

 ber Daubrée's Experiment und die Kapillarität in Beziehung auf gewisse geologische Probleme.

Von **John Johnston** und **H. Adams** in Washington.

Mit 3 Textfiguren.

Diejenigen, die das meteorische Wasser als einen wichtigen Faktor bei der Entstehung der vulkanischen Erscheinungen einschätzen, stoßen stets auf die Schwierigkeit, einen Weg zu finden, auf dem das Oberflächenwasser die tief liegenden hoch erhitzten Regionen erreichen kann. Dieser Schwierigkeit glaubt man durch den Hinweis auf einen von DAUBRÉE angestellten Versuch über den Durchgang von Wasser durch einen porösen Sandstein entgegen einem gr o eren Gegendruck abzuhelfen. Daß dieses Experiment die Frage noch nicht entscheidet, ist mehr als einmal gezeigt, aber, wie es scheint, von denen nicht so beachtet worden, die darin einen Beweis für die Möglichkeit des Hinzudringens von Oberflächenwasser zum Magma sehen wollen. Im folgenden sollen dieser Versuch und die Kapillarit tsgesetze (für die er ein Beispiel ist) besprochen werden. Wir wollen auf die Begrenzungen hinweisen, die beachtet werden müssen, wenn man die Kapillaritätswirkung als wichtigen Faktor zur Erzeugung geologischer Erscheinungen wie des Vulkanismus heranziehen will.

DAUBRÉE'S Experiment. In diesem Versuch, der im Jahre 1861 angestellt wurde, fand DAUBRÉE, daß das Wasser durch eine 2 cm starke Sandsteinplatte hindurchging trotz überschüssigen Gegendrucks. Sein Apparat¹ ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Eine Platte von Straßburger Sandstein wurde zwischen 2 Kammern eingeklemmt, deren obere (L), nach außen offene, mit Wasser gef llt war, während die untere (V) gasdicht mit einem Hahn (C) und Manometer (M) in Verbindung stand. Das Ganze war auf Kohlenbl cke gestellt und umgeben von einem lose verschlossenen Metallkasten, der von unten erhitzt wurde. DAUBRÉE ließ die Temperatur im Innern des Kastens (gemessen durch das Thermometer T) für einige

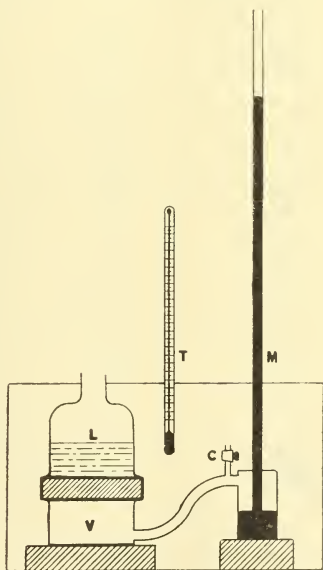


Fig. 1. Diagramm zur Erläuterung des Apparates von DAUBRÉE.

¹ cf. DAUBRÉE, Géologie Expérimentale. Paris 1879. p. 238.

Zeit auf 160° anhalten, während der Hahn C geöffnet blieb. Nach Schließen des Hahnes stieg die Quecksilbersäule allmählich auf eine Höhe von 68 cm (0,9 Atm.). Nach Verminderung des Druckes durch Öffnen des Hahns C und darauffolgendem Wiederschließen beobachtete er denselben Effekt aufs neue. Das Wasser drang also durch den Sandstein entgegen dem Druck¹. DAUBRÉE schrieb diese Erscheinung mit Recht der Kapillaritätswirkung zu, aber, wie es scheint, hatte er keine klare Vorstellung von ihren physikalischen Grundlagen. Infolgedessen ist seine Erklärung des Experimentes zum Teil irrtümlich und einige seiner Schlußfolgerungen lassen sich nicht aufrecht erhalten. Er schreibt²:

„Supposons une cavité séparée des eaux de la surface, marines ou continentales, par des roches qui ne soient pas tout à fait imperméables; admettons, en outre, que cette cavité soit à une profondeur assez grande pour que sa température soit très-élevée: les conditions principales de notre expérience ne se trouveraient-elles pas reproduites? De la vapeur s'accumulerait donc dans cette cavité, et sa tension pourrait devenir bien supérieure à la pression hydrostatique d'une colonne liquide qui remonterait jusqu'à la surface des mers ou des eaux d'alimentation. Et, si l'on est parvenu à mettre en quelque sorte en balance, par l'interposition d'une épaisseur de roche de 2 centimètres seulement, les pressions de deux colonnes, l'une de 2 centimètres d'eau à peine, l'autre de 60 centimètres de mercure, c'est-à-dire de plus de 500 fois supérieure à la première, on ne trouvera plus guère de difficulté à admettre que l'eau descendante devienne la cause de refoulement de laves trois fois plus denses qu'elle, et de leur ascension jusqu'à un niveau bien supérieur au sien. D'après les résultats de l'expérience, l'eau pourrait donc être forcée par la capillarité, agissant concurremment avec la pesanteur, à pénétrer, malgré des contre-pressions intérieures très-fortes, des régions superficielles et froides du globe jusqu'aux régions profondes et chaudes, où, à raison de la température et de la pression qu'elle aurait acquises, elle deviendrait capable de produire de grands effets mécaniques et chimiques.“

