedeutende Menge von Natrium nicht zu erklären wußten und geradezu meinten, daß die Thermen den Hauptreichtum ihrer festen Bestandteile nicht aus dem Granit, sondern aus dem unbekanntem Erdinnern brächten, daß endlich Rosiwal keine Übereinstimmung zwischen dem Gang des Niederschlags und der Ergiebigkeit der Quellen von Karlsbad zu finden vermochte und die Kohlen-säure aus einem heißen Magma herleitete. Ähnliche Zweifel sind für viele Thermalgebiete ausgesprochen worden.

Sueß erörtert dann die bereits erwähnte Erweiterung des Begriffes „*vados*“ und betont, daß auch vadoso Wasser erwärmt durch artesische Bohrungen aufsteigen können, daß sie auch, oft Kohlen-säure tragend, vom Tage her in die oberen Horizonte der Erzgänge eindringen, lösen und deponieren und so Umlagerungen mineralischer Substanzen zustande bringen. „Es gibt“ — sagt Sueß — „auch vadoso Kohlen-säure, welche mit Methan in den Kohlenflözen sich ausscheidet, und vadoso Chlor-, Schwefel-, Brom- und Jodverbindungen in den Ozeanen und in den Salzablagerungen. *Vados* ist der Schwefelwasserstoff, welcher unter dem Einfluß von Bakterien abgeschieden, die Tiefen des Schwarzen Meeres erfüllt.“ Er bespricht dann das Pulsieren der Quellen und hebt hervor, daß es zweierlei pulsierende Quellen gibt: die Geiser oder Siedequellen, als deren Typus der Geiser auf Island, an dem Bunsen die Erklärung der Phänomens gab, zu betrachten ist, und die Sprudelquellen, für welche die Quellen von Karlsbad ein gutes Beispiel darbieten. Bei ihnen wird das weniger regelmäßige, in kurzen Zwischenräumen erfolgende Pulsieren keineswegs durch Blasen von überhitztem Wasserdampf verursacht, welche der Wassersäule des Geysirs zusitzen und ihre Temperatur so lange erhöhen, bis der Siedepunkt überschritten und die Wassersäule ausgeschleudert wird. Die Ursache des Pulsierens der Karlsbader Thermen ist eine ganz andere. Über dem Quellsystem liegt die von zahlreichen Hohlräumen unterbrochene Sprudelschale. In

diesen sammelt sich das kohlen saure Gas, bis sein Druck das Wasser nach aufwärts treibt und da diese Hohlräume unregelmäßig sind, ist es auch der Rhythmus der Pulsationen. Lehrreich war in dieser Hinsicht der an einer tiefen Stelle des Flußbettes erfolgte Sprudelausbruch des Jahres 1774. Damals ergoß sich das kalte und trübe Flußwasser in die leer stehenden Ausflußmündungen und wurde hier von den auftreibenden Gasen ausgeworfen, als wäre es Thermalwasser. Im Anschlusse an diese Erörterung des Unterschiedes zwischen Siede- und Sprudelquellen hebt Sueß eine überaus wichtige Tatsache hervor: „Die Siedequellen stehen nicht unter hydrostatischem Druck, wie etwa artesische Wässer. Das Merkmal des hydrostatischen Druckes ist seine Gleichförmigkeit, die Intermissionen, namentlich jene von etwas längerer Dauer würden unmöglich sein. Bei den Sprudelquellen läßt sich aus der Art der Bewegungen nicht mit so voller Entschiedenheit urteilen, aber man wird in Karlsbad wenigstens einen bis über die Oberfläche tragenden hydrostatischen Druck nicht zugestehen können.“

Sueß erörtert dann die Vorgänge vulkanischer Ausbrüche und hebt hervor, daß seit langem anerkannt sei, daß bei denselben dem Wasserdampf die Hauptrolle zufalle. Er verweist auf die großen Mengen desselben, die bei jedem vulkanischen Ausbruch zutage treten und als Regen zu Boden fallen; er erinnert daran, daß Siedequellen überhaupt nur in vulkanischen Gegenden bekannt sind und zieht eine sehr interessante Parallele zwischen der „strombolischen Phase“ eines Vulkans, bei dessen mäßiger Tätigkeit sich regelmäßige Intermissionen einstellen, und den rhythmischen Erscheinungen der Siedequellen. Die Pausen sind bei der strombolischen Phase gewisser Vulkane bald sehr kurz, bald länger, sie können auch mehrere Stunden betragen. Im November 1867 zeigte das rhythmische Pulsieren am Vesuv täglich zwei so regelmäßige Maxima, daß man irrthümlicherweise einen Zusammenhang mit Ebbe und Flut vermutete. Die strombolische Intermission betrug eben 12 Stunden. Besonders lehrreich sind die von Sueß und Gerhard v. Rath 1871 am Vesuv gemachten Wahrnehmungen. Im Januar dieses Jahres hatte der Vulkan außerhalb des Hauptkraters und etwa 60—70 m tiefer als der Gipfel einen kleinen Nebenkrater aufgebaut, den „Cratere parasitico“. Am 31. März sahen Sueß und G. v. Rath von Neapel aus bisweilen nachts den kleinen Krater in regelmäßigem Rhythmus nach je 6—8 Sekunden aufleuchten, während solches sich im Hauptkrater gleichfalls rhythmisch, aber nur nach etwa 2 Minuten einstellte. Die beiden Ausbruchstellen waren also in dieser Beziehung voneinander selbständig, da sie aber sicher einer gemeinsamen tieferen Esse entsprangen, konnte die Teilung nur in den oberen Horizonten, etwa an

