

GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE.

VERHANDLUNGEN 1902. ALLGEMEINER THEIL.

UEBER HEISSE QUELLEN.

VON

EDUARD SUESS.

Sonderabdruck.

LEIPZIG,

VERLAG VON F. C. W. VOGEL.

1902.

UEEBER HEISSE QUELLEN.

VON

EDUARD SUESS.

Im Anblicke der merkwürdigsten heissen Quelle des europäischen Festlandes, welche zugleich als eine Heilquelle gefeiert wird, wie keine andere, fällt mir die Ehre zu, vor Ihnen über das Wesen der heissen Quellen zu sprechen. Karlsbad ist der Gegenstand vieler und eingehender wissenschaftlicher Studien gewesen. Aus der neuesten Zeit nenne ich nur TELLER's geologische Karte, die genauen Untersuchungen von ROSIWAL zum Schutze der Quellen,¹⁾ für die chemische Zusammensetzung die Analysen von LUDWIG und MAUTHNER,²⁾ endlich für die Gesammterscheinung die Arbeit uneres Freundes KNETT in der schönen Festschrift, welche uns die Stadt Karlsbad überreicht hat. Ich würde es auch gewiss nicht unternehmen, vor Ihnen über diesen Gegenstand zu sprechen, wenn es sich nicht zeigen würde, dass auch die gründlichsten Darstellungen in Zweifel über das Wesen einzelner der wichtigsten Punkte dieser grossartigen Naturerscheinung ausklingen.

Aeltere Darstellungen in unseren Lehrbüchern sagen uns, dass heisse Quellen gespeist werden durch infiltrirende Tagwässer, welche in einer gewissen Tiefe ihre hohe Temperatur annehmen und, mit dieser Temperatur aufsteigend, dem Gestein ihre festen Bestandtheile durch Lösung entnehmen. Hieraus wird gefolgert, dass mit Hülfe der sogenannten thermischen Stufe, d. i. des Maasses der mittleren Zunahme der Erdtemperatur, ein annäherndes Minimalmaass für die Tiefe zu erlangen sei, bis zu welcher das infiltrirte Tagwasser gelangt sei, und ferner, dass die Beschaffenheit der Therme gleichsam ein Spiegel der Beschaffenheit der durchströmten Felsarten sei.

Als aber im Jahre 1880 FRANZ v. HAUER, F. v. HOCHSTETTER und HEINR. WOLF aufgefordert wurden, ein Gutachten über den Schutz der Karlsbader Thermen abzugeben, erklärten sie, dass das Infiltrations-

1) Jahrb. geol. Reichsanst. 1894, XLIV, S. 671—783.

2) TSCHERMAK's Min. u. petrogr. Mitteil.. 1879.

gebiet dieser Thermen in dem ausgedehnten und vorherrschend granitischen Gebiet sich auch nur mit annähernder Sicherheit nicht feststellen lasse. G. LAUBE, welcher eine ausgezeichnete Beschreibung unseres böhmischen Thermengebietes veröffentlicht hat, fand, dass die grosse Menge kohlensauren Kalkes in der Sprudelschale, die aus dem Granit kommen sollte, sowie die grosse Wassermenge des Sprudels überhaupt Räthsel seien. LUDWIG und MAUTHNER wussten sich die bedeutende Menge von Natrium nicht zu erklären und meinten geradezu die Thermen müssten den Hauptreichthum ihrer festen Bestandtheile nicht aus dem Granit, sondern aus dem unbekannten Erdinnern bringen. ROSIWAL vermochte keine Uebereinstimmung zwischen dem Gange des Niederschlages und der Ergiebigkeit der Quellen von Karlsbad zu finden. Die Kohlensäure, meinte er, müsste jedenfalls aus einem heissen Magma kommen.

Ich darf sagen, dass ähnliche Zweifel für viele Thermengebiete ausgesprochen worden sind. Ihnen gegenüber habe ich nicht die Absicht, eine neue Meinung zu vertreten, aber ich möchte versuchen, Ihnen eine ältere Ansicht vorzutragen, welche, wie mir scheint, unverdientermaassen in den Hintergrund gerückt worden ist. Zuvor jedoch muss ich, zur Abkürzung späterer Auseinandersetzungen, die Erklärung zweier Ausdrücke vorausschicken.

In einem berühmt gewordenen Vortrage über Erzgänge hat POSEPNY im J. 1893 die infiltrirenden Wässer als vadose, d. i. seichte Wässer bezeichnet, im Gegensatze zu den aus der Tiefe aufsteigenden.¹⁾ Wir werden diesen Ausdruck beibehalten und noch weiter fassen. Für uns sind nicht nur die infiltrirenden Wässer vadose, sondern alle Theile der Hydrosphäre, Oceane und Flüsse, Wolken und Niederschläge. Es giebt vadose Wässer, welche, erwärmt, durch artesische Bohrungen aufsteigen. Vadose Wässer dringen, oft Kohlensäure tragend, vom Tage aus in die oberen Horizonte der Erzgänge, lösen und deponiren und veranlassen auf diese Art Umlagerungen der mineralischen Substanzen. Für uns giebt es auch vadose Kohlensäure, welche mit Methan in den Kohlenflötzen sich ausscheidet, und vadose Chor-, Schwefel-, Brom- und Jodverbindungen in den Oceanen und in den Salzablagerungen. Vadose ist der Schwefelwasserstoff, welcher, unter dem Einflusse von Bakterien abgeschieden, die Tiefen des Schwarzen Meeres erfüllt.

Der zweite Ausdruck, den ich erwähnen möchte, ist das Pulsiren der Quellen. Es giebt zweierlei pulsirende Quellen.

Ich darf die in einem mehr oder minder regelmässigen Rhythmus erfolgenden Ausbrüche heissen Wassers aus dem Geysir in Island, sowie BUNSEN's Erklärung des Phänomens als bekannt voraussetzen. Die Quelle hat ein cylindrisches Rohr von Sinter aufgebaut. Blasen von

1) F. POSEPNY, The Genesis of ore deposits; Trans. Amer. Inst. Min. Eng. 1893, XXII; 149 pp.

überhitztem Wasserdampf, welche in der Tiefe seitlich in dieses Rohr eintreten, befinden sich unter dem Drucke der Wassersäule, die das Rohr erfüllt, und folglich liegt für sie der Siedepunkt noch über 100°, sagen wir in einer bestimmten Tiefe in 124°. Neue heisse Blasen treten hinzu; endlich wird 124° erreicht; dann erfolgt Explosion; die Wassersäule wird in raschen Stößen in die Luft geschleudert, dabei die Wassersäule unter der Einströmungsstelle plötzlich entlastet, das cylindrische Rohr entleert, und langsam füllt es sich wieder. Freilich ist der Geysir sehr im Rückgange; im J. 1772 erfolgte jede halbe Stunde ein Auswurf, im J. 1805 alle 6 Stunden, im J. 1860 alle 4—5 Tage, dann sind die Pausen immer länger geworden, und jetzt dauert es bis zu 20 Tagen, bevor sich dies Schauspiel wiederholt. Wir halten fest, dass die zutretenden Blasen heisser sind als die Wassersäule, deren Temperatur übrigens selbstverständlich sich bis zu jedem Ausbruche steigert und dann sinkt. Pulsirende Quellen nach diesem Typus nennen wir Geysir- oder Siedequellen.