Das *Atmometer*. Der beobachtete Effekt ist, wie DAUBRÉE selbst erkannte, der Kapillarität zuzuschreiben: ähnliche Resultate erhält man viel einfacher und direkter mittels des sogenannten „*Atmometers*“³. Dies besteht aus einem engen Glasrohr⁴, an

¹ Und auch gegen einen Temperaturgradienten, da sich die Oberfläche des Sandsteins auf 101° , die Unterfläche auf etwas höherer Temperatur befand. Aber der Einfluß hiervon ist, wie wir sehen werden, nebensächlich, abgesehen von großen Temperaturdifferenzen.

² *op. cit.* p. 342—343.

³ TAIT, *Properties of Matter*. 4. Aufl. London 1899. p. 264.

⁴ Wenn ein Kapillarrohr gebraucht wird, ist ein mit einem guten Hahn versehenes Seitenrohr, eingeschmolzen in den weiteren Teil des

einem Ende offen, am anderen fest an eine Platte, Kugel oder ein anderes Stück aus porösem Material angeschlossen¹. Das Rohr ist mit Wasser gefüllt und umgekehrt in eine Schüssel mit Quecksilber getaucht (Fig. 2). Die Kapillarwirkungen der feineren Poren des Materials sind derart, daß nicht allein das Wasser im Rohr hochgehalten wird, sondern daß, sobald Verdampfung an der Oberfläche stattfindet, das Quecksilber an Stelle des Wassers aufsteigt zu einer Höhe, die gleich oder selbst höher sein kann als die Barometerhöhe². Das Quecksilber steigt allmählich — vorausgesetzt daß die Poren nicht allzu fein sind —, verbleibt einige Zeit in Gleichgewichtstellung und fällt dann rasch. Die Aufsteigungsgeschwindigkeit, welche von einer Anzahl von Faktoren abhängig ist, braucht uns hier nicht zu interessieren. Die Gleichgewichtslage ist dabei das wichtige; sie hängt allein von der Größe der weitesten Poren an der freien Oberfläche und von der Oberflächenspannung zwischen dem Wasser und dem porösen Material ab. Die Resultate, die wir an Proben von verschiedenen Materialien erhalten haben, sind unten (p. 178) in Tab. I zusammengestellt. Aber bevor wir diese Resultate betrachten, wollen wir einen kurzen Abriß der Theorie der Kapillarität geben, insofern sie die vorliegende Streitfrage angeht; denn die Poren sind in der That weiter nichts als feine Kapillarröhren.

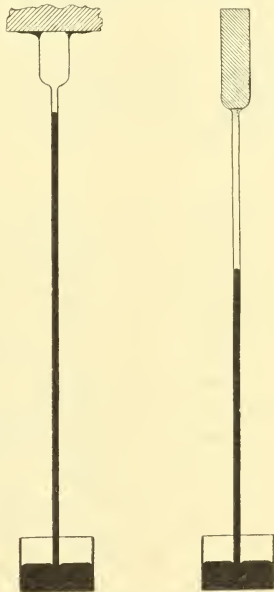


Fig. 2.
Typen des Atmometers.

Vertikalrohres, erforderlich, um das Füllen des Apparates mit Wasser zu ermöglichen. Diese Form hat den Vorteil, daß unter günstigen Umständen ein Ansteigen um einige Zentimeter in wenigen Minuten stattfindet.

¹ Mit Hilfe von Siegellack oder auf einem andern geeigneten Wege. Die Verbindung muß selbstverständlich absolut gasdicht sein.

² So beobachtete G. A. HULETT (Zeitschr. f. physik. Chemie. 42. 1903. p. 359), der solche Versuche mit einer porösen Porzellanplatte anstellte. In der Ferrocyankupfer niedergeschlagen war, in einem Augenblick eine Quecksilberhöhe von 110 cm; in diesem Falle wirkte also ein negativer bis zu einer halben Atmosphäre betragender Druck auf das auf der Unterseite der Porzellanplatte eingeschlossene Wasser. Ähnliche Versuche hat früher E. ASKENASY angestellt. Verh. d. naturw. med. Vereins. Heidelberg, März 1895. Es sei erwähnt, daß das Aufsteigen der Säfte in den Bäumen auf diese Weise gewöhnlich erklärt wird.

Abriß der Theorie der Kapillarität¹.

Das Hauptprinzip, das man im Gedächtnis behalten muß, ist dies, daß die Steighöhe einer Flüssigkeit in einer Kapillaren hauptsächlich ein Maß ist für die Druckdiskontinuität an der gekrümmten Oberfläche der Flüssigkeit innerhalb des Rohrs.