der Stelle der Abtrennung der Nebenesse des Cratere parasitico eintreten, und die Verschiedenheit des Baues der obersten Teile der Esse mußte maßgebend sein für den Rhythmus. Die Analogie mit dem Geysir war so groß, daß der Schluß sich aufdrängen mußte, der Vesuv selbst sei nur eine Form von Siedequellen. Am folgenden Tage gelang es Sueß und v. Rath in das Innere des Cratere parasitico einzutreten. Sie sahen in seiner Esse die Lohe in je 6—8 Sekunden um etwa einen Meter ansteigen, dann lösten sich aus der siedenden Masse kopfgroße Blasen, und glühende Fetzen von Schlacke wurden hoch in die Luft geschleudert. Hierauf sank die Lohe im Schlunde eine neue Schlackenrinde bildete sich sofort, um durch eine neue Explosion wieder in großen Garben ausgeworfen zu werden. Wolken von Wasserdampf schwebten um die Ausbruchsstelle, auch Chlorwasserstoff und schweflige Säure waren anwesend. Im allgemeinen war es aber doch nur das Bild eines Geysirs, der neben diesen überhitzten Gasen auch geschmolzenes Gestein auswarf. Aus dem Hauptkrater des Vesuvus flogen zugleich größere Steine. Jeder von ihnen schien in der Luft einen Schweif entweichenden Dampfes nach sich zu ziehen und, indem sie in die Asche niederfielen, bedeckten sie sich, noch dampfend, mit einer weißen Kruste von Chlornatrium. „Und nun“ — sagt Sueß — „standen wir vor einem alten Rätsel. Die Ausbrüche selbst schienen uns nämlich ganz und gar durch Wasserdampf hervorgerufen wie im Geysir; das Chlornatrium wies auf das Meer unter uns, aber wie sollte eine Infiltration des Meeres möglich sein in Tiefen von so außerordentlich hoher Temperatur?“

Seit jenen Beobachtungen auf dem Gipfel des Vesuv sind mehr als dreißig Jahre dahingegangen und die seither gesammelten Erfahrungen gestatten wohl, eine Lösung dieses Rätsels zu versuchen. Silvestri hat die rhythmischen Bewegungen im Ätna vor dem Ausbruch von 1879, Mercalli am Vesuv in verschiedenen Jahren beobachtet, am Stromboli sind sie durch Bergeat genauer untersucht worden. Sueß vergleicht die besondere Regelmäßigkeit des Rhythmus einer Siedequelle im Yellowstone-Park, des „Old Faithful“ mit dem unregelmäßigen, von Bergeat am westlichsten Krater des Stromboli festgestellten Intermissionen und sieht das Entscheidende in der Beurteilung der Erscheinungen darin, daß dieser Krater durch die Tätigkeit seiner Nachbarn nicht beeinflußt wird und daß, wie Bergeat sich ausdrückt, der Siedeprozess ganz nahe der Oberfläche stattfinden muß. Hierin aber, in dem intermittierenden Hervortreten von Gasen, deren Explosivkraft gegen die Mündung der Gase zunimmt, sieht er das bezeichnende Merkmal der Siedequellen. In Ergänzung der Sueßschen Ausführungen mag hier auf die Würdigung der am Stromboli zu beobachtenden Erscheinungen durch Ponlett Scrope

hingewiesen werden, den wir als den ersten Begründer richtiger Ansichten über die Physik der Eruptionen bezeichnen können, und der die schon von Spallanzani 1788 gemachte und später von F. Hoffmann wiederholten Beobachtungen über das intermittierende „Aufkochen“ der Lava auf Grund eigener, bestätigender Unternehmungen richtig dahin deutete, daß bei der Bestätigung des Vulkanismus dem überhitzten Wasserdampf die wichtigste Rolle zufalle. Mit Sueß kehren wir zurück zu der Frage der Herkunft dieser Wasserdämpfe im Krater. Er bemerkt, daß Humboldt auf den Umstand hinwies, daß die meisten Vulkane in der Nähe des Meeres stehen und an ein Zusickern von Meerwasser, also an vadosen Ursprung dachte, Cordier und Gay-Lussac aber die Möglichkeit solcher Infiltration leugneten. Ergänzend mag hier bemerkt sein, daß der durch Humboldt vertretene Gedanke schon durch den 1600 zu Rom als Ketzer verbrannten Giordano Bruno geäußert wurde. Dieser, dessen Bedeutung als Geologe de Lorenzo in einer 1895 veröffentlichten Abhandlung nachwies, erklärte Vulkane und Thermen für Erscheinungen, welche mit Vorgängen im Erdinnern in Zusammenhang stehen und hielt gleich Humboldt die Lage der Vulkane am Rand der Meere für den Beweis der Einwirkung des Wassers auf das heiße Erdinnere. Sueß betont, daß für die Beurteilung der vulkanischen Vorgänge zwei Umstände von Bedeutung sind, erstens die Temperatur der Laven, zweitens die Natur der begleitenden Gase.

