XXV. *Einige Bemerkungen über den unterirdischen Lauf des Wassers und über die Absorption von Gasarten durch dasselbe im Innern der Erde;*

von Gustav Bischof.

In Beziehung auf den unterirdischen Lauf des Wassers sind folgende denkbare Fälle zu unterscheiden:

1) Meteorwasser filtriren durch wasserdurchlassende Erd- und Steinschichten, und kommen auf wasserdichte. Geben diese Schichten an irgend einem tiefer gelegenen Orte zu Tage aus, so werden die Wasser daselbst als Quellen zum Vorschein kommen.

In diesem Falle braucht das Wasser den Kanal nicht ganz auszufüllen, sondern es kann, gleichwie ein unterirdischer Bach, in Berührung mit atmosphärischer Luft herabfließen. Dieß findet vorzugsweise in den *Kalk- und Quadersandstein-Gebirgen*, überhaupt in denjenigen Gebirgsformationen statt, die sehr zerklüftet sind. So kommen z. B. aus dem *Kreidegebirge der westphälischen Flötzformation* Quellen hervor, die eigentlich unterirdische Flüsse sind, wie die Quellen des *Jordans*, der *Lippe*, der *Pader* etc ¹).

2) Meteorwasser dringen durch Gebirgsspalten mehr oder weniger tief in das Innere der Erde, füllen alle damit in Communication stehende Spalten an, steigen in denselben nach hydrostatischen Gesetzen wieder in die Höhe und kommen an irgend einem Orte oder zugleich an mehreren Stellen, die in etwas niederem Niveau mit der Einflußöffnung liegen, als Quellen zu Tage.

1) Vergl. meinen Aufsatz in dem neuen Jahrb. der Chemie und Phys. 1833, H. 13 S. 272.

Dieser Fall kann nur stattfinden, wenn alle communicirende Spalten gleich hydraulischen Röhren durchaus mit Wasser angefüllt sind. Es können jedoch die Wasser erst eine Zeit lang in nicht geschlossenen Kanälen, wie im vorhergehenden Falle, fließen, ehe sie in geschlossene Spalten kommen. Die Druckhöhe wird dann nur von diesem Punkte an wirken. Bis dahin wird das Wasser in vielfache Berührung mit atmosphärischer Luft kommen und davon absorbiren. Es kann z. B. folgender Fall stattfinden. Das Wasser fließt, Fig. 1 Taf. V, von *a* bis *b* in einem nicht geschlossenen Kanal, von *b* bis *c* in einem geschlossenen, der sich bei *c* in eine Kluft erweitert, die in *l* mit Luft angefüllt ist. Vermöge der Druckhöhe *bc* absorbirt das Wasser mehr atmosphärische Luft, als es unter dem gewöhnlichen Luftdrucke absorbiren kann, fließt hierauf in geschlossenen Kanälen bis *d*, steigt bis *e* wieder in die Höhe und kommt hier als Quelle zum Ausfluß. Unter diesen Umständen ist es begreiflich, daß das Wasser die durch den Wasserdruck *bc* aufgenommene Luft nach und nach wieder fahren läßt, so wie es sich der Ausflußöffnung nähert, und das ausfließende Wasser selbst wird nur so viel Luft zurückhalten, als es unter dem gewöhnlichen Luftdrucke absorbiren kann. Daher rührt die, namentlich bei Quellen im Kalkgebirge, häufige Erscheinung einer Luftentwicklung aus dem Wasser bei *e*. Mehrere solcher Gasexhalationen, welche ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, zeigten einen geringeren Sauerstoffgehalt, wie die atmosphärische Luft, ja manchmal bestanden sie bloß aus Stickgas ¹⁾. Dieß ist leicht zu begreifen, wenn man erwägt, daß durch Oxydation verschiedener, theils unorganischer Substanzen (kohlensaures Eisenoxydul, Schwefelleber), theils organischer (organische Ueberreste, Quellsäure ²⁾

1) Neues Jahrb. der Chemie und Phys., 1833, Heft 13 S. 257 u. fg.