Es läßt sich leicht zeigen, daß der Druckunterschied (Δp) zwischen den beiden Seiten der gekrümmten Trennungsfäche zweier Flüssigkeiten ausgedrückt wird durch die Formel:

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'} \right) \quad (1)$$

worin σ die Oberflächenspannung und ϱ und ϱ' die Krümmungsradien in 2 aufeinander senkrechten Ebenen bedeuten. Ist die Oberfläche eine Kugel, $\varrho = \varrho'$, so wird die Formel einfach:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{\varrho} \quad (2)$$

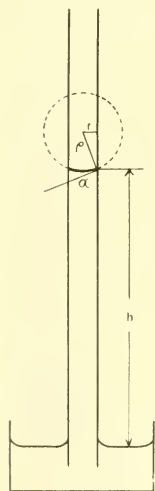


Fig. 3.
Diagramm.

Eine geringe Modifikation dieser Formel ist direkt auf den kapillaren Aufstieg von Flüssigkeiten in feinen Röhren anwendbar. Denken wir uns ein an beiden Enden offenes Rohr mit dem einen Ende in eine Schale mit einer Flüssigkeit getaucht, die in dem Rohre bis zu einer gewissen Höhe h (Fig. 3) ansteigt. Wenn die Steighöhe ein Vielfaches des Durchmessers des Rohrs ist, ist die Krümmung der freien Oberfläche merklich gleichförmig, mit andern Worten, die Oberfläche ist ein Kugelsegment mit dem Radius ϱ . Jetzt ist entsprechend der Gleichung 2 der Druck auf der Unterseite der gekrümmten Oberfläche um einen Betrag $= 2\sigma/\varrho$ geringer als auf der Oberseite; gleichzeitig aber wird dieser Druckunterschied durch den hydrostatischen Druck einer Flüssigkeitssäule von der Höhe h ausgeglichen. Es ist

$$\frac{2\sigma}{\varrho} = hgd,$$

worin g die Intensität der Gravitation und d die Dichte der Flüssigkeit bedeutet. Ist ferner α der Winkel zwischen Trennungsoberfläche und Rohrwand $\varrho = r/\cos \alpha$, wenn r der Radius des Rohres ist, so ist

$$h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{r g d} \quad (3)$$

die übliche Formel für die Steighöhe von Flüssigkeiten in Kapillaren.

¹ Die Kapillarität wird in jedem Lehrbuch der Physik behandelt, doch nicht immer gut. Ihre Darstellung bei TAIT in seinen „Properties of Matter“ ist besonders klar.

Für den Fall des Kontakts von Wasser mit vielen Substanzen ist $\alpha = 0^0$ und die Gleichung reduziert sich auf die Form:

$$h = k \frac{\sigma}{r} \quad (4)$$

Für Wasser von 18^0 , h und r ausgedrückt in Zentimetern¹, hat k den Wert 0,00204 und σ , die Oberflächenspannung in Dynen pro cm ist 74. Der Wert der direkten Entwicklung dieser Formel auf Grund des Druckunterschiedes an der Trennungsfläche ist wohl hervorzuheben, da wir damit einen klareren Einblick in die komplizierteren Probleme der Kapillarität erreichen².

Von diesem Standpunkt aus sind einige Schlußfolgerungen unmittelbar einleuchtend. Wir wollen sie hier aufzählen, da sie offenbar nicht immer denen klar gewesen sind, die die Kapillarwirkungen zur Erklärung geologischer Vorgänge herangezogen haben.

(A). Da ein Druckunterschied nur an der Trennungsfläche stattfindet, so kann eine Flüssigkeitssäule (z. B. wie in Fig. 2) nur hochgehalten werden, wenn sich die freie Oberfläche der Flüssigkeit innerhalb des Kapillarrohres befindet; im Falle eines porösen Stoffes daher nur, wenn die Trennungsflächen innerhalb der Poren liegen³.

(B). Wenn sich Gleichgewicht eingestellt hat, hängt die erreichte Höhe der Flüssigkeit nur von dem Lumen des Rohres an der Trennungsfläche ab (da damit die Krümmung derselben bestimmt ist) und von nichts anderem, wie auch die Größe und Gestalt des übrigen Rohres sonst sein mag. Hieraus folgt jedoch keineswegs, daß die Flüssigkeit in einem Material mit Poren von unregelmäßig wechselndem Durchmesser zu einer Höhe ansteigt, die

¹ Sind h und r in Millimetern ausgedrückt, so muß die Konstante k nicht zehnmal, sondern hundertmal so groß genommen werden.

² Beiläufig sei bemerkt, daß nach derselben Überlegung der Druck innerhalb eines kleinen Wassertropfens größer ist als der Außendruck: das Wasser steht also unter einem größeren Druck, als sein Dampfdruck beträgt. Durch diese Druckverhältnisse — den „ungleichmäßigen“ Druck — steigt dann der Dampfdruck der Flüssigkeit; folglich ist der Dampfdruck eines Tropfens um so größer, je kleiner der Krümmungsradius seiner Oberfläche — eine bekannte Schlußfolgerung, die für eine ganze Anzahl von Erscheinungen von außerordentlicher Wichtigkeit ist. Auf vollkommen analoge Weise ergibt sich der mit der gekrümmten Oberfläche im Gleichgewicht stehende Dampfdruck der Flüssigkeit in einer Kapillare geringer als der gewöhnliche Dampfdruck, und diese Dampfdruckerniedrigung ist um so größer, je kleiner der Durchmesser des Rohres. Ähnlich kann man (wenn es erlaubt ist, von einer Oberflächenspannung fester Körper zu reden) die Tatsache herleiten, daß die Löslichkeit einer Substanz mit Abnahme der Korngröße wächst.