Die Quellen von Karlsbad pulsiren auch, aber das Pulsiren ist weniger regelmässig und erfolgt in kurzen Zeiträumen; die Ursache ist auch eine andere. Ueber dem Quellsystem liegt die von zahlreichen Hohlräumen unterbrochene Sprudelschale. In diesen sammelt sich das kohlensaure Gas, bis sein Druck das Wasser nach aufwärts treibt, und da diese Hohlräume unregelmässig sind, ist es auch der Rhythmus. In der uns vorliegenden Festschrift hat KNETT nicht nur zahlreiche Einzelheiten über den Rhythmus der Intermittenzen gegeben, sondern auch nach BECHER's Bericht einen lehrreichen Vorfall aus dem Jahre 1774 beschrieben. Damals war der Sprudel an einer tiefen Stelle im Flussbette ausgebrochen; das kalte und trübe Flusswasser ergoss sich in die leerstehenden normalen Ausflussmündungen und wurde hier von den aufreibenden Gasen ausgeworfen, als wäre es Thermalwasser.¹⁾

Quellen dieser Art nennen wir Sprudelquellen.

Hier nun möchte ich schon eine Thatsache hervorheben, welche für die ganze weitere Erörterung von grosser Bedeutung ist. Die Siedequellen stehen nicht unter hydrostatischem Druck, wie etwa artesische Wässer. Das Merkmal des hydrostatischen Druckes ist seine Gleichförmigkeit; die Intermittenzen, namentlich jene von etwas längerer Dauer, würden unmöglich sein. Bei den Sprudelquellen lässt sich aus der Art der Bewegungen nicht mit so voller Entschiedenheit urtheilen, aber man wird in Karlsbad wenigstens einen bis über die Oberfläche tragenden hydrostatischen Druck nicht zugestehen können.

Nach diesen Vorbemerkungen wende ich mich zunächst den Vulkanen zu. Nicht aber die tektonischen Fragen nach der Entstehung

1) KNETT, Der Boden der Stadt Karlsbad und seine Thermen. Festschrift 74. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte. 1902, S. 59.

der langen Vulkanlinien, noch auch der Einfluss dynamischer Vorgänge überhaupt, wie etwa benachbarter Senkungen, sollen uns beschäftigen, sondern nur die Vorgänge, welche einen Ausbruch begleiten.

Seit lange ist es anerkannt, dass bei diesen Vorgängen dem Wasserdampf die Hauptrolle zufällt. Grosse Mengen desselben pflegen nach einem Ausbruche als Regen zu Boden zu fallen. Siedequellen sind überhaupt nur in vulkanischen Gegenden bekannt und zwar in dem jungvulkanischen Gebiete des Yellowstone-Parks in den westlichen Vereinigten Staaten und in den thätigen Vulkangebieten von Island, von S. Miquel (Azoren), Neu-Seeland, Neu-Pommern und nach der Beschreibung von Piissis auch am Volcan viejo bei Chillan (Chile). In Neuseeland hat vor wenigen Jahren sich auf ihrem Hauptbezirke eine grosse vulkanische Spalte geöffnet.

Schon vor Jahren wurde festgestellt, dass in gewissen Vulkanen bei mässiger eruptiver Thätigkeit sich regelmässige Intermittenzen, also rhythmische Eruptionen einstellen; man hat diese Erscheinung die strombolische Phase eines Vulkans genannt. Die Zwischenpausen können, wie bei den Siedequellen, einige Secunden oder auch mehrere Stunden betragen. Im November 1867 zeigte dieses rhythmische Pulsiren des Vesuvs täglich zwei so regelmässige Maxima, dass man sogar irrthümlicher Weise einen Zusammenhang mit Ebbe und Fluth vermutete. Die strombolische Intermittenz betrug eben 12 Stunden.

Gestatten Sie mir nun, von einem Erlebniss zu sprechen, welches mir einen sehr tiefen Eindruck zurückgelassen hat. Im Januar 1871 hatte der Vesuv seitlich ausserhalb des Hauptkraters und etwa 60—70 m tiefer als der Gipfel einen kleinen Nebenkrater aufgebaut, den „Cratere parasitico“, wie er damals genannt wurde.

Von ferne erschien er als eine zackige Erhöhung auf dem sonst gleichförmig abfallenden Kegel des Vulkans. Am 31. März desselben Jahres standen wir, Prof. GERHARD v. RATH aus Bonn, einige Wiener Freunde und ich selbst, bei heiterer Nacht auf dem Quai S. Lucia in Neapel, und wir konnten in unzweifelhafter Weise wahrnehmen, dass der kleine Krater in regelmässigem Rhythmus nach je 6—8 Secunden aufleuchtete, während im Hauptkrater gleichfalls rhythmisches Aufleuchten, aber nur nach etwa 2 Minuten sich einstellte. Die beiden Ausbruchstellen waren also in dieser Beziehung von einander selbständige, da sie aber sicher einer gemeinsamen tieferen Esse entsprangen, konnte die Theilung nur in den oberen Horizonten, etwa an der Stelle der Abtrennung der Nebenesse des Cratere parasitico, eintreten, und die Verschiedenheit des Baues der obersten Theile der Esse musste maassgebend 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 uns, in das Innere des Cratere parasitico einzutreten. Wir

sahen in seiner Esse die Lohe in je 6—8 Secunden 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 Ausbruchstelle; 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.¹⁾

Aus dem Hauptkrater des Vesuvs flogen zugleich grössere Steine. Jeder von ihnen schien in der Luft einen Schweif entweichenden Dampfes nach sich zu ziehen, und indem sie vor uns in die Asche niederschlugen, bedeckten sie sich, noch dampfend, mit einer weissen Kruste. Es war Chlornatrium. Und nun standen wir vor einem alten Räthsel. 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? —

Dreissig Jahre trennen uns von den Erlebnissen jener Tage; dasselbe Räthsel hat sich vielen ausgezeichneten Forschern aufgedrängt, und wir können, mit vielen neuen Beobachtungen ausgerüstet, versuchen, zu seiner Erörterung zurückzukehren. SILVESTRI hat die rhythmischen Bewegungen im Aetna vor dem Ausbruche von 1879, MERCALLI am Vesuv in verschiedenen Jahren beobachtet, am Stromboli sind sie von BERGEAT verzeichnet worden. Es ist selbstverständlich, dass bei einer ähnlichen Naturerscheinung sich nicht die genaue Regelmässigkeit des Pulsschlages eines lebenden Wesens erwarten lässt. Kleinere Seitenzugänge in der Tiefe und andere Nebenumstände bringen es bei den Siedequellen dahin, dass sehr oft neben den regelmässigen Ausbrüchen der Siedequellen eine Reihe viel kleinerer Ausbrüche einhergeht, in denen keine Regelmässigkeit wahrzunehmen ist, und erst, wenn man von diesen kleinen Zuckungen absieht, die namentlich der grösseren Eruption vorzugehen pflegen, wird der Rhythmus erkennbar.