2) Diese Annal. Bd. XXIX S. 3 u. fg., und S. 238 u. fg.

u. s. w.), welche das mit atmosphärischer Luft geschwängerte Wasser auf seinem Laufe antrifft, Sauerstoffgas verloren geben kann. Auf diese Weise kann, wenn kohlenstoffhaltige organische Substanzen oxydirt werden, Kohlensäure entstehen, die wegen leichter Verschluckbarkeit zurückgehalten wird, und dasselbe zu einem angenehmen Trinkwasser macht.

Wenn die oben angenommenen Verhältnisse stets dieselben bleiben, so wird die in *l* eingeschlossene Luft nach und nach völlig von dem Wasser absorbt werden. Wenn aber bei trockner Jahreszeit die Meteorwasser nicht hinreichen, den Kanal *bc* ganz auszufüllen, so tritt nach und nach in die vom Wasser entleerte Kluft *c* neue atmosphärische Luft von oben ein, die später, wenn bei nasser Jahreszeit der Kanal *bc* sich wieder füllt, abermals von dem Wasser nach und nach absorbt werden wird u. s. w.

Wenn die Meteorwasser in große Tiefe dringen und daselbst eine höhere Temperatur annehmen, so verlieren sie die Fähigkeit, selbst die in gewöhnlicher Temperatur und unter gewöhnlichem Luftdrucke absorbirte Luft zurückzuhalten, und deshalb werden sie, wenn sie zu Tage kommen, dieselbe größtentheils wieder fahren lassen. Daher die bei warmen Quellen so häufige Erscheinung einer Luftentwicklung, wie z. B. in *Aachen*, *Burtscheid*, *Wiesbaden*, aus den warmen *Paderquellen* in *Paderborn* etc. Zu Gunsten dieser Ansicht ist es ein sehr bemerkenswerther Umstand, daß die letzteren um so mehr Luft entwickeln, je wärmer sie sind ¹⁾).

Gemäß der vorhin entwickelten Gründe wird auch die aus warmen Quellen sich entbindende Luft stets weniger Sauerstoffgas, wie die atmosphärische, ja häufig bloß Stickgas mit oder ohne Kohlensäuregas enthalten; denn je höher die Temperatur des Wassers, desto leichter die Oxydation der oxydationsfähigen Substanzen. So fanden

1) S. meinen Aufsatz a. a. O. S. 265.

L. Gmelin und Lade das aus dem *Kochbrunnen* zu *Wiesbaden* sich entwickelnde Gas zusammengesetzt aus 82,3 Kohlensäuregas und 17,7 Stickgas ¹⁾). Monheim fand in dem aus der *Aachener Kaiserquelle* sich entwickelnden Gas bloß Stickgas, Kohlensäuregas und 0,5 Proc. Schwefelwasserstoffgas. Ich fand aber noch 7 Proc. Sauerstoffgas. In dem *Pockenbrünnchen* zu *Burtscheid* fand Jener bloß Stickgas, Kohlensäuregas und 0,1 Proc. Schwefelwasserstoffgas. Nach meiner Analyse sind aber noch 2 Proc. Sauerstoffgas vorhanden. Von nahe gleicher Zusammensetzung, wie das Gas aus dem *Pockenbrünnchen*, fand Monheim auch das aus der *Burtscheider Trinkquelle*. In dem Gas aus den *Kochbrunnen* und aus der heißesten aller *Burtscheider* Thermen fand derselbe neben Stickgas und Kohlensäuregas 0,1 bis 0,15 Proc. Sauerstoffgas ²⁾). Nach meiner Untersuchung besteht jenes im Mittel aus drei nahe mit einander übereinstimmenden Analysen aus 47,3 Kohlensäuregas, 52,1 Stickgas und 0,6 Sauerstoffgas ³⁾). Endlich fand Anglada das aus den Schwefelquellen der *Pyrenäen* sich entwickelnde Gas aus reinem Stickgas bestehend ⁴⁾).