³ Das schließt natürlich den Fall ein, daß die Flüssigkeit in den Poren praktisch bis an die äußere Oberfläche des festen Stoffes reicht.

der an der Oberfläche des Fragments der betreffenden Substanz beobachteten Porenweite entspricht.

(C). Nehmen wir ein offenes Rohr, kürzer als der kapillaren Steighöhe des Wassers entspricht, das mit Wasser gefüllt und so angebracht ist, daß sein unteres Ende unter eine Quecksilberoberfläche taucht. Die Krümmung der freien Wasseroberfläche genügt gerade, die vorhandene Wassersäule oben zu halten, aber wenn oben Wasser entweicht (durch Verdampfung oder auf andere Weise), wird die Krümmung stärker und infolgedessen das Quecksilber in das Rohr hineingezogen. Dies dauert so lange, bis sie halbkugelig ist, wenn sie eine Säule von Quecksilber und Wasser hält, im Gewicht gleich einer (viel längeren) Säule von Wasser allein, deren Länge diese Krümmung entspricht. Das ist im wesentlichen das Atmometer, der einzige Unterschied ist der, daß im letzteren Falle eine sehr große Anzahl von Poren vorhanden sind; wir sehen ferner, daß die Höhe, die dem Gleichgewicht entspricht, durch die Weite der größten Poren des Stoffes an der Trennungsfläche bestimmt wird.

(D). Die Druckdiskontinuität an der Trennungsfläche, die wir als eine Druckäußerung der Oberflächenhaut des Wassers im Bestreben sich zu kontrahieren ansehen können, ist genau von dem gleichen Betrage, ob sie sich bemerkbar macht (a) durch das Obenhalten der Flüssigkeitssäule; (b) durch die Kompression der Luft in einem an einem Ende geschlossenen, in Wasser untergetauchten Rohr; (c) in Form des Druckes, der nötig ist, um Luft durch eine ursprünglich mit Wasser gefüllte Kapillare hineinzutreiben¹.

(E). Die kapillare Steighöhe wird beeinflusst durch die Änderung solcher Faktoren, von denen der Randwinkel die Dichte und die Oberflächenspannung der Flüssigkeit abhängig sind. Die Änderungen des Randwinkels und der Dichte können für unsere Zwecke vollständig außer acht gelassen werden. Hinsichtlich des Einflusses der Temperatur auf die Oberflächenspannung des Wassers zeigen alle Untersuchungen übereinstimmend, daß diese mit steigender Temperatur regelmäßig abnimmt, bei der kritischen Temperatur, wo es keine Trennungsfläche mehr gibt, = 0 wird. Die Gleichung

¹ Versuche dieser Art wurden angestellt von BARUS (Am. J. Sc. 48. 1894. 552). BECHHOLD (Z. f. physik. Chem. 67. 1908. 328) und von BIGELOW und BARTELL (J. Am. Chem. Soc. 31. 1909. 1194). Die Formel, die den erforderlichen Druck (P in Atm) und den Porendurchmesser (D in mm) verknüpft, ist $P = 0,00304/D$ (für Zimmertemperatur); sie ist leicht abzuleiten aus Formel (3). BECHHOLD's berechnete Porendurchmesser sind zehnmal zu klein, worauf BIGELOW und BARTELL aufmerksam machten. Der Druck P ist natürlich nicht derselbe, der nötig ist, das Wasser durch das Kapillarrohr zu treiben: in letzterem Fall brauchen wir nicht notwendig eine freie Oberfläche innerhalb des Rohres zu haben.

ist praktisch linear, wenn man das ganze Temperaturintervall betrachtet; die Resultate werden mit genügender Genauigkeit durch die Formel dargestellt:

$$\sigma_t = 78 - 0,21 t \text{ oder } 0,21 (370 - t),$$

worin σ_t die Oberflächenspannung bei t (Temp. C.), ausgedrückt in Dynen pro Zentimeter, bedeutet.

Die Wirkung des Druckes auf die Oberflächenspannung ist unbekannt, aber vermutlich gering. Denn die Änderungen der Eigenschaften des Wassers, das einem Druck von, sagen wir, 1000 Atmosphären unterworfen wird, sind gewöhnlich in Größe und Richtung ähnlich denen, die man beobachtet, wenn eine geringe Menge Salz darin gelöst wird; die Oberflächenspannung solcher verdünnten Lösungen (0,5 normal oder darunter) unterscheidet sich nur um wenige Prozente von der reinen Wassers.