Bei dem Old Faithful, einer Siedequelle im Yellowstone-Park, welche ihrer besonderen Regelmässigkeit halber diesen Namen erhalten hat, beobachtete COMSTOCK im Jahre 1873 folgende Intervallen in Minuten: 58, 63, 62, 63, 68, 77, 52, 68, 62, 63. Ein Jahr zuvor hatte PEALE gefunden: 68, 65, 66, 68, 70, 70, 68, 69, 67.²⁾

1) G. v. RATH, Der Vesuv am 1. u. 17. April 1871. Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1871, S. 702—733.

2) A. C. PEALE im XII. Report of the U. S. Geol. Survey, part II, 1883, p. 223; diese Ziffern sind ohne Angaben der Secunden und zwar von Beginn zu Beginn

Als Beweis des Mangels einer Gesetzmässigkeit im Stromboli giebt BERGEAT Beobachtungen, von denen die allem Anschein nach maassgebenden sich auf den westlichsten, mit I bezeichneten Krater beziehen. Berücksichtigt man nur die als „heftig“ bezeichneten Ausbrüche, so ergeben sich folgende Ziffern: 42, 23, 5, 17, 20, 46, 51, 30, 19, 26, 23. Nun mag man geneigt sein zu meinen, dass die Ziffern 5 und 17 derselben durch eine secundäre Eruption unterbrochener Phase angehören, und dass durch das Ausbleiben einzelner Ausbrüche Intermittenzen von doppeltem Betrage erschienen sind, oder man mag überhaupt Regelmässigkeit ableugnen. Das Entscheidende ist, dass der Krater I von der Thätigkeit seiner Nachbarn nicht beeinflusst wird, und dass, wie BERGEAT sich ausdrückt, der Siedeprocess ganz nahe der Oberfläche stattfinden muss.¹⁾

Hierin aber, in dem intermittirenden Hervortreten von Gasen, deren Explosivkraft gegen die Mündung der Esse zunimmt, liegt das bezeichnende Merkmal der Siedequellen.

Wir kehren zurück zu der Frage der Herkunft des Wasserdampfes im Krater. HUMBOLDT wies auf den Umstand hin, dass die meisten Vulkane in der Nähe des Meeres stehen, und dachte an ein Zusickern von Meerwasser, also an vadosen Ursprung; CORDIER und GAY-LUSSAC leugneten die Möglichkeit solcher Infiltration.

Für die Beurtheilung dieser Vorgänge sind zwei Umstände von Bedeutung und zwar erstens die Temperatur der Laven, zweitens die Natur der begleitenden Gase.

Dünnglüssigkeit der Vesuvlava tritt nach DÖLTER bei 1090° C. ein; die im April 1871 ausgeworfenen Schlackenfetzen enthielten aber Körner von Leucit, welche bereits in der Esse vorhanden sein mussten; der Schmelzpunkt des Leucits ist 1310° C. Diese beiden Ziffern, 1090 und 1310, bezeichnen daher die Grenzen, zwischen welchen die Temperatur der pulsirenden Lohe im Cratere parasitico lag, und tiefer als 1090° konnte auch die Temperatur der entweichenden Gasblasen nicht sein. Die Temperatur des Weichwerdens der Vesuvlava bestimmt DÖLTER mit 1060° ; diese möchte den noch plastischen Fetzen entsprechen, welche der Krater auswarf.

In der That dürfte aber die Temperatur in der kochenden Lava nicht sehr hoch über dem Schmelzpunkte (1090°) gewesen sein. Nicht der Umstand, dass die Intermittenz von nur 6–8 Secunden zur Abkühlung auf 1060° hinreichte, ist hier entscheidend, denn es kommt das rasche Entweichen der Gase in Betracht, wohl aber der Umstand, dass die Wände des Kessels selbst nicht aus Asche, sondern aus durch eine

des Ausbruches gegeben, wie es sich hier nur um ein allgemeines Bild der Bewegungen handelt.

1) A. BERGEAT, Die äolischen Inseln. Abhandl. Akad. München. XX, 1899, S. 36 u. folg.

anfängliche Explosion aufgerichteten Schollen derselben Lava bestanden, und dass sie auch nach vielen Monaten nicht aufgeschmolzen waren.

Dies führt zu der Vermuthung, 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. Man wird in dieser Ansicht durch den Umstand bestärkt, dass grösseren vulkanischen Ausbrüchen unterirdische Kanonenschläge voranzugehen pflegen, welche allgemein für das Zeichen des Eintretens 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 gemengt ist.

Wie dem aber auch sein mag, so viel steht fest, dass die Massen von Wasserdampf, welche aus dem Cratere parasitico entwichen, aus einer Temperaturzone stammen mussten, welche dem Schmelzpunkte der meisten Felsarten gleich stand oder ihn übertraf, in welcher daher von porösem oder zerklüftetem Gestein und schon aus diesem Grunde auch von vadosem Infiltration nicht die Rede sein kann.

Wenden wir uns nun zu den begleitenden Gasen.

Französischen Forschern, namentlich S. CLAIRE DEVILLE und FOUQUÉ, gebührt nächst BUNSEN das Verdienst, die Kenntnisse von der Natur der Gase erweitert zu haben, welche den Vulkanen entweichen. Neben Wasserdampf sind Chlor und schwefelhaltige Gase, dann Kohlensäure die wichtigsten. In ihrem Auftreten gewahrt man eine bestimmte Regel. Alle Fumarolen in den Essen selbst scheinen, soweit man ihnen bisher nahe kommen konnte, von Wasserdampf begleitet zu sein; auf dem Rücken der erkaltenden Lavaströme, wo die Beobachtung leichter ausführbar ist, sind die heissten Fumarolen (über 500°) trocken. In diesen heissten Emanationen erscheinen Chlorverbindungen (Salzsäure-Dämpfe, Kochsalz u. a.), mit ihnen Fluor, Bor und Phosphor, und diese Stoffe treten bei sinkender Temperatur der Fumarole zuerst zurück. Länger hält Schwefel an, häufig in Begleitung von Arsen. Der Austritt von Kohlensäure dauert noch länger und ist gar nicht selten noch bei weit vorgeschrittener Abkühlung vorhanden. Kohlensäure ist aber auch schon in den heissten trockenen Fumarolen nachgewiesen.