3) Meteorwasser dringen in Spalten ein, die mit Kohlensäuregas, das sich durch eigenthümliche Processe im Innern der Erde entwickelt, erfüllt sind. In diesem Fall,

1) Diese Annal. Bd. VII S. 467. Dafs die bedeutende Menge Kohlensäuregas im Verhältnifs zum Stickgas nur dem kleinsten Theile nach möglicher Weise von atmosphärischer Luft herrühren könne, ist von selbst klar. Hier müssen also noch Ströme von Kohlensäuregas hinzukommen.

2) Die Heilquellen von Aachen, Burtscheid etc. Aachen und Leipzig 1829. S. 209. 232 u. fg.

3) Es gilt hier dasselbe, was ich vorhin von dem Gas aus dem *Kochbrunnen* in *Wiesbaden* bemerkt habe.

4) *Mémoires pour servir à l'histoire générale des eaux minérales sulfureuses et des eaux thermales. A Paris* 1828, und *Ann. de chim. et de phys. T. XX p. 246.*

der vorzugsweise in Gegenden einer erloschenen vulkanischen Thätigkeit stattfindet, wird dieses Gas vom Wasser absorbirt, und es bilden sich Sauerlinge.

Da das Kohlensäuregas nicht blofs in viel größerem Verhältnisse wie atmosphärische Luft vom Wasser absorbirt, sondern auch bei 0° R. durch einen Druck von 36 Atmosphären tropfbar wird, so dürfte unter diesen Umständen die Kohlensäure in jedem Verhältniß vom Wasser aufgenommen werden. Kohlensäure in einer Tiefe von $36.32 = 1152$ Fufs unter der Erdoberfläche, unter dem Drucke einer Wassersäule von dieser Höhe könnte also nur tropfbar bestehen. Da aber in einer solchen Tiefe, nach den bisherigen Beobachtungen, eine, die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche um ungefähr 11° bis 12° R. übersteigende Wärme herrscht, so kann dasselbst die Kohlensäure noch nicht tropfbar seyn. Wenn, nach Davy und Faraday, die Kohlensäure bei -8° R. durch 20, bei 0° durch 36 und bei $5^{\circ},6$ R. durch 40 Atmosphären condensirt wird ¹⁾, so ergibt sich daraus, dafs die Erhöhung der Temperatur des Kohlensäuregases um 1° R. eine Steigerung des Drucks um ungefähr $1\frac{1}{2}$ Atmosphäre fordert. Da nun nach den bisherigen Beobachtungen die Zunahme der Temperatur nach dem Innern der Erde für jeden Reaumur'schen Grad in runder Zahl 96 Fufs beträgt, mithin diese Tiefe, als Wassersäule gedacht, einem Drucke von 3 Atmosphären gleich kommt, so wächst die Zunahme des hydrostatischen Drucks mit der Tiefe in einem viel größeren Verhältniß, als der zur Condensation des Kohlensäuregases erforderliche Druck bei Zunahme der Temperatur. Unter diesen Voraussetzungen wird also stets in einer gewissen Tiefe der hydrostatische Druck die durch Wärme gesteigerte Expansivkraft der Kohlensäure überwinden, und in dieser Tiefe kann daher die Kohlensäure nur tropfbar existiren. Wasser, welches mit tropfbarer Kohlensäure sich vermischt, wird

1) L. Gmelin's Handb. der theor. Chemie, 3. Aufl. S. 124.

eine die mittlere Temperatur des Orts auf der Erdoberfläche wenigstens um 11° bis 12° R. übersteigende Wärme annehmen. Da aber bei weitem die meisten Sauerlinge die mittlere Temperatur des Orts nur um wenige Grade übertreffen, so können diese nicht durch Vermischung mit tropfbarer Kohlensäure entstanden seyn.