Versuche. Bevor wir zur Diskussion der geologischen Folgerungen der obigen Sätze schreiten, wollen wir die Resultate einiger Versuche nach dem Prinzip des Atmometers erwähnen, ausgeführt mit Zylindern oder Fragmenten verschiedener Stoffe. Es sei erwähnt, daß die Zylinder von Zement und Gips in Glasröhren von geeigneter Länge geformt wurden, die dann direkt zum Versuch dienten; dadurch wurde erreicht, daß die Verdampfung nur an der Oberfläche und nicht an den Seiten stattfand. Auch wurde die Verdampfung des Wassers an den Seitenflächen durch Überziehen mit Wachs verhindert. Die Beobachtungen sind unten in Tabelle I zusammengestellt, in die wir noch einige Beobachtungen von BIGELOW und BARTELL¹ aufgenommen haben, die den Luftdruck bestimmten, der gerade nötig ist, das Wasser aus den Poren des Materials auszutreiben. —

Diese Resultate sind nicht besonders charakteristisch für die einzelnen Stoffe. Sie entsprechen bloß den einzelnen Proben, die wir zufällig anwandten, und den weitesten Poren in diesen Proben. Wir haben ferner beobachtet, daß die Unterschiede für Schichten desselben Stoffes von verschiedener Dicke nicht größer sind, als man von dem mutmaßlichen Wechsel der Größe der weitesten Poren erwarten kann.

Nach dem Vorhergehenden ist klar, daß DAUBRÉE's Versuch im Prinzip identisch ist mit den soeben beschriebenen Versuchen, und daß seine Temperatur und Temperaturdifferenz keine weitere Rolle spielen als die eines Mittels, die Oberflächenspannung des Wassers, daher den beobachteten Druckunterschied zu verringern. So war es möglich, in Tabelle I den berechneten Porendurchmesser von DAUBRÉE's Sandstein, abgeleitet von seinen Werten für Temperatur und Druckunterschied, einzusetzen.

¹ BIGELOW und BARTELL, Journ. Am. Chem. Soc. **31**. 1909. p. 1194. Ähnliche Versuche sind auch noch von anderen gemacht worden.

Tabelle I.

Resultate der Atmometerversuche an verschiedenem Material.

Stoff	Dicke der Schicht cm	Relative Aufstei- gungs- ge- schwin- digkeit	Äqui- valente Höhe der Queck- silber- säule cm	Virtuelle Steig- höhe der Wasser- säule cm	Äqui- valenter Druck- unter- schied Atm.	Berech- neter Poren- durch- messer
						μ^1
„Alundum“ ²	0,5	50	10,5	143	0,14	21
Feuerfester Ton	0,5	75	16,3	222	0,21	14
Gepreßte Magnesia	0,6	35	18,5	250	0,24	12
Porzellan	0,2	100	59,6	810	0,79	3,8
Portlandzement	5	20	} Es kam nicht zum Gleich- gewicht. Gleichgewichts- druck vermutlich größer als eine Atm. }			} < 3
Gips	5	20				
Marmor	3	5				
Diorit	3	0,1				
Sandstein (DAUBRÉE)	2	—	—	—	0,8	2,7 ³
Porzellan	—	—	—	—	2,5 ⁴	1,2
Porzellan	—	—	—	—	15,0 ⁴	0,19

Geologische Beziehungen.

Bereits vor längerer Zeit (1881) wies OSMOND FISHER darauf hin⁵, daß der DAUBRÉE'sche Versuch nur gelang, weil es sich um eine Trennungsfäche handelte; und KEMP⁶, der seine Meinung zitiert, schreibt: „The experiment gives no ground for thinking that water would move through the heated walls confining a reservoir of molten rock and become involved in the latter.“ Nach OSMOND FISHER: „Capillary action can be made to do great things; But it cannot cause a liquid to flow continuously through a tube, however short; for, if it could, it would give us perpetual motion. If there were a cavity filled with vapor, it is possible that the density of the vapor, and therefore its pres-

¹ $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$. Die Wellenlänge der D-Linie ist $0,5 \mu$.

² Fabrikmarke (Norton Company, Worcester, Mass.) für gepreßte Al_2O_3 .

³ Dieser Wert wurde aus DAUBRÉE's Daten folgendermaßen berechnet: Der von ihm notierte Druck von 1,8 Atm. entspricht, wie er selbst angibt, einer Temperatur von 113° an der Unterfläche des Sandsteins. Bei dieser Temperatur beträgt die Oberflächenspannung des Wassers 54,3. Der kapillare Druck beträgt 0,8 Atm., entsprechend einer Wassersäule von 830 cm. Folglich nach Gleichung (4) $r = 0,000134 \text{ cm}$ oder $D = 2,7 \mu$.

⁴ Direkt beobachtet von BIGELOW und BARTELL.

⁵ OSMOND FISHER, *Physics of the Earth's Crust*. London 1889. 2. Aufl. p. 143.