Man sieht zuweilen nahe neben einander liegende Schlunde in verschiedenen Phasen der Emanation. Vom März bis August 1901 hat der Hauptkrater des Vesuvs bedeutende Mengen von Wasserdampf ausgestossen, welche von Salzsäure begleitet waren und in mehreren umliegenden Gemeinden, als Regen niederfallend, die Pflanzendecke wesentlich beschädigten. Am Gipfel sah man auch Chlorverbindungen von

Eisen und Kupfer. Zur gleichen Zeit trat an mehreren Stellen des Abhanges des centralen Gipfels Wasserdampf hervor, der nicht oder doch nicht in merklicher Weise von Säuren begleitet war.¹⁾ In den Phlegräischen Feldern trifft man nahe neben einander die Wasserdampf, Schwefel und Arsen fördernde Solfatara, die Kohlensäure liefernden Moffetten der Hundsgrotte und die heissen Wasserdämpfe von Bajae.

Trotzdem bleibt, wie sich bald zeigen wird, die Kenntniss dieser Phasen der Emanationen von grosser Bedeutung für das Verständniss der Thermen.

Der Wasserdampf der Vulkane kann, wie wir sahen, nicht von vadoseer Infiltration stammen; von der Kohlensäure ist solche Infiltration von vorne herein ausgeschlossen. Woher stammen sie also? Sie stammen aus den tieferen Innenregionen des Erdkörpers und sind die Aeusserungen einer Entgasung des Erdkörpers, welche seit der beginnenden Erstarrung desselben begonnen hat und heute, wenn auch auf einzelne Punkte und Linien beschränkt, noch nicht völlig abgeschlossen ist. Auf diese Weise sind die Oceane und ist die gesammte vadose Hydrosphäre von dem Erdkörper abgeschieden worden. Nicht die Vulkane werden von Infiltrationen des Meeres gespeist, sondern die Meere erhalten durch jede Eruption Vermehrung.

Diese Ansicht ist nicht neu. Sie hängt innig mit den Vorstellungen von den ersten Phasen der Bildung des Planeten zusammen. Sie scheint zuerst unter den französischen Geologen hervorgetreten zu sein, hat aber Anfangs wenig Beachtung gefunden. Dann hat TSCHERMAK den Muth gehabt, sie in seinen „Untersuchungen über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung“ zu vertreten; REYER hat sie in seinem Buche über die Physik der Eruptionen ausführlich dargelegt. LAPPARENT hat sich ihr in seinem Lehrbuche angeschlossen; DE LAUNAY in Frankreich, KEMP in Amerika und andere verdiente Forscher haben sich dieser Meinung über die Entstehung der Hydrosphäre mehr und mehr genähert, und sie scheint mir die Lösung des Räthsels zu bieten.

Als eine wesentliche Bekräftigung derselben muss es 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 Theil jener chemischen Verbindungen entsteht, welche wir als vulkanische Producte antreffen. So wie schweflige Säure, Salzsäure und andere ähnliche Verbindungen erst in Berührung mit der

1) G. MERCALLI, Notizie Vesuviane, anno 1901; Boll. Soc. Sism. Ital. 1902. VII, p. 12.

Atmosphäre oder doch erst in den höheren Theilen 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 und and., und das ist vielleicht die Erklärung für den Umstand, dass die heissten Fumarolen trocken sind. —

Von den Vulkanen gelangen wir zu der Frage, ob die Siedethermen vadose oder juveniles Wasser führen, aber hier mag ein kurzer Blick genügen. Dass solche Quellen nur in jungvulkanischen Gebieten auftreten, ist bereits gesagt worden. In Island ist die Verbindung nicht nur der eigentlichen pulsirenden Siedequellen, sondern auch der heissen Bor-, Schwefel- und alkalinischen Quellen mit den Eruptionen so augenfällig, dass nie an der Einheit des Phänomens gezweifelt wurde. Nach dem bisher über vulkanische Gase Gesagten wird es auch erklärlich, dass in Island die alkalinischen Quellen später auftreten als die Schwefelquellen und nicht selten von Schwefelabsätzen umgeben sind, welche aus einer älteren Phase ihrer Thätigkeit stammen. Aus dem Yellowstone-Park, in welchem 160 pulsirende Siedequellen bekannt sind, begleitet von Tausenden anderer heißer Ausflüsse, will ich nur zwei Thatsachen anführen. 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 Niederschlage, seit etwas mehr als einem Jahre ein allgemeiner, allen diesen zahlreichen Ausflüssen gemeinsamer Rückgang der thermalen Thätigkeit sichtbar ist.

Die in Menge und oft unter Pulsationen hervortretenden heissen Wässer von Island können daher nichts anderes sein als die Folge der Entgasung und Abkühlung einer nicht allzutief unter der Oberfläche liegenden Lavamasse, Emanationen, welche zu schwach sind, um eine Eruption zu veranlassen, oder Vorbereitungen eines neuen Ausbruches. Man kann sich vorstellen, dass vadose 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 Tiefe zu gelangen, und bei neuerlichem Ansteigen der heissen Gase mögen sogar von ihnen diese tieferen vadosen Wässer aufgenommen werden und mag eine gewisse Mengung eintreten. Vadose Zuthaten 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. —

Indem wir die vulkanischen Gegenden und die Siedequellen verlassen, führt endlich die Betrachtung zu jenen warmen und oft mitten im alten Granit- oder Sedimentär-Gebirge liegenden Quellen, welche die grosse Mehrzahl der europäischen Heilquellen ausmachen.

„Die Mineralquellen“, schrieb ÉLIE DE BEAUMONT i. J. 1847, „treten gewöhnlich in Gruppen auf, in deren jeder eine oder mehrere Hauptthermen vorhanden sind, welche angesehen werden könnten als Vulkane, die der Fähigkeit beraubt sind, andere Producte als gasförmige Emanationen zu fördern, welche bei weitem in der grössten Zahl der Fälle nur in condensirtem Zustande als mineralisches oder thermales Wasser die Tagesoberfläche erreichen.“¹⁾ Aber die mässigeren Temperaturen, welche hier herrschen, denn es wird kaum irgendwo der Siedepunkt erreicht, sowie die Entfernung von jungen Vulkanen haben noch mehr als bei den Vulkanen das Bestreben angeregt, die thermalen Vorkommnisse durch vadose Infiltration und hydrostatischen Auftrieb zu erklären. Insbesondere hat DAUBRÉE zu diesem Zwecke ein sinnreiches Experiment ersonnen.²⁾ Gerade in unserer Umgebung gestattet aber die Natur einen tiefen und für die hier beregten Fragen entscheidenden Einblick in ihre Werkstätte.

Das Erzgebirge, welchem nach seinem Baue auch der Granit von Karlsbad angehört, ist von zahlreichen Gängen, d. i. von Spalten durchschnitten, welche angefüllt sind bald mit Quarz oder Hornstein und bald mit Erzen verschiedener Art, denen das Gebirge einst seinen Reichthum verdankte, und von denen es noch heute den Namen trägt. Der Bergbau und die Studien der berühmten Freiberger Schule haben uns mit der Beschaffenheit der Erzgänge bekannt gemacht, und einer der trefflichsten Vertreter dieser Schule, dessen Name vor einer Versammlung deutscher Naturforscher nicht ohne den Ausdruck aufrichtiger Bewunderung genannt werden darf, HERMANN MÜLLER in Freiberg, erkannte schon vor mehr als vierzig Jahren die Bedeutung der Erzgänge für die Fragen, welche uns heute beschäftigen, und veröffentlichte schon damals eine Schrift unter dem Titel: „Ueber die Beziehungen zwischen Mineralquellen und Erzgängen im nördlichen Böhmen und Sachsen.“³⁾

Erinnern wir uns nun zuerst daran, dass die heissten Fumarolen der Vulkane trocken sind; ihre Absätze müssen daher die Merkmale von Sublimationen haben. Alle späteren, namentlich auch schon die

1) ÉLIE DE BEAUMONT, Note sur les émanations volcaniques et metallifères; Bull. soc. géol. 1847. 2. sér., IV, p. 1273.