Es wäre hier jedoch der Fall auszunehmen, wenn etwa warme Quellen während ihres Aufsteigens aus der Tiefe sich mit kalten vermischten und dadurch abgekühlt werden sollten. Es ist nicht zu bezweifeln, daß durch wenigstens ein Jahr lang fortgesetzte Beobachtungen ein solcher Fall sich ermitteln ließe. Je tiefer nämlich die Quellen hervorkommen, desto constanter ist ihre Temperatur und ihre Wasserergiebigkeit. Wenn daher solche Quellen beim Aufsteigen sich mit anderen vermischen, die in ihrer Temperatur und Ergiebigkeit veränderlich sind, so wird das Gemisch an dieser Veränderlichkeit Theil nehmen. So weit aber meine bisherigen Beobachtungen reichen, so zeigen Quellen, deren Temperatur die mittlere der Erdkruste des Orts um 2° bis 4° R. übersteigt, eine große Beständigkeit in ihrer Temperatur und Ergiebigkeit. Ich beobachte seit einer Reihe von Jahren drei Quellen, wovon die eine von den anderen um ungefähr 50 Schritte entfernt entspringt. Seit länger als einem Jahre beobachte ich ihre Temperatur und Ergiebigkeit wenigstens einmal monatlich. Zwei davon sind an Kohlensäure sehr reiche Mineralquellen, die dritte ist eine süße Quelle: Das Maximum der Temperatur von jenen ist $11^{\circ},6$ und $9^{\circ},5$ R., das Minimum $11^{\circ},4$ und $9^{\circ},3$, die ganze jährliche Differenz also nur $0^{\circ},2$ R., dagegen das Maximum der süßen 8° , das Minimum $6^{\circ},4$; also die jährliche Differenz $1^{\circ},6$ R. In der Ergiebigkeit der Mineralquellen ist während des ganzen Jahres keine Veränderlichkeit wahrzunehmen; dagegen variirt sie bei der süßen Quelle mehr als um das Doppelte.

Man nehme nun beispielsweise an, die wärmere je-

ner beiden Mineralquellen entstehe durch Vermischung eines constant $24^{\circ},4$ R. warmen Wassers mit der $6^{\circ},4$ bis 8° R. warmen süßen Quelle, so müßte 1 Theil Wasser von $24^{\circ},4$ mit 3 Theilen Wasser von $6^{\circ},4$ bis 8° sich vermischen, um Wasser von $11^{\circ},4$ bis $11^{\circ},6$ zu erhalten. Allein unter dieser Voraussetzung würde die Temperatur jener Mineralquelle zwischen $10^{\circ},9$ und $12^{\circ},1$ schwanken, und es würde sich also eine jährliche Temperaturdifferenz von $1^{\circ},2$ ergeben, während die wirkliche nur $0^{\circ},2$ ist. Diese Differenz würde noch größer werden, wenn, wie es wirklich nahe der Fall ist, das Maximum der Ergiebigkeit der süßen Quelle mit dem Minimum der Temperatur zusammenträfe und umgekehrt.

Aus dieser einfachen Beobachtung ergibt sich also, daß jene Mineralquelle von $11^{\circ},5$ nicht durch Vermischung aus Wasser von $24^{\circ},4$ mit Wasser, das in seiner jährlichen Temperatur wie jene süße Quelle variiert, entstehen könne. Wasser von $24^{\circ},4$ R. würde aber dem Obigen gemäß ungefähr aus einer Tiefe kommen, wo die Kohlensäure tropfbar wäre; so vermindert sich demnach, auch von dieser Seite betrachtet, die Wahrscheinlichkeit, daß diejenigen Sauerlinge, deren Temperatur die mittlere des Orts nur um wenige Grade übertreffen, durch Vermischung mit tropfbarer Kohlensäure entstehen können.

Unter dem gewöhnlichen Luftdrucke absorbirt, nach Saussure, 1 Maafs Wasser 1,07 Maafs Kohlensäuregas; unter erhöhtem Luftdruck können wir diese Absorption bis zum 2- bis 3fachen Volumen steigern. Im Innern der Erde steigt sie unter stets wachsendem Wasserdruck ohne Zweifel bis zu einem noch viel größeren Volumen. So wie aber solches unter höherem Druck mit Kohlensäure geschwängerte Wasser nach und nach auf die Oberfläche kommt, reißt sich ein Theil des Gases wieder los, und kommt in mehr oder weniger starken Strömen aus dem hervorquellenden Wasser zum Vorschein. Ber-