⁶ J. F. KEMP, *Role of Igneous Rocks in the Formation of Veins*. *Trans. Am. Min. Eng.* **31**. p. 177. (1901.)

sure, might be increased to a certain extent, by the evaporation of the water from the extremity of the capillary tubes, and that was what occurred in the experiment of M. DAUBRÉE. . . . Still further the existence of capillary communication of water from the surface may be doubted. For if there were supposed a capillary tube extending from the bottom of the ocean, the pressure at the lower end of this tube would be that of the water contained in it plus that, if any, arising from capillarity, while the pressure of the crust around its mouth would be that due to the weight of the crust. This latter would be the greater of the two: consequently the liquid upon which the crust rested, having a tension [being subject to a pressure] equal to the weight of the crust, would force back the water in the tube, and if it were not too viscous would itself occupy the tube"¹.

Nun ist es schwer, sich eine dauernde Gestaltung der Gesteine vorzustellen, ausgenommen in verhältnismäßig geringen Tiefen, derart, daß dieses Verschließen der Poren durch das plastische Gestein nicht stattfindet. In der Tat ist es schwer, sich in einer beträchtlichen Tiefe die Existenz ununterbrochener Hohlräume vorzustellen, ausgenommen sie sind sehr klein²; und wenn sie klein und von Wasser durchströmt sind, so muß es scheinen, daß sie in kurzer Zeit von dem Stoff, der sich bei der Verdampfung des Wassers niederschlägt, verschlossen werden. Diesen Punkt hat bereits R. T. CHAMBERLIN³ diskutiert, der übereinstimmend sich vorstellt, daß die Kapillaritätskraft quantitativ unzureichend ist. Nach Anführung verschiedener Beweisgründe schreibt er: „All of these facts and deductions lead to the general conclusion that our surface-waters have been derived from the interior of the earth, and oppose the idea that to explain the presence of hydrogen, or water, in magmas and rocks, we have merely to appeal to the penetration of surface-waters.“

Um die quantitative Bedeutung der Kapillarität zu zeigen, geben wir in untenstehender Tabelle die berechneten Werte des durch Kapillarität erreichbaren Druckes bei verschiedenen Tiefen unter der Annahme eines Temperaturgradienten 1. von 1⁰ C pro 30 m, der etwa der normale ist (soweit man nach den vorhandenen,

¹ l. c. p. 144—145. Es sei bemerkt, daß dieses Argument nicht notwendig fordert, daß der Stoff unter der „Kruste“ im striktesten Sinne des Wortes flüssig ist; die Annahme ist begründet, wenn die Gesteine in dieser Tiefe fließen können, eine Bedingung, die sicher besteht, ausgenommen von verhältnismäßig geringen Tiefen.

² Bezüglich der Tiefen, bis wohin Hohlräume bestehen können, siehe F. D. ADAMS, Journ. Geology. 20. 1912. p. 97—118, und L. V. KING, ibid. p. 119—138.

³ The Gases in Rocks. Carnegie Inst. Publication No. 106. 1908. p. 70—75.

sehr unvollkommenen Daten schließen kann), 2. von 1°C pro 1 m, was dem höchst möglichen Gradienten, selbst in der Nähe von Vulkanherden, entsprechen dürfte. Bei dieser Berechnung haben wir die Änderung der Oberflächenspannung (σ) mit der Temperatur in Rechnung gezogen, dagegen den (unbekannten) Einfluß des Druckes nicht berücksichtigt; wir sehen also ab von dem Einfluß von Temperatur und Druck (a) auf den Randwinkel α , (b) auf die Dichte des Wassers, der als Faktor erscheint 1. in dem zu jeder Temperatur gehörenden Wert von k und 2. in der Berechnung des hydrostatischen Druckes. Bei der Berechnung des Druckes der überlagernden Gesteinsschichten wurde eine mittlere Dichte von 2,7 angenommen. Die in Tabelle II gegebenen Werte sind deshalb nur Näherungswerte, aber nichtsdestoweniger für den vorliegenden Zweck hinreichend genau. Wir können von solchen Zahlen als Grundlage geologischer Spekulation im Hinblick auf die Möglichkeit des Eindringens von Wasser in die tiefgelegenen Gesteinsschichten nur Gebrauch machen, wenn folgende beide einschränkende Bedingungen vorausgesetzt werden: 1. daß in den fraglichen Tiefen Poren existieren, 2. daß die Gesteinmassen in der Umgebung der Porenöffnung unter einem geringeren Drucke stehen, als der auf das Wasser wirkende Druck beträgt. Mit letzterer Bedingung dürfte die Annahme übereinstimmen, daß, angenommen die Fälle, in denen die kapillaren Drucke relativ groß sind (d. h. in geringen Tiefen mit sehr feinen Poren), die fraglichen Gesteinmassen oder Magmen in einer Art von Hohlräumen gelegen sind, deren Wandungen sie von dem vollen Druck des Gewichtes der überlagernden Schichten entlasten.

Aus nachstehender Tabelle ist ersichtlich, daß der erreichbare Kapillaritätsdruck unbedeutend ist im Vergleich zum hydrostatischen Druck, außer wenn die Poren sehr fein sind. Für jede Porenweite gibt es eine bestimmte Tiefe, oberhalb deren der hydrostatische und der Kapillaritätsdruck zusammengenommen den Gebirgsdruck übertrifft und unterhalb deren der Gebirgsdruck (in voller Wirksamkeit genommen) überwiegt. So liegt z. B. bei einem Porendurchmesser von $0,01 \mu$ und dem normalen Temperaturgradienten die Tiefe, bei der sich beide Drucke das Gleichgewicht halten, etwa bei 1600 m, und diese Tiefe ändert sich im umgekehrten Verhältnis wie der Porendurchmesser¹.