2) DAUBRÉE, Geol. expérimentale S. 120; auch SPRING, Ann. soc. géol. Belge, 1901—02. Mémoires p. 41.

3) In COTTA und MÜLLER, Gangstudien. III, 1860, S. 261—308. Diesen Zusammenhang von Thermen und Erzgängen hat auch bereits SEEGEN in einem Vortrage auf der letzten Versammlung deutsch. Naturf. u. Aerzte in Karlsbad im J. 1862 hervorgehoben.

sulfidischen Fumarolen, sind von Wasserdampf begleitet, und ihre Ablagerungen werden geschichtet oder zonenförmig über einander gelagert sein können; in der Reihenfolge dieser letzteren Absätze kommt in erster Linie die leichtere Löslichkeit der Verbindungen im Wasser zum Ausdruck.

Im Zusammenhange hiermit lässt sich den Erfahrungen über die Natur der Erzgänge Folgendes entnehmen.

Die Lagerstätten von Zinnerz, wie Schlackenwald, Altenberg, Zinnwald, und auch die Zinnvorkommnisse von Cornwall sind durch Sublimation erzeugt. Die Spuren thermaler Bildung treten nur sehr ausnahmsweise auf.¹⁾ DAUBRÉE hat gezeigt, dass sie durch gasförmige Emanationen von Fluor, Chlor und Bor erzeugt wurden, also von solchen, welche heute die trockenen, heissten Fumarolen kennzeichnen. Die Zinnvorkommnisse gehören den äusseren Theilen, gleichsam der Schale der Granitmasse an, auf der wir uns befinden, und deren Fortsetzung in grösseren und kleineren Kuppen im östlichen Erzgebirge hervortritt. Flussspath, Topas, Turmalin, schwarzer Glimmer begleiten sie, und die Sublimationen sind an nicht wenigen Stellen über den Granit hinaus in die benachbarten Felsarten eingetreten.

Auf der Insel Vulcano (Liparische Inseln) haben die Fumarolen Anlass zur Gewinnung von Borsäure und Chlorammonium gegeben. Aus ihren Absätzen konnte BERGEAT fast alle bezeichnenden Elemente unserer Zinnlagerstätten anführen, wie Lithium, Zinn, Wismuth, Bor, Phosphor, Arsen und Fluor.

Die Zinnerzlagerstätten reichen nicht tief, wohl meistens nur wenige hundert Meter in den Granit hinab; dann vertauben sie; an mehreren Punkten aber treten in der Tiefe an ihre Stelle sulfidische Erze, und zwar zumeist Kupferkies und Zinkblende, oft auch Arsenkies, so zwar, dass man in der Bergmannssprache von einem zinnernen Hut über sulfidischen Gängen spricht.

Die Zinnerzlagerstätten deuten also auf die heissten, in der Temperatur jenseits der thermalen und in ihrem überwiegenden Theile sulfidischen Phasen der Gangbildungen. Im Gegensatze hiezu sind als die Vertreter der allerjüngsten Phase der langen Reihe überaus manigfaltiger Vorgänge, aus denen die heutigen Erzgänge hervorgingen, die Thermen anzusehen, welche da und dort auf den Gängen erschrotet wurden. In dem nahen Joachimsthal wurde i. J. 1864 eine Therme von 28,7° auf dem Einigkeits-Schachte angefahren. In Sachsen hat man zu wiederholten Malen auf den Erzgängen aufsteigende Wässer von 20 bis 25° angetroffen.²⁾ Auch freie Kohlensäure und eine durch Gas

1) Man sieht als solche die symmetrische Ausfüllung der sog. Zinnsteinflötze von Zinnwald an. BECK, Lehre v. d. Erzlagerstätten, 1901. 80. S. 226 u. 444.

2) Beispiele giebt H. MÜLLER, Die Erzgänge des Freiberger Erzreviers. Erläut. z. geol. Specialkarte v. Sachsen. 1901, S. 248—256.

pulsirende Quelle sind in diesen Bergbauten bekannt. Die meisten dieser Quellen sind alkalisch und manchmal auffallend reich an Chlor-natrium. Wir wundern uns über den Gehalt an Kochsalz, den die Karlsbader Quellen aus dem Granit zu Tage fördern; bei Altensalza unweit von Plauen wurde in der Grauwacke auf einem Baue auf Kupfer und Blei eine an Kochsalz so reiche Quelle erschrotet, dass im 17. und 18. Jahrhundert aus ihr Salz gesotten wurde. Noch heute trägt der Ort davon den Namen. Die Alkalien sind aber in den Erzgängen nicht zur Ablagerung gelangt, nicht als ob sie während der Bildung der Gänge gefehlt hätten, sondern wegen der grösseren Löslichkeit.¹⁾

Auf diese Art zeigen uns die Erzgänge als Extreme auf einer Seite den zinnernen Hut und auf der anderen Seite die von freier Kohlensäure begleiteten alkalischen Thermen. Der Bergbau gestattet, die Spuren der äussersten Form der jenseits 500° liegneden Fumarole und auch das laue kochsalzreiche aufsteigende Wasser wahrzunehmen. Vadose Einflüsse fehlen nicht in den oberen Horizonten, aber sie sind Nebenerscheinungen, und die alkalischen Thermen der Gruben sind nur das Endglied einer Reihe von Vorgängen, welche ihre Ursache in der Tiefe des Erdkörpers haben; sie sind daher trotz ihrer nicht hohen Temperatur ebenso wie die begleitende Kohlensäure als juvenil anzusehen.

Karlsbad liegt auf dem Ausgehenden eines Ganges. Aus diesem Umstände ergiebt sich die Bedeutung der Beobachtungen in den Bergwerken. Die Festschrift, welche vor Ihnen liegt, zeigt, dass die hiesigen Quellen innerhalb eines ca. 1800 m langen und 150 m breiten Streifens liegen, dessen Richtung nach Rosiwal Nord 34° West, oder hor. $9.44'$ des 24 stündigen Zifferblattes ist.