thier ¹⁾ ist der Meinung, daß, diese Gasentwicklung (in den meisten gasbaltigen heißen Mineralwassern) hauptsächlich von einem Strome Kohlensäuregas herrühre, der gleichzeitig mit dem Mineralwasser erzeugt werde, und viel zu beträchtlich sey, als daß er von diesem absorbirt werden könne; ja er hält es für sehr wahrscheinlich, daß das Wasser nur durch die Wirkung des Druckes, den es von dem in den unterirdischen Laboratorien erzeugten Kohlensäuregas erleidet, auf die Oberfläche komme. Obgleich mir jene Meinung früherhin als wahrscheinlich vorkam ²⁾, so kann ich ihr doch, nachdem ich unterdessen Gelegenheit gehabt habe mehrere Beobachtungen über Gasentwicklungen aus Mineralquellen zu machen, jetzt nicht mehr unbedingt huldigen; wenigstens glaube ich, daß Gasströme, welche die Quellen bloß begleiten und unabhängig von ihnen sind, zu den Seltenheiten gehören. Ob dieser Fall stattfindet oder nicht, rührt von den relativen Verhältnismengen des Wassers und des Gases, von der Höhe des Wasserdrucks und von der Temperatur des Wassers her. Je mehr nämlich das Wasser beträgt im Verhältniß zum Kohlensäuregas, welches sich aus dem Innern der Erde entwickelt, und je höher die drückende Wassersäule und je kälter das Wasser ist, desto leichter wird das Gas verschluckt. Wenn daher das Gas mit dem Wasser in der tiefsten Stelle seiner hydrostatischen Leitung zusammentrifft, und diese Kanäle sich sehr tief in die Erde hinabziehen, so finden die günstigsten Verhältnisse für gänzliche Absorption des Gases statt. Wenn dagegen das Gas in die Wasserkanäle näher der Erdoberfläche eindringt, so kann es wohl geschehen, daß nur ein Theil davon absorbirt wird, der größere aber frei durch das Wasser hindurchströmt. Da

1) *Annal. de chim. et de phys. T. XIX p. 27.*

2) Die vulkanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs etc. S. 215.

im Innern der Erde mit der hydrostatischen Druckhöhe die Temperatur des Wassers zunimmt, so nimmt dessen Absorptionsfähigkeit für Kohlensäuregas mit der Tiefe ab, aber in einem viel geringeren Verhältniß, als sie durch den gesteigerten Wasserdruck zunimmt. Nach Henry's, von Saussure namentlich für das Kohlensäuregas erprobten, Versuchen würde Wasser unter einem hydrostatischen Druck von 96 Fufs drei Mal so viel Gas, als unter dem einfachen Luftdruck absorbiren. Nach dem Obigen nimmt aber mit 96 Fufs Tiefe die Temperatur im Innern der Erde um ungefähr 1° R. zu. Nun nimmt, nach gleichfalls von Henry angestellten Versuchen, wenn man das Absorptionsvermögen des Wassers für Kohlensäure bei $10^{\circ},22$ R. gleich 1 setzt, dasselbe bis $23^{\circ},56$ R. für jeden Reaumur'schen Grad um 0,058 ab ¹⁾. Nach

- 1) Gilb. Annal. Bd. XX S. 155. Reducirt man nämlich daselbst die Fahrenheit'schen Grade in Reaumur'sche, so ergibt sich bei Vergleichung der Versuche 1 und 2 für 1° Temperaturzunahme

$$\frac{84}{108.13,34} = 0,058 \text{ Abnahme des Absorptionsvermögens des Wassers für Kohlensäuregas.}$$

Bei Vergleichung der Versuche 6 und 7 erhält man $\frac{70}{108.13,34} = 0,062$, und bei Vergleichung der

$$\text{Versuche 7 und 9 } \frac{45}{70.11,11} = 0,058. \text{ Diese Werthe stimmen}$$