Es ist daher klar, daß die Kapillarität eine untergeordnete Rolle spielt, außer wenn die Poren sehr klein sind; bei solcher Winzigkeit der Poren entsteht die Frage, welche Wassermasse tatsächlich hindurchfließen kann. Diese Menge läßt sich berechnen mit der bekannten POISEUILLE'schen Formel, nach der die durchfließende Menge berechnet werden kann, wenn der Radius des

¹ Zum wenigsten gilt dies mit genügender Annäherung für den vorliegenden Zweck.

Tabelle II

gibt die Größe der unter verschiedenen Bedingungen durch die Kapillaritätswirkung erreichbaren Drucke in kg pro qcm¹; die mitgeteilten Werte sind Näherungswerte und gelten unter den oben gemachten Voraussetzungen.

Tiefe in m	Hydro- statischer Druck der Wassersäule	Kapillaritätsdruck für einen Poren- durchmesser von			Gesamtdruck innerhalb der Poren von einem Durch- messer von 0,01 μ	Äußerer Druck der überlagernden Gesteins- schichten
		100 μ	1 μ	0,01 μ		
Temperaturgradient 1° C pro 30 m.						
100	10	0,03	3,1	306	316	27
200	20	0,03	3,0	302	322	54
500	50	0,03	2,9	294	344	135
1 000	100	0,03	2,8	278	378	270
2 000	200	0,03	2,5	250	450	540
5 000	500	0,02	1,6	160	660	1350
10 000	1000	0,002	0,2	20	1020	2700
20 000	2000	—	—	—	2000	5400
Temperaturgradient 1° C pro 1 m						
50	5	0,03	2,6	264	269	14
100	10	0,02	2,2	220	230	27
200	20	0,01	1,3	131	151	54
300	30	0,005	0,5	50	80	81
400	40	—	—	—	40	108

Rohrs, der Druckgradient und die Viskosität der Flüssigkeit bekannt sind. Nehmen wir also die Viskosität des Wassers zu 0,005 (entsprechend der Temperatur von 30°), so würde die durch eine Pore vom Durchmesser 1 μ hindurchfließende Wassermenge etwa $15 \cdot 10^{-6}$ cem im Jahr betragen; ein Wert, der eher zu hoch geschätzt sein dürfte, da die POISEUILLE'sche Formel sich auf gerade Poren von regelmäßig kreisförmigem Querschnitt bezieht, während die der Gesteine zickzack laufen und von ganz unregelmäßiger Gestalt sind.

Wenn wir jetzt die ganz hochgegriffene Annahme machen, daß das Gesamtvolumen der Poren 10% des Gesteinsvolumens beträgt, so macht das eine Million (10^6) Poren von 1 μ Durchmesser auf jeden Quadratzentimeter. Unter dieser Annahme würde also die durchfließende Wassermenge nur 15 cem pro qcm im Jahr betragen, und die Annahmen laufen eher darauf hinaus, dieses Resultat zu groß als zu klein zu machen. Aus Tabelle II ist jedoch ersichtlich, daß die Kapillarität in Poren von 1 μ Durch-

¹ 1 kg pro qcm = 0,97 Atm.

messer bei beträchtlicher Tiefe von verschwindender Größe ist; andererseits ist bei feineren Poren, obgleich der erreichbare Kapillaritätsdruck relativ beträchtlich ist, die durchfließende Wassermenge absolut unbedeutend. So wäre, wenn der Porendurchmesser ist a) $0,1 \mu$, b) $0,01 \mu$, wieder unter der Annahme, daß das Verhältnis des Gesamtporenvolumens $10^0/0$ beträgt¹, die durchfließende Wassermenge a) $0,15$, b) $0,0015$ ccm pro qcm im Jahr. Im letzteren Falle würde mit anderen Worten ein Zeitraum von 1000 Jahren nötig sein, um eine Regenmenge von $1,5$ cm Höhe durch eine gegebene horizontale Ebene hindurchfließen zu lassen. Wir können überdies sicher sein, daß auch keine andere denkbare Annahme, als wir oben gebraucht haben, die berechneten Werte um mehr als das Zehnfache vergrößern würde. Hierzu wollen wir nur bemerken, daß das auf diese Weise in ein Magma hineinsickernde Wasser (nehmen wir es einmal als möglich an) sehr wenig instande sein dürfte, irgend eine heftige Wirkung zu entfalten.

Die obigen Angaben besagen natürlich keineswegs, daß das Wasser nicht durch Kapillaritätswirkung oder anderswie in beträchtliche Tiefe in die oberen und kälteren Erdschichten eindringt. In der Tat laufen die oben mitgeteilten Zahlen und Ableitungen darauf hinaus, daß das Wasser fähig ist, in meßbaren Mengen bis zu Tiefen von etwa 500 m und in kleinen Mengen bis zu vielleicht 1500 m zu dringen — ein Schluß, der, wie wir glauben, mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt.