Dünnflüssigkeit der Vesuvlava tritt nach Doelter bei 1090° C. ein, da im April 1871 ausgeworfene Schlackenketzen Körner des offenbar in der Erde bereits vorhandenen, erst bei 1310° schmelzenden Leucites enthielten, mußte die Temperatur der pulsierenden Lohe im Cratere parasitico zwischen diesen beiden Grenzen liegen, wahrscheinlich nicht sehr hoch über dem Schmelzpunkt der Lava, denn die Wände des Kessels bestanden nicht aus Asche, sondern aus aufgerichteten Schollen derselben Lava, die auch nach vielen Monaten nicht aufgeschmolzen war. Daraus leitet Sueß die Vermutung ab, „daß die im Cratere parasitico aufsteigenden Gasblasen selbst die Wärmebringer gewesen sind, ganz wie die heißen in das Sinterrohr des Geysirs eintretenden Blasen, daß sie es waren, welche die Laven durch Abgabe von Wärme zum Schmelzen brachten und dann unter den bekannten Intermittenzen aufstiegen“. Zur Unterstützung dieser Ansicht verweist er darauf, daß größeren vulkanischen Ausbrüchen unterirdische Kanonenschläge vorauszugehen pflegen, welche allgemein für das Zeichen des Entretens sehr heißer Dampfblasen in eine kühlere Umgebung gehalten werden. Die dumpfen Schläge werden häufiger, bis endlich der erste weiße Dampfballen aus dem Krater hervorschießt. Später erst steigt die siedende

Lava auf, die innigst mit Wasserdampf gemischt ist. Unter allen Umständen aber steht nach der Meinung Sueß' soviel fest, daß die Massen von Wasserdampf, welche aus dem Cratere parasitico entwichen, aus einer Temperaturzone stammen mußten, welche dem Schmelzpunkte der meisten Felsarten gleichstand oder ihn übertraf, in welcher daher von porösem oder zerklüfteten Gestein und schon aus diesem Grunde auch von vadosen Infiltration nicht die Rede sein kann. Dieser Beweisführung wird man wohl beipflichten müssen und demzufolge sowohl die von E. Reyer in seinem 1877 über die Physik der Eruptionen veröffentlichten Buche gegebenen Ausführungen über die Möglichkeit der Infiltration von Wasser zu dem heißen Erdinnern ablehnen wie die neuerdings von Brun ausgesprochene und später noch eingehender zu beleuchtende Ansicht, daß die bei Eruptionen geförderten Wasserdampfmassen lediglich vadosen Ursprungs seien.

Sueß wendet sich dann zur Besprechung der begleitenden Gase, er gedenkt der Verdienste, welche sich französische Forscher, namentlich S. Claire Deville und Fouqué neben Bunsen um die Kenntnis der Natur der Gase erworben haben, welche den Vulkanen entweichen. Neben Wasserdampf sind Chlor und schwefelhaltige Gase, dann Kohlensäure die wichtigsten. Sie folgen in ihrem Auftreten einer bestimmten Regel. Alle Fumarolen in den Essen selbst scheinen, soweit man ihnen nahe kommen konnte, von Wasserdampf begleitet zu sein, auf dem Rücken erstarrender Lavaströme sind die heißesten Fumarolen (über 500°) trocken. In den heißesten Emanationen erscheinen Chlorverbindungen (Salzsäuredämpfe, Kochsalz u. a.), mit ihnen Fluor, Bor und Phosphor, und diese Stoffe treten bei sinkender Temperatur der Fumarole zuerst zurück. Länger hält Schwefel an, zuweilen in Begleitung von Arsen. Der Austritt von Kohlensäure dauert noch länger und ist nicht selten noch bei weit vorgeschrittener Abkühlung vorhanden. Kohlensäure ist aber auch schon in den heißesten trockenen Fumarolen nachgewiesen. Nahe liegende Öffnungen zeigen oft verschiedene Phasen der Emanation. Der Hauptkrater des Vesuv hat vom März bis August 1901 bedeutende Mengen von Wasserdampf ausgestoßen, welche von Salzsäure begleitet waren und als Regen niederfallend, die Pflanzendecke wesentlich beschädigten. Am Gipfel sah man auch Chlorverbindungen von Eisen und Kupfer. Zur selben Zeit aber trat, wie Mercalli berichtet, an mehreren Stellen des Abhanges des zentralen Gipfels Wasserdampf hervor, der nicht oder doch nicht in merklicher Weise von Säuren begleitet war. In den Phlegräischen Feldern trifft man nahe beieinander die Wasserdampf, Schwefel und Arsen fördernde Solfatara, die Kohlensäure liefernden Mofetten der Hundsgrotte und die heißen Wasserdämpfe von Bajae. Die Kenntnis dieser Phasen der Emanationen ist nach Sueß