sehr nahe mit einander überein, und man kann daher wohl, wenn man das Absorptionsvermögen des Wassers für Kohlensäure bei $10^{\circ},22$ und $23^{\circ},56$ R. als Einheit annimmt, innerhalb dieser Temperaturen die Abnahme für jeden Reaumur'schen Grad Temperaturzunahme gleich 0,06 setzen. In der neuen Auflage von Gehler's physikal. Wörterbuch, Bd. I Art. Absorption S. 50, sind ähnliche Vergleichungen zwischen je zwei der eben angeführten Versuche, in denen stets gleiche Quantitäten Wasser und Kohlensäuregas mit einander in Berührung kamen, angestellt, aber sehr ungleiche Absorptionsabnahme des Wassers für Kohlensäuregas gefunden worden. Dieß rührt davon her, daß dort die Differenzen der absorbirten Gasquantitäten, bei ungleichen absoluten Mengen des in niedriger Temperatur absorbirten Gases, mit einander verglichen wurden. Henry's Versuche 1, 3 und 4 zei-

Dalton würde diese Abnahme des Absorptionsvermögens des Wassers für jeden Grad von 0° bis 80° R. noch viel weniger betragen, wenn nämlich das Wasser bei jeder Temperatur dasselbe Gasvolumen absorbiert. So würde z. B. das Absorptionsvermögen des Wassers von 10° bis 11° R. nur um $\frac{1}{213+10} = 0,0045$ abnehmen.

Es ist für den gegenwärtigen Zweck ganz einerlei, ob Henry's oder Dalton's Angaben der Wahrheit am nächsten kommen, genug es ergibt sich, daß die Abnahme des Absorptionsvermögens des Wassers mit der im Innern der Erde zunehmenden Temperatur gar nicht in Anschlag komme gegen die bedeutende Zunahme dieses Vermögens mit dem erhöhten Wasserdruck, und jene Abnahme kann daher bei Berechnungen ganz vernachlässigt werden.

Es hat sich mir die seltene Gelegenheit dargeboten, die Quantitäten Kohlensäuregas und Wasser, welche einige Mineralquellen hergeben, zu messen. So fand ich die Menge des Gases, welche aus einem Säuerling auströmt, der wohl zu den an Kohlensäure reichsten gehören mag, 4237 Kubikfufs in 24 Stunden, und die des Wassers, welche er in diesem Zeitraum giebt, 1157 Kubikfufs. Da das Wasser das 1,65fache Volumen freies und halbgebundenes Kohlensäuregas enthält, so beträgt

gen aber, daß das Wasser bei gleichen Temperaturen, selbst wenn so viel Kohlensäuregas vorhanden ist, als zu seiner Sättigung erfordert wird, dennoch ungleiche Gasquantitäten absorbiert, und die Versuche 5 und 6, daß wenn weniger Kohlensäuregas als zur Sättigung erforderlich vorhanden ist, doch nicht alles Gas absorbiert wird. Wenn daher unter diesen Umständen, bei gleich niederen Temperaturen, ungleiche Gasquantitäten absorbiert werden, so wird dieß auch bei erhöhten Temperaturen der Fall seyn. Es können daher nicht die *Differenzen* der bei verschiedenen Temperaturen absorbierten Gasquantitäten mit einander verglichen werden, sondern es sind die *Verhältnisse* derselben bei verschiedenen Temperaturen mit einander zu vergleichen.

die ganze Menge des absorbirten und des entwickelten Gases 6146 Kubikfufs in 24 Stunden, folglich das 5,3fache Volumen des Wassers. Die Temperatur dieser Mineralquelle übersteigt die mittlere des Orts um ungefähr 4° R.; sie wird daher aus einer Tiefe kommen, wo ein hydrostatischer Druck von ungefähr 12 Atmosphären stattfindet ¹⁾). Angenommen, dafs in dieser Tiefe das Kohlensäuregas zum Wasser tritt, so würde dieses daselbst mehr als das 12fache Volumen von jenem, also mehr als das Doppelte von dem, welches es wirklich hält, und auf der Oberfläche von sich giebt, absorbiren können. Wenn daher noch nicht einmal in der halben Tiefe des Wasserlaufs dieser Quelle, in 170 Fufs Tiefe unter der Erdoberfläche, das Kohlensäuregas in den Wasserlauf treten sollte, so würde der dort stattfindende hydrostatische Druck immer noch hinreichen, das 5,3fache Volumen Gas aufzunehmen.