Zusammenfassung.

DAUBRÉE'S Experiment über den Durchgang von Wasser durch eine Sandsteinplatte gegen Überdruck ist, wie in der Tat von anderen angedeutet worden ist, der Wirkung von kapillaren Kräften zuzuschreiben. Zu demselben Resultat kann man auf viel einfachere Weise durch Atmometerversuche kommen, wie sie oben beschrieben wurden. Die Größe des unter verschiedenen Bedingungen sich ergebenden Effekts kann man aus den Kapillaritätsgesetzen ableiten. Eine Kapillarwirkung tritt nur ein, wenn eine Trennungsfläche innerhalb der Poren vorhanden ist, sie nimmt mit steigender Temperatur stetig ab und verschwindet vollständig bei der kritischen Temperatur. Die Berechnung zeigt, daß der erreichbare Effekt in irgendwelcher beträchtlichen Tiefe im Vergleich zu dem hydrostatischen Druck der Wassersäule unbedeutend ist, ausgenommen bei Poren von solcher Feinheit, daß die Wassermenge, die hindurchfließen kann, unendlich klein ist.

Es scheint daher die Wahrscheinlichkeit dagegen zu sprechen, daß meßbare Mengen von meteorischem Wasser in tiefgelegene und heiße Gesteinsmassen eindringen können. Infolgedessen glauben wir, daß es denjenigen obliegen muß, die das Gegenteil behaupten

¹ Dem entsprechen für a) 10^8 , für b) 10^{10} Poren pro qcm.

wollen, die Beweise dafür aufzufinden. Wenn es sich auch eventuell herausstellen sollte, daß die auf vorstehenden Seiten aufgestellten Rechnungen durch den Einfluß irgend eines von uns unbeachteten Faktors nicht mehr stimmen, so müssen sich doch diejenigen, die anders glauben wollen, der Schwierigkeit gegenübergestellt sehen, eine denkbare Gestaltung der Tiefengesteine aufzufinden, derart, daß der in der betreffenden Tiefe herrschende Gesteinsdruck nicht den Gesamtdruck der Wassersäule an den freien Enden der Poren überwältigt.

Über die chemische Zusammensetzung des Syenits aus dem Plauenschen Grund bei Dresden.

Von **Richard Nacken** in Leipzig.

Der Syenit aus dem Plauenschen Grund an der Weißeritz b. Dresden ist mehrfach chemisch untersucht worden. Die Resultate sind indessen verschieden. So stimmen zwei ältere Analysen von F. ZIRKEL¹ und von P. A. GRIFFITH² miteinander recht gut überein, wenn man davon absieht, daß einmal das Eisen als FeO, das andere Mal als Fe₂O₃ berechnet ist. Sie weichen aber ziemlich bedeutend ab von Analysen, die von H. S. WASHINGTON³ in letzter Zeit sorgfältig ausgeführt wurden. Insbesondere ergeben sich größere Abweichungen im Alkaligehalt; die Gesamtmenge mit 8,9% Na₂O + K₂O ist prozentual wohl gleich, indessen ist ihr gegenseitiges Verhältnis ein anderes, das Kali überwiegt nach den neueren Analysen nicht mehr, beide Alkalien stehen in gleichem Verhältnis. Aus den Analysen läßt sich ferner entnehmen, daß die Eisenbestimmung der älteren Analysen zu hohe Werte ergeben hat.

	I	II	III	IV	V
SiO ₂	59,83	60,02	62,49	58,70	60,60
Al ₂ O ₃	16,85	16,66	16,49	17,09	16,79
Fe ₂ O ₃	—	7,21	2,36	3,17	2,77
FeO	7,01	—	2,04	2,29	2,17
MgO	2,61	2,51	1,87	2,41	2,14
CaO	4,43	3,59	4,23	4,71	4,47
Na ₂ O	2,44	2,41	4,38	4,38	4,40
K ₂ O	6,57	6,50	4,65	4,35	4,57
H ₂ O (> 120°) {	1,29	1,10	0,32	0,89	0,61
H ₂ O (< 120°) }			0,28	0,23	0,25
TiO ₂	—	—	0,85	0,95	0,90
P ₂ O ₅	—	—	0,32	0,23	0,28
MnO	—	—	—	—	—
BaO	—	—	0,15	—	0,15
SrO	—	—	Spur	—	Spur
	101,03	100,00	100,43	99,40	100,10

¹ F. ZIRKEL, Pogg. Ann. 72. p. 622. 1864.
² P. A. GRIFFITH, Chem. News. 47. p. 170. 1882.
³ H. S. WASHINGTON, Americ. Journ. Sc. 22. p. 132. 1906.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: [1914](#)

Autor(en)/Author(s): Adams H., Johnston John

Artikel/Article: [Über Daubrees Experiment und die Kapillarität in Beziehung auf gewisse geologische Probleme. 171-183](#)