von großer Bedeutung für das Verständnis der Thermen.

Der Wasserdampf der Vulkane kann, wie Sueß hervorhebt, nicht von vadoser Infiltration stammen, und von der Kohlensäure ist solche Infiltration von vornherein ausgeschlossen. Die Frage, woher sie stammen, beantwortet er daher dahin, daß sie aus den tieferen Innenregionen des Erdkörpers stammen und Äußerungen einer Entgasung des Erdkörpers sind, welche seit der beginnenden Erstarrung derselben begonnen hat und auch heute, wenn auch auf einzelne Punkte und Linien beschränkt, noch nicht völlig abgeschlossen ist. Auf diese Weise sind die Ozeane und ist die gesamte vadoso Hydrophäre von dem Erdkörper abgeschieden worden. Nicht die Vulkane werden von Infiltrationen des Meeres gespeist, sondern die Meere erhalten durch jede Eruption Vermehrung. Diese Ansicht, sagt Sueß, ist nicht neu. Er nennt Tschermak als einen Vertreter derselben in dessen Untersuchungen über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung, dann E. Reyer in seinem Buch über die Physik der Eruptionen. Hier wäre beizufügen, daß Reyer allerdings die Ansicht vertreten hat, daß das Magma von Anfang das Liquida gefesselt enthält und bei seiner Abkühlung und Erstarrung ebenso ausscheidet, wie ein erstarrender Silberkuchen den Sauerstoff, den das geschmolzene Silber absorbiert hatte. Aber Reyer konnte sich, wie schon früher erwähnt, nicht ganz von der Infiltrationshypothese freimachen. Er betont den Umstand, daß die Vulkane zumeist in der Nähe des Meeres auftreten und Inland-Vulkane, wie Fuchs bemerkte, in der Nähe von Seen stehen. „Wäre“ — sagt Reyer — „das Eindringen großer Wassermassen in die Tiefe ohne Bedeutung für das Magma, so würde nicht einzusehen sein, warum die Vulkane die Kontinente fliehen.“ (Physik der Eruptionen, S. 50.) Er hebt aber hervor, daß das Magma jedenfalls mit Kohlensäure überladen sein müsse, wie schon die vielen mit Kohlensäure übersättigten Quellen lehren. Eine solche Übersättigung könne nicht durch Aufnahme dieses Gases aus der Atmosphäre bewirkt worden sein, die überschüssige Kohlensäure müsse vielmehr aus der Tiefe der Erde stammen (a. a. O. S. 52). Des weiteren erörtert Reyer freilich, daß Gase seit jeher im Magma gefesselt seien und sucht durch eine kosmogenetische Betrachtung den Beweis zu führen, die Gase seien zum großen Teile wenigstens im Magma enthalten, seitdem es besteht (a. a. O. S. 56 u. f.). Auch in seiner 1888 veröffentlichten Theoretischen Geologie vertritt Reyer ähnliche Ansichten. Er bezeichnet (S. 180) die Beschränkung der tätigen Vulkane auf wasserreiche Gebiete als eine Erscheinung, welche unerklärlich bleibt, wenn man nicht zugibt, das Magma