Könnten wir alle Verhüllungen, alle Zu- und Ueberbauten entfernen und das Quellsystem sammt seinen eigenen Absätzen nackt vor uns sehen, so würden wir wahrnehmen, dass es zweierlei Varietäten von Granit in gerader Linie durchschneidet. Auf eine gewisse Strecke ist es von den eigenen Kalkabsätzen, der Sprudelschale, bedeckt, und Lagen der Sprudelschale sind am Thurmplatze noch 17 m über dem heutigen Sprudel von KNETT beobachtet worden. In der Tiefe der ganzen Strecke aber sieht man einen älteren Absatz der Quelle, nämlich Hornstein, welcher zahlreiche Blöcke von Granit zu einer Breccie verbindet, ganz wie an den auch sonst trotz ihrer Armuth an gelösten Stoffen vielfach verwandten Quellen von Plombières in den Vogesen. Gänge von Hornstein, aber auch von Arragonit streichen durch den benachbarten Granit, und die Beobachtungen KNETT's über diese Gänge lassen die Frage offen, ob es nicht in Karlsbad eine kurze Zwischenphase ab-

1) Hierüber DE LAUNAY, Annales des Mines. 1897, August-Heft, p. 47.

wechselnder Ablagerung von Hornstein und von Kalk gegeben habe. Solchen Wechsel hat z. B. WEED in dem Bindemittel der Granit-Breccie an den heissen Quellen von Boulder (Montana) beschrieben.¹⁾ Be merken wir noch, dass HAIDINGER schon 1854 gezeigt hat, dass der Hornstein des Militär-Badehauses von Schwerspath und Pyrit begleitet ist, obwohl die Analysen kein Baryum in den Thermen nachweisen konnten.

Vor vielen Jahren hat bereits WÄRNSDORF gezeigt, dass die Quellen von Marienbad gleichfalls auf Hornstein und Quarzgängen der Richtung hor. 9—10 hervortreten, und HERM. MÜLLER konnte sich in der erwähnten Schrift darauf berufen, dass auch der Säuerling von Giesshübel neben einem hor. 10 streichenden Hornsteingang hervortritt. Solche gegen Nordwest oder Nord-Nordwest streichende Gänge, welche sich von Abend der Mitternacht nähern, nennt der sächsische Bergmann „späte“ oder Spatgänge, und darum hat H. MÜLLER Karlsbad, Marienbad und Giesshübel als Spatgänge bezeichnet.

Wir verstehen nun, warum HOCHSTETTER und ROSIWAL, von der Richtung der Spatgänge geleitet, die Fortsetzung des Hornsteinzuges von Karlsbad in den Quarzgängen im Norden der schmalen tertiären Niederung suchten.

Diese Beziehungen der Thermen zu den Erzgängen sind aber zugleich maassgebend für die Beurtheilung der chemischen Zusammensetzung. In neuerer Zeit ist von fachkundiger Seite der Versuch wiederholt worden, die Füllung der Erzgänge durch Auslaugung der Nachbargesteine zu erklären, aber genaue Prüfungen, ich nenne vor Allem jene von STELZNER, haben gezeigt, dass die Füllung auf diesem Wege und ohne Zutrag aus der Tiefe nicht erklärt werden kann. Aehnlich verhält es sich mit den Thermen von Karlsbad. Am Vesuv konnten wir wegen der Nähe des Meeres anfänglich im Zweifel bleiben, ob das Kochsalz nicht aus einer marinen Infiltration stamme. Aber hier, mitten im Festlande, findet man das Kochsalz wieder, sowohl in Thermen, welche der Bergbau auf Erzgängen erschlossen hat, als auch in Karlsbad. Die aus der Tiefe stammenden Stoffe erscheinen in der Form der am leichtesten löslichen Verbindungen, während andere, leichter sich abscheidende, namentlich metallische Verbindungen in der Tiefe zurückblieben. Dieses ist die Bedeutung der Mengen von Glaubersalz, Soda und Kochsalz, welchen die Heilkraft unserer Quellen in erster Linie zugeschrieben wird.

Die grosse Menge halbgebundener und freier Kohlensäure ist ohne Zweifel juvenilen Ursprungs. Wir wissen, dass sie einer späten Phase vulkanischer Emanation entspricht; hier folgt sie dem Zuge der Basalte. Betrachtet man aber nicht die Verbindungen, sondern die Elemente,

1) WEED, XXI Ann. Report U. S. geol. Surv. 1900, Part II, p. 240 u. folg. Stilbit wurde gleichfalls abgesetzt.

die in den Karlsbader Thermen vertreten sind, so zeigen sich auch die Anzeichen der anderen Phasen. Chlor, Fluor, Bor und Phosphor sind aus der heisstenen Phase anwesend, während die Metalle dieser Phase (Zinn, Wismuth, Molybdän u. a.) fehlen. Schwefel ist vorhanden, daneben Selen und Thallium, Rubidium und Cäsium, die Begleiter der sulfidischen Vorkommnisse in verschiedenen Vulkanen und namentlich auf Vulcano¹⁾), ebenso Arsen und Antimon, die gewöhnlichen Begleiter der sulfidischen Erze, und auch Zink als eine Spur der Erze selbst.

Bemerken wir noch das Auftreten von Ameisensäure; diese Verbindung wurde z. B. von FOUQUÉ in den Fumarolen der Insel Santorin angetroffen.

Nun bleiben noch Natrium, Kalium und Lithium, Calcium, Magnesium und Strontium (Baryum nur im Hornstein), Eisen und Mangan, Aluminium und Silicium. Unter diesen ist kein Stoff, der nicht aus den Erzgängen, und kaum einer, der nicht auch aus den Vulkanen bekannt wäre. Da sie aber zugleich im Granit vorkommen, kann Meinungsverschiedenheit darüber entstehen, welche und wie viel von ihnen nicht aus der Tiefe, sondern durch Auslaugung des Nachbargesteins in die Thermen gelangt seien. Bei der sonstigen Mannigfaltigkeit des Zutragens aus der Tiefe ist dies aber eine Frage zweiter Ordnung.

Wir müssen die Zweifel, welche bei Voraussetzung einer vadosen Entstehung der Karlsbader Quellen LAUBE in Betreff der grossen Wassermenge und der grossen Menge kohlensauren Kalkes, ROSIWAL in Betreff der Herkunft der freien Kohlensäure aussprachen, als berechtigt anerkennen, und ebenso LUDWIG und MAUTHNER in dem Ergebnisse zu stimmen, dass der Hauptreichthum der festen Bestandtheile nicht aus dem umgebenden Gestein, sondern aus dem unbekannten Erdinnern stamme.

Versuchen wir nun, zusammenzufassen. Die Temperatur der Gase, welche in den Vulkanen aufsteigen, steht dem Schmelzpunkte der meisten irdischen Gesteine nahe oder übersteigt ihn, und diese Gase können daher nicht aus vadoser Infiltration hervorgehen.

Die heisstenen Fumarolen sind trocken; Wasserdampf und thermale Lösungen gehören nachfolgenden Phasen an.

Der zinnerne Hut über sulfidischen Gängen des Erzgebirges entspricht der heisstenen, sublimirenden Phase solcher Thätigkeit; die anderen Gangausfüllungen, namentlich auch die sulfidischen Erze entsprechen späteren Phasen; die Thermen, welche heute auf den Erzgängen erschrotet werden, sind ein Nachklang. Ein Nachklang vulkanischer Thätigkeit sind auch, wenigstens hier, die zahlreichen Ausströmungen freier Kohlensäure, wie sich bis nach Schlesien aus ihrer räumlichen Verbindung mit der grossen nordböhmischen Basaltzone ergiebt.