werde durch Wasser wesentlich beeinflusst, und seine Erörterung der Einleitung einer Eruption (S. 184) zeigt, daß er bei den explosiven Eruptionsvorgängen die Mitwirkung infiltrierenden Wassers für wesentlich erachtet. Aber auch in seiner theoretischen Geologie legt Reyer das Hauptgewicht darauf, daß Liquida seit jeher im Magma enthalten sind und bei den Eruptionen ausgespritzt werden. Der von Reyer wiederholt und mit Recht betonte Satz, daß reichlich durchtränktes Magma bei der Eruption unter Dampfschüssen zerstäubt wird, während wenig durchtränktes vergleichsweise ruhig ausfließt, hat in der Folge bei der Erörterung vulkanischer Erscheinungen vielfach in der Form Ausdruck gefunden, daß die gewaltsamen, explosiven Vorgänge der Eruptionen dem Zutritt von Wassermassen, die wir jetzt mit Sueß als vadoso bezeichnen, zugeschrieben werden, während die Ursache des Emporquellens des Magmas selbst in einer Art hydrostatischen Druckes durch sinkende Schollen der Erdrinde gesucht wurde. Wir finden diese Ansicht beispielsweise in H. Credners Elementen der Geologie (9. Auflage 1902, S. 44 u. 45) dargelegt, doch wird daselbst auch betont, daß bei den Eruptionen der Vulkane nicht bloß Wasserdampf und Chlorwasserstoff, die vom eindringenden Meerwasser herrühren können, sondern auch andere Stoffe, namentlich ungeheure Mengen von Kohlensäure austreten, die ebenso, wie ein Teil des Wasserdampfes, aus dem heißen Magma des Erdinnern stammen. Auf die Hypothese Stübels, nach welcher bei der jetzigen vulkanischen Tätigkeit ein Aufsteigen des Magmas aus isolierten peripherischen, in der „Panzerdecke“ der Erde gelegenen Herden infolge der Ausdehnung des Magma beim Erstarren stattfände, soll hier nicht eingegangen werden, ebensowenig auf die Ansicht von S. Arrhenius, nach welcher die Eruptionen ebenfalls auf eine Volumsvermehrung des Magma zurückzuführen wären, die jedoch durch Aufnahme in die Tiefe sinkender — also vadoser — Wasser verursacht werden sollte.

Suess nennt in seinem Vortrag neben Tschermak und Reyer, Lapparent und DeLanay in Frankreich, sowie Kemp in Amerika als Autoren, welche, wie andere verdiente Forscher, sich der oben angeführten Meinung über die Entstehung der Hydrophäre mehr und mehr genähert haben. Als eine wesentliche Bekräftigung dieser Ansicht muß es nach Suess angesehen werden, daß zu wiederholten Malen das Entweichen freien Wasserstoffes aus den Vulkanen beobachtet worden ist: „Auf diese Art gelangt man zu dem schon von S. Claire Deville ausgesprochenen Ergebnisse, daß die Essen der Vulkane Punkte sind, an denen sich Oxydationsvorgänge im großen vollziehen, und daß erst in den oberen Horizonten ein großer Teil jener chemischen Verbindungen entsteht, welche wir als vulkanische Produkte antreffen. So wie schwef-

lige Säure, Salzsäure und andere ähnliche Verbindungen erst in Berührung mit der Atmosphäre oder doch erst in den höheren Teilen der Esse entstehen, ist es auch mit dem Wasser der Fall; den vadosen Wassermengen der Erdoberfläche gesellen sich auf diesem Wege neue Mengen zu, die jetzt erst und vor unseren Augen an das Tageslicht gelangen, und die als juvenile Wässer zu bezeichnen sind. Dasselbe gilt für juvenile Kohlensäure, juveniles Kochsalz u. a., und das ist vielleicht die Erklärung für den Umstand, daß die heißesten Fumarolen trocken sind.“

In seinem Vortrag wendet sich Suess nunmehr von den Vulkanen zu den Siedequellen und Thermen, um zu untersuchen, inwiefern auch bei diesen juvenile Wässer eine Rolle spielen; ehe wir jedoch auf seine diesbezüglichen Ausführungen eingehen, müssen wir noch ein wenig bei jenen Ansichten verweilen, die in neuere Zeit auf Grund irrig gedeuteter Beobachtungen auch die Bedeutung des juvenilen Wassers bei der Betätigung des Vulkanismus in Abrede stellten. Auf diese Ansichten einzugehen, erscheint um so notwendiger, als die Meinungen über die vulkanischen Erscheinungen und ihre Ursachen heute ziemlich weit auseinandergehen und sich manche Autoren damit begnügen, die tatsächlich unvereinbaren Ausführungen, z. B. von Branca gegen und von Bergeat für die Bedeutung der Spalten bei der Betätigung des irdischen Vulkanismus, von Stübel über die Volumenvermehrung und von Doelter und Barus über die Volumenverminderung des Magmas beim Erstarren, von Suess über die Bedeutung des juvenilen Wassers und von Brun über das Fehlen desselben bei vulkanischen Emanationen in gleicher Weise vorzutragen, es dem Leser überlassend, sich selbst ein Urteil zu bilden. Das vor kurzem vom Verein der Bücherfreunde herausgegebene Buch „Unterirdische Gluten“ von H. Haas, welches einen vortrefflichen Überblick über den Widerstreit der Meinungen auf dem Gebiet des Vulkanismus darbietet, mag hier als Beispiel dienen. Wir finden hier S. 100 u. f. Tschermaks „Emanationstheorie“ erörtert und Suess' Ansichten über vadoses und juveniles Wasser wiedergegeben, dann aber auch S. 121 die diametral entgegengesetzten Anschauungen des Genfer Physikers Albert Brun, und zwar mit der Bemerkung: „Wir möchten betonen, daß Brun nicht etwa nur durch theoretische Spekulationen zu solchen Ansichten gelangt ist; vielmehr hat der Genfer Forscher diesbezüglich eingehende Untersuchungen an verschiedenen tätigen Vulkanen Europas angestellt, auf die wir leider nicht weiter eingehen können.“ Es ist jedoch ein näheres Eingehen auf die Brun'schen Untersuchungen und ihre angeblichen Ergebnisse unumgänglich nötig, wenn die Rolle, welche juveniles

und vadoses Wasser nicht nur bei den vulkanischen Ausbrüchen, sondern auch bei der Bildung der Thermen spielt, erörtert werden soll.

Gegen die Ansichten von Suess (aber auch gegen diejenigen fast aller Geologen, Mineralogen und Physiker, welche sich bis jetzt mit der Untersuchung vulkanischer Erscheinungen beschäftigten) hat A. Brun die Behauptung aufgestellt, daß der Wasserdampf, welcher die Vulkanausbrüche begleitet, keineswegs juvenilen Ursprungs sei und der Wasserdampf überhaupt bei der Betätigung des Vulkanismus keine wesentliche Rolle spiele. Zur Unterstützung seiner Behauptung führt Brun zunächst Analysen und Laboratoriumsversuche an.<sup>1)</sup> Er fand, daß Laven und vulkanische Gläser, trotzdem sie bereits Eruptionsprodukte sind, noch immer bei Erhitzung reiche Mengen von Gasen lieferten, infolge ihrer Abkühlung und Erstarrung vor der völligen Erschöpfung der Gase. Künstlich bis zur Verflüssigungstemperatur erhitzt, gaben Laven und Gläser große Mengen von Gasen bei geringer Gewichtsabnahme des Magmas ab. Brun führt an, daß Obsidian bei einer Gewichtsverminderung von nur 2½ bis 3 Tausendstel das zehnfache seines Volumens an Gasen abgibt. Es ist das leicht begreiflich, denn Obsidian hat einen Gehalt von ungefähr ½% an Wasser; — ein Gehalt, der bei anderen vulkanischen Gläsern, Perlit und Pechstein, noch viel beträchtlicher ist (Perlit 2—4, Pechstein 4—9%). Solche Gläser sind also gerade sehr wenig geeignet, die Behauptungen von Brun zu unterstützen, nach welchen Wasser, bzw. Wasserdampf bei den vulkanischen Erscheinungen keine Rolle spiele. Aus Laven, welche ihren Wassergehalt eben bei der Eruption bereits abgegeben hatten, konnte Brun natürlich bei Erhitzung bis zur Verflüssigungstemperatur lediglich andere, infolge chemischer Umsetzung frei werdende Gase erhalten. Seine Angabe, daß an tätigen Kratern kein Wasserdampf auftrete, wie er u. a. bei Beobachtungen am Stromboli und am Vesuv ermittelt haben will<sup>2)</sup>, steht mit den bisherigen Wahrnehmungen allzu sehr im Widerspruch, als daß sie ohne weitere Prüfung als richtig betrachtet werden könnte. Brun behauptet, daß der aufsteigende weiße Rauch, den andere Forscher für Wasserdampf hielten, ein trockenes, chlorhaltiges Gas sei, und daß die gewaltigen, bei vulkanischen Eruptionen eintretenden Regengüsse einerseits hauptsächlich auf Kondensation atmosphärischen Wassers zurückzuführen wären, andererseits wohl von Wasserdampf herrühren könnten, der vom Vulkan aufsteige, aber auch dieser Wasserdampf sei keineswegs juvenilen Ursprungs, sondern stamme von vadosem Wasser, das aus meteorischen Niederschlägen stammend, in den Vulkankegel eingedrungen sei und nun bei der Erwärmung desselben durch die Eruption verdampfe. A. Brun behauptet, daß wo immer Wasser und Wasserdampf bei vulkanischen Eruptionen auftreten,