1) Cossa, Atti Accad. Lincei. 1878, 3. ser. II, p. 117—125.

Hieraus ziehen wir den Schluss, dass es vadose und juvenile Quellen giebt. Vadose Quellen nennen wir jene, die aus der Infiltration von Tagwässern hervorgehen; die Bezeichnung juvenil gilt für jene, welche als Nachwirkungen vulkanischer Thätigkeit aus den Tiefen des Erdkörpers aufsteigen, und deren Wässer zum ersten Male an das Tageslicht treten. Indem hier diese Bezeichnung aus geologischen Gründen für Heilquellen eingeführt wird, halte ich es für überflüssig, mich gegen irgend welche widersinnige therapeutischen Folgerung zu verwahren.

Das Wasser des Karlsbader Sprudels ist juveniles Wasser.

Vergeblich ist jeder Versuch, für diese Quellen ein Infiltrationsgebiet an der Oberfläche abzugrenzen. Vergeblich ist auch jeder Versuch, die Tiefe ihres Ursprunges aus irgend einer sog. Thermalstufe zu ermitteln. Vergeblich wird man die Gesamtheit der Bestandtheile aus der Beschaffenheit des Granits zu erklären suchen. Die Hohlräume, welche nach älterer Voraussetzung sich durch die jährliche Wegführung von 5,88 Millionen kg fester Bestandtheile bilden sollten, bilden sich nicht.

Karlsbad steht auf einem Spatgang von Hornstein. Ob seine heissen Wasser in der Tiefe noch heute Schwermetalle abscheiden, d. i. an dem Aufbaue eines Erzganges thätig sind und in verarmtem Zustande den Tag erreichen, oder ob die heutigen Zustände solche Thätigkeit nicht zulassen, lässt sich kaum entscheiden. Immerhin deuten Arsen, Antimon und Zink auf den ersten Fall hin.

Der Vergleichung halber betrachten wir daneben eine vadose Therme, und als ein gut erforschtes Beispiel mag Pfäfers-Ragaz dienen. Die Temperatur ist $38,7^{\circ}$. Das Infiltrationsgebiet bilden nach aller Wahrscheinlichkeit die Seen der grauen Hörner, zwischen 2396 und 2032 m gelegen. Die Quellausflüsse befinden sich etwa in 800 m, daher um 1596 bis 1232 m tiefer. Die Menge gelöster fester Bestandtheile beträgt nur 0,299 g, und das Volumen der Quellen nimmt jährlich nach der Schneeschmelze zu. Der Austritt der Quellen liegt in geschichtetem alttertiärem Gestein.

Da im Innern der Hochgebirge, wie z. B. die Erfahrungen in den Tunnels lehren, die Geothermen in einer Weise aufsteigen, welche beiläufig der äusseren Gestalt der Berge entspricht, kann man den angeführten Ziffern entnehmen, dass bei einer thermalen Stufe von 30—31 m die vorhandene Höhendifferenz ausreicht, um die Infiltration in Zonen von $38,7^{\circ}$ gelangen zu lassen. Dabei ist vorausgesetzt, dass Schmelzwasser von 0° infiltrirt. Es könnte also solches infiltrirtes Wasser, wie es scheint, ausfliessen, ohne vorher neuerdings anzusteigen.

So einfach ist die Sachlage allerdings nicht. So direct zur Quelle fliessende Infiltration würde sich kaum erwärmen. Es wird anzunehmen sein, dass, wie bei anderen Hochgebirgsquellen, z. B. bei dem

Kaiserbrunn, der Wien speist, eine communicirende Zerklüftung einen zusammenhängenden Grundwasserspiegel im Innern des Berges bildet. Dieses Grundwasser besitzt die Temperatur der entsprechenden Tiefenstufe. Die Quellen müssen an der tiefsten Stelle seiner Oberkante liegen. Die zur Zeit der Schneeschmelze eintretende Steigerung des hydrostatischen Druckes im Innern des Berges vermehrt den Ausfluss des Grundwassers an der Quelle, ohne dass zugleich ein Sinken der Temperatur bemerkt wird.

Würde kein solcher Grundwasserspiegel vorhanden sein, so müssten die Quellen in trockener Jahreszeit versiegen und zur Zeit des Ansteigens kälter werden.

In Fischau bei W.-Neustadt schwankt auch die Menge mit der Jahreszeit, und hier schwankt zugleich die Temperatur. Hier mengen sich zweierlei Wässer, eine kalte, vadose, schwankende Wassermenge und eine wärmere, constante Menge, welche, wie ihre Lage auf einer langen Thermenlinie lehrt, wahrscheinlich juvenil ist.

So klar, wie in diesen Fällen, ist aber die Sachlage durchaus nicht immer. Man kann aber ziemlich leicht fünf Gruppen von Quellen unterscheiden.

Die ersten sind die gewöhnlichen süßen Trinkquellen, mögen sie nun Hoch- oder Tiefquellen sein, welche beiläufig mit der mittleren Bodentemperatur entspringen und eine grössere oder geringere Menge von Carbonaten (kohlensauren Kalk und kohlensaure Magnesia) als ihren Hauptbestandtheil führen. Sie sind alle vadose. Solche Quellen verwendet man zur Bewässerung der Städte.

Die zweite Gruppe bilden gleichfalls vadose, gleichfalls mit der mittleren Bodentemperatur entspringende Wässer, die durch eine besondere Mineralisation ausgezeichnet sind, wie die Jodwässer von Hall und Darkau und die Bitterwässer von Saidschütz und Püllna.

Die dritte Gruppe sind die Wildbäder, nämlich vadose Thermen, welche ihre höhere Temperatur dem unterirdischen Ansteigen der Geisothermen und dem oft beträchtlichen Höhenunterschied zwischen Speisung und Ausfluss verdanken, wie Bormio und Pfäfers. Sie enthalten meistens nur wenig gelöste feste Bestandtheile; deshalb bezeichnet man die Wildbäder zumeist als indifferente Thermen. Bei Gastein ist die Frage nach dem Zutritte juveniler Wässer unentschieden.¹⁾ Hydrostatisches, d. i. artesisches Aufsteigen vadoser Wässer ohne künstliche Bohrung dürfte in der Natur nicht in dem bisher vorausgesetzten Ausmaasse vorhanden sein.

1) Hierüber BERWERTH in LUDWIG u. PANZER, Ueb. die Gasteiner Thermen; TSCHERMACK's Mineral. Mittheil. 1900, XIX, S. 470 u. fol. Die Temperatur des wärmsten Ausflusses beträgt nach SCHUMEISTER im Winter 48,3° und im Sommer 48,2°, in einem zweiten Stollen 45,9° und 45,7°; vgl. WALLENHOFEN, Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, 1885, XCII, Abth. II, S. 1269.