man nur annehmen könne, daß es meteorischen und nicht plutonischen Ursprungs sei. Trete Wasserdampf aus Fumarolen aus, so sei seine Herkunft, wenn es sich um Vulkane handle, die meteorischen Niederschlägen ausgesetzt sind, nicht mit Sicherheit zu bestimmen. Brun meinte deshalb, daß es von hohem Werte sein müßte festzustellen, daß tatsächlich in regenarmen Gebieten den vulkanischen Exhalationen der Wasserdampf vollständig fehle. Er begab sich deshalb in Begleitung von H. F. Montagnier nach den Kanarischen Inseln und untersuchte mit allerdings sehr primitiven Mitteln Fumarolen am Pico de Teyde auf Teneriffa und am Timanfaya auf Lanzarote. Am Pico de Teyde konnten im August 1907 zweierlei Fumarolen unterschieden werden, die einen waren mit Wasserdampf fast gesättigt, die anderen ganz ungesättigt, auch zeigten sich starke Schwankungen im Wassergehalt, — am Timanfaya hingegen wurde der Wassergehalt der Exhalationen gleich dem der umgebenden Atmosphäre gefunden, und Brun erblickt darin einen Beweis dafür, daß der Timanfaya keine Wasserdämpfe auszuhauchen vermag.<sup>3)</sup> Bergeat hält jedoch das Ergebnis der Untersuchung nicht für beweisend: „Denn das, was Brun hier untersucht hat, war ja zum allergrößten Teil Luft, die, wie er selbst sagt, von außerhalb in die Lapillilagen eingedrungen war. — Die Menge der wirklich gewonnenen, aus der heißen Lava stammenden Fumarolengase war offenbar eine so geringe, daß die ausgeführte, nicht absolut exakte Untersuchung keinen Aufschluß über die mit ihnen allenfalls zur Oberfläche gebrachte Wassermenge gewähren konnte.“<sup>4)</sup> Wir müssen dem ausgezeichneten Vulkankenner in dieser Kritik der Brun'schen Untersuchungen wohl beipflichten. Noch schlimmer sieht es aber mit den Folgerungen aus, die Brun aus seinen wenig stichhaltigen Untersuchungen abgeleitet hat. Hier müssen wir ihm entgegenhalten, daß ja seit langem bekannt ist, daß die heißesten Fumarolen trocken sind. Die Ursache liegt zweifellos, wie Suess mit Recht hervorgehoben hat, in der durch die hohe Temperatur herbeigeführten Dissoziation. Erst in den kühleren Teilen der vulkanischen Essen erfolgt Verbindung, und gerade deshalb spricht Suess, wie wir oben gesehen haben, von „juvenilem“ Wasser. Die ungeheuren Mengen von Wasserdampf, welche bei allen heftigen Eruptionen gefördert werden, können unmöglich, wie Brun will, vadosen Ursprungs sein. Fouqué berechnet, daß während der Eruption des Ätna im Jahre 1865, welche durch 200 Tage dauerte, der Vulkan täglich 11 000 Tonnen Wasser in die Atmosphäre sandte, also über 2 Millionen Tonnen während des ganzen Ausbruches, und bei anderen Paroxysmus-Ausbrüchen mögen noch ungleich größere Mengen juvenilen Wassers gefördert worden sein. Diese Tatsache allein — ganz abgesehen von anderen noch zu erörternden Umständen — genügt, um die eigenartige Hypothese Stanislas

Meuniers über den Ursprung der bei Eruptionen auftretenden Wasserdämpfe als unzulässig zu erweisen. St. Meunier erkennt dem Wasser die wesentliche Rolle bei der Betätigung des Vulkanismus zu, er bezeichnet einen Vulkan geradezu als einen Apparat, durch welchen Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche gefördert wird, dieses Wasser ist aber seiner Meinung nach kein juveniles, sondern solches, welches die Gesteine bis zu einer gewissen Tiefe imprägniert. Infolge der Spalten und Klüfte, welche die Erdrinde durchsetzen, könnten Teile der Erdrinde, welche aus durchfeuchteten Gesteinen bestehen, in größere Tiefen hinabstürzen, in welchen das Magma der dort herrschenden hohen Temperatur zufolge feurig flüssig und wasserfrei sei. Solche in die Tiefe gelangende Teile der oberen Regionen könnten aber neben Wasser auch andere Substanzen erhalten, wie Steinsalz. Bei ihrem Zusammentreffen mit dem heißen Magma erfolge dann eine Explosion, durch welche der Ausbruch des Magmas bewirkt werde, und es wäre begreiflich, daß dabei auch die gas- und dampfförmigen Stoffe der vulkanischen Emanationen erzeugt würden. Ist schon die ziemlich naive bildliche Darstellung, welche St. Meunier 1903 zur Erläuterung seiner Hypothese gab<sup>5)</sup>, wenig geeignet, für dieselbe einzunehmen, so muß leider auch von einer in neuester Zeit in wesentlich geänderter Form dargebotenen Versinnlichung seiner geistreichen, aber von Haus aus höchst unwahrscheinlichen Idee gesagt werden, daß sie noch weniger für dieselbe zu sprechen scheint. In seinem Werk über Erdbeben gibt St. Meunier ein Idealprofil, welches durch eine große Überschiebung ursprünglich tiefer liegende heiße und wasserfreie Gesteine über früher höher gelagerte, durchtränkte Felsmassen geraten sein läßt. Diese durchtränkten Massen würden nun nach Ansicht Meuniers aufgeschmolzen und durchbrächen die hangenden Teile der Erdrinde, es käme zur Eruption und zur Bildung eines Vulkans.<sup>6)</sup>

Nun haben wir aber guten Grund anzunehmen, daß die großen, in Überschiebungen bestehenden Rindenbewegungen, welche die geologische Erforschung der verschiedensten Gebiete der Erde in den letzten Jahren in so ausgedehnter Weise festgestellt hat, auf die obersten Teile der Erdkruste beschränkt sind und sich kaum bis in jene Tiefen erstrecken, in welchen die Temperatur so hoch ist, daß magmatische Zustände herrschen. Es ist also die kühne Idee Meuniers von vornherein nicht sehr plausibel, sie erscheint aber vollkommen unhaltbar bei Berücksichtigung der Beschaffenheit der vulkanischen Emanationen, die ja nicht nur Wasserdampf und Chlorverbindungen, welche von der Durchtränkung in die Tiefe gelangter Gesteinsmassen und etwa in diesen vorfindlichen Steinsalzeinlagerungen herrühren könnten, sondern auch Schwefel, Bor, Fluor, Kohlensäure, mannigfache Metalle ent-

halten. Eben dieselben Bedenken müssen auch gegen die Ansichten geltend gemacht werden, welche R. Lepsius über den Zusammenhang zwischen den tiefen Quellen und den großen Gebirgsüberschiebungen ausgesprochen hat.<sup>7)</sup> Ehe wir jedoch auf die Erörterung dieser eigenartigen Ansichten eingehen können, welche im wesentlichen darauf hinauslaufen, daß das Wasser der Thermen vadosen Ursprunges sei und die Kohlensäure desselben von Kalklagern herrühre, die durch tektonische Vorgänge so tief zu liegen kamen, daß sie durch die innere Hitze der Erde zersetzt werden, müssen wir auf die den Siedequellen und Thermen geltenden Ausführungen von E. Sueß eingehen.

Bezüglich der ersteren verweist Sueß zunächst auf den Umstand, daß sie nur in jung vulkanischen Gebieten auftreten. In Island ist die Verbindung nicht nur der eigentlichen pulsierenden Siedequellen, sondern auch der heißen Bor-, Schwefel- und alkalischen Quellen mit den Eruptionen so augenfällig, daß nie an der Einheit des Phänomens gezweifelt wurde. Bezüglich des Yellowstone-Parkes, in welchem 160 pulsierende Siedequellen bekannt sind, begleitet von Tausenden anderer heißer Ausflüsse, hebt Sueß zwei Tatsachen hervor, welche wesentlich geeignet sind, seine Ansicht von dem juvenilen Ursprung dieser Wässer zu unterstützen: die erste ist, daß Schwefel und Arsen als Absätze einzelner dieser Quellen erscheinen, welche hier nicht aus vadoser Auslaugung des Gebirges entstanden sein können, die zweite, daß unabhängig vom Niederschlag seit etwas mehr als einem Jahre ein allgemeiner, allen diesen zahlreichen Ausflüssen gemeinsamer Rückgang der thermalen Tätigkeit sichtbar ist. Die Siedequellen können daher nichts anderes

sein als die Folge der Entgasung und Abkühlung einer nicht allzu tief unter der Oberfläche liegenden Lavamasse, Emanationen, welche zu schwach sind, um eine Eruption zu verursachen oder Vorbereitungen eines neuen Ausbruches. „Man kann sich vorstellen,“ — meint Sueß — „daß vadoso Infiltrationen von den minder heißen Quellen mit heraufgetragen werden, aber sie werden herabsinkend auf heiße Wässer gelangt sein, welche ihr weiteres Eindringen hinderten. Man kann sich sogar vorstellen, daß bei einer Schwankung der inneren Wärme, d. i. bei geringerem Heraufdringen erhitzter Gase, wie eben jetzt am Yellowstone, den vadosen Wässern möglich wird, in etwas größere Tiefen zu gelangen, und bei neuerlichem Aufsteigen der heißen Gase mögen sogar von ihnen diese tieferen vadosen Wässer aufgenommen werden und mag eine gewisse Mengung eintreten. Vadoso Zutaten mögen also untergeordnete Einflüsse oder Beirungen veranlassen, aber das Wesen der Erscheinung beruht, ganz wie bei den Vulkanen, auf dem Auftriebe juveniler Stoffe, dem „apport interne“ oder Zutrag aus der Tiefe.“

#### Literatur.

<sup>1)</sup> A. Brun: Quelques recherches sur le volcanisme (Arch. des sc. phys. et nat. Genève. 1905. — <sup>2)</sup> a. a. O., 1906. — <sup>3)</sup> A. Brun: Quelques recherches sur le volcanisme au Pico de Teyde et au Timanfaya. Arch. des sc. phys. et nat. Genève, 1908. — <sup>4)</sup> Bergeat in seinem Refer. über die Abhandl. von A. Brun im Neuen Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal., 1909, I, S. 365. — <sup>5)</sup> S. Meunier: La géologie générale, pag. 81. — <sup>6)</sup> St. Meunier: La terre qui tremble, pag. 197. — <sup>7)</sup> R. Lepsius: Notizen zur Geologie von Deutschland, Notizblatt d. Ver. f. Erdkunde u. d. geol. Landesamt. zu Darmstadt, IV. Folge, Heft 29, 1908.

(Schluß folgt.)