Die vierte Gruppe sind juvenile Quellen, nicht schwankend mit den Jahreszeiten in Temperatur, dabei aber alle Wärme-grade umfassend. von der mittleren Bodentemperatur bis über 70° , bald indifferent, wie Teplitz ($47,4^{\circ}$ aus Porphy) oder Plombières in den Vogesen (71° aus Granit), bald schwach mineralisirt mit geringen Mengen von Glaubersalz, Kochsalz und Soda, wie im französischen Centralplateau Bourbon l'Archembault (53° aus Gneiss), Evaux ($50,7^{\circ}$ aus Gneiss) und Néris ($52,8^{\circ}$ aus Granit), bald hochmineralisirt mit ähnlichen Bestandtheilen, wie Marienbad ($11,2^{\circ}$ aus Granit) und Karlsbad ($73,8^{\circ}$ aus Granit). Alle die genannten Beispiele stehen entweder in direkter Verbindung mit Quarzgängen oder haben selbst in ihrer Umgebung Hornstein abgesetzt. In manchen Fällen sieht man auch Gänge von Flussspath, fast überall, wenigstens in Spuren, Absätze von Baryt, öfter auch Pyrit, in Plombières Zeolithe verschiedener Art; in Bourbon l'Archembault wird Bleiglanz erwähnt. Dieser Gruppe gehören im europäischen Festlande die heissten Thermen an.¹⁾

Die fünfte Gruppe sind die Siedequellen. Sie sind auf dem europäischen Festlande nicht vertreten und bilden, wie wir sahen, den Uebergang zu der strombolischen Phase der Vulkane.

Der freien Kohlensäure kommt bis zu einem gewissen Grade eine selbständige Stellung zu. Das zeigt die Menge derselben in Karlsbad und zugleich die Menge kalter Säuerlinge und trockener Kohlensäure-Exhalationen. Das erklärt die Ausnahmsstellung von Franzensbad und zugleich die erwähnten Vorkommnisse am Sprudel i. J. 1774.

Die fünf angeführten Gruppen von Quellen umfassen aber nicht alle Quellen, und sie sind nicht gleichwerthig; 1, 2 und 3 sind vadose, 4 und 5 sind juvenil. Während die Hauptscheidung zwischen 3 und 4 fällt, muss doch zugestanden werden, dass gerade diese Grenze in den einzelnen Fällen am schwersten zu finden ist. Die Mischung von vadosem und juvenilem Wasser ist gar nicht selten und kann auch durch die Art der Fassung beeinflusst werden. Genaue Beobachtungen über Schwankung der Menge oder der Temperatur nach den Jahreszeiten fehlen in sehr vielen Fällen. Die chemische Analyse giebt lange nicht immer eine entscheidende Antwort und der geologische Bau des Gebietes auch nicht immer. In den verschiedensten Gestalten bietet sich die Frage dar, ob eine Quelle zu den vadosen oder zu den juvenilen Wässern zu zählen sei. Es kann sogar geschehen, dass die Ergiebigkeit einer juvenilen Quelle durch periodisch vermehrten Druck einer den Quellspalten auflastenden vadosen Grundwasserschicht

1) DE LAUNAY macht in seinem trefflichen Werke: *Recherche, Captage et Aménagement des Sources Thermo-Min.* 80° Paris, 1899, p. 107 auf das eigenthümliche Verhalten der schwefelsauren Verbindungen zur Temperatur aufmerksam; Glaubersalz soll nur in warmen Quellen auftreten. Diese Frage verdient besondere Prüfung.

sich periodisch steigert. Das scheint in Teplitz der Fall zu sein.¹⁾ Hier steht noch ein weites Feld der Forschung offen.

Indem das Wasser vom Sprudel abfliesst, kühlt es sich ab, scheidet noch einen Theil seiner Mineralsubstanzen ab und mengt sich endlich den vadosen Wässern der Oberfläche bei. Weitere gelöste Stoffe, namentlich die Alkalien, treten als eine Bereicherung in den allgemeinen Kreislauf der Stoffe ein. Als wir auf dem Vesuv standen, bedeckten sich vor unseren Augen die heissen Auswürflinge mit sublimirtem Kochsalz. Die Karlsbader Quellen tragen jährlich mehr als eine Million Kilogramm von juvenilem Kochsalz herauf. Das Meer erscheint uns nicht mehr als der abgebende, sondern als der empfangende Theil, und wir verstehen leichter die allerdings auffallende Uebereinstimmung einer Anzahl von Stoffen im Meere und in den juvenilen Thermen. Die Salze des Meeres sind heute vadose, sie sind jedoch einmal juvenil gewesen. Aber nicht nur das Meer empfängt juvenile Bereicherung, sondern auch die Atmosphäre. Alle die grossen Mengen von Kohlensäure, welche wohl an hundert Stellen von hier längs des südlichen Randes des Erzgebirges und noch weiter gegen Ost dem Boden entweichen, sind als juvenil anzusehen; sie vermehren den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre, sofern sie nicht durch die Pflanzenwelt aufgenommen werden. GAUTIER hat kürzlich die Frage aufgeworfen, ob nicht ein Ueberschuss dem Erdkörper entweichenden freien Wasserstoffes sich in den obersten Theilen unserer Lufthülle sammle und in den Weltraum entweiche.²⁾

Wir gelangen zu Fragen, welche meiner heutigen Aufgabe fern liegen. Die heissten, trockenen Fumarolen, die durch Sublimation entstandenen Lagerstätten von Zinnerz, die salzauren Regen des Vesuvs und das Kochsalz des Bergbaues von Altensalza, die heissen Dämpfe, welche kürzlich auf Martinique die Körper vieler Unglücklichen verbrannten, ohne doch die Kleider zu entzünden, und die heilbringenden heissen Wässer, welche vor unseren Augen entspringen, sind Glieder einer einzigen, untrennbar Kette von Erscheinungen. Es ist die auch heute nicht völlig abgeschlossene Entgasung des Erdkörpers, ein Vorgang, welcher jenem gleicht, der sich in den Sonnenfackeln, sowie bei der Abkühlung jeder grösseren Stahlmasse vollzieht.

1) FRANZ E. SUESS, Studien üb. unterirdische Wasserbewegung; Jahrb. geol. Reichsanst. 1898, XLVIII, S. 481.

2) GAUTIER's Versuche führen zu dem Ergebnisse, dass durch die Einwirkung heissen Wassers auf den Granit oder vielmehr auf die im Granit enthaltenen Spuren von Erz Gase und namentlich Wasserstoff, aber auch Kohlensäure u. a. frei werden. So lehrreich dieser Umstand ist, muss doch zugegeben werden, dass unsere zahlreichen Erzgänge die Spuren einer solchen nachträglichen zersetzenden Einwirkung von heissen Wässern nicht zeigen. Comptes rend. 1900. CXXXI, p. 647—652 und 1901, CXXXII, p. 189—194.

~~~~~  
**Druck von August Pries in Leipzig.**  
~~~~~