Eine andere Mineralquelle, aus der ebenfalls eine sehr bedeutende Gasausströmung stattfindet, und in welcher, wegen der eigenthümlichen Construction der Quellenfassung, die relativen Quantitäten Gas und Wasser, welche sie liefert, mit noch gröfserer Genauigkeit gemessen werden konnten, giebt in 24 Stunden 3063 Kubikfufs Gas und 3645 Kubikfufs Wasser. Da das Wasser das 1,55fache Volumen freies und halbgebundenes Kohlensäuregas enthält, so beträgt die ganze Menge des absorbirten und des entwickelten Gases 8713 Kubikfufs in 24 Stunden, folglich das 2,4fache Volumen des Wassers. Die Temperatur dieser Mineralquelle übersteigt ebenfalls die mittlere der dortigen süfsen Quellen um ungefähr 4° R., sie wird daher ebenfalls aus einer Tiefe kommen, wo ein hydrostatischer Druck von ungefähr 12 Atmo-

1) Ich nehme hier stillschweigend an, und werde an einem andern Orte es zu beweisen mich bemühen, dafs die erhöhte Temperatur der Mineralquellen gegen die der süfsen Quellen hauptsächlich von der Tiefe des Hervorkommens herrühre.

sphären stattfindet. Tritt in dieser Tiefe das Kohlensäuregas zum Wasser, so könnte dieses sogar das 12fache Volumen von jenem, also mehr als das 4fache von dem, welches es wirklich hält und auf der Oberfläche von sich giebt, absorbiren können u. s. w.

Es ist mir nicht bekannt, daß irgendwo ähnliche Messungen, die natürlich eine luftdichte Fassung der Quelle voraussetzen, angestellt worden sind. Trommsdorff ¹⁾ hat zwar die Menge des Kohlensäuregases, welches sich aus der Gasquelle zu *Kaiser-Franzensbad* entwickelt, und eben so die des Wassers der dortigen vier Mineralquellen und der freien und halbgebundenen Kohlensäure desselben gemessen; nicht aber konnte er das Gas des frei aus den Quellen ausströmenden Kohlensäuregases messen. Die Menge des Gases aus der Gasquelle, 5760 Wiener Kubikfuß in 24 Stunden, scheint sehr groß; vergleicht man sie aber mit der Quantität Wasser, welche die vier Mineralquellen geben, 25926 Kubikfuß in 24 Stunden, so ist wohl anzunehmen, daß diese Wassermenge nicht nur das Gas, welches sie enthält und von sich giebt, sondern auch das Gas der Gasquelle in der Tiefe absorbirt halten könne, und daß letzteres näher an der Oberfläche, bei vermindertem Wasserdruck, sich von dem Wasser losreißen und durch einen Seitenkanal als Gasquelle zum Vorschein kommen werde.

Auf solche Weise dürften wohl die meisten Kohlensäuregas-Quellen, d. h. Gasentwicklungen ohne Wasserabfluß, entstehen. Die vulkanische *Eifel* und die Umgebungen des *Laacher Sees* zeigen viele solcher Gasquellen; eine davon, den sogenannten *Brudeldreis* bei *Birresborn* habe ich schon vor 10 Jahren gemeinschaftlich mit Prof. Nöggerath beschrieben ²⁾. Manchmal kom-

1) Kaiserfranzensbad bei Eger, von Osann und Trommsdorff. 2. Aufl. S. 134.

1) Schweigger's Journ. für Chemie und Physik, Bd. XLIII S. 28 u. folg.

men diese Gasquellen aus aufgeschwemmtem Erdreich oder aus der Dammerde zum Vorschein, und man erkennt ihr Daseyn nur an der unterdrückten Vegetation oder an erstickten kleinen Thieren an diesen Stellen. Man hört kein Zischen, und riecht die Kohlensäure nur, wenn man das Gesicht ganz auf die Erde neigt. An anderen Stellen kommen diese Gasquellen mit zischendem Geräusch aus Spalten und Klüften des Gebirges. Wieder an anderen Stellen kommen diese Gasströme aus kleinen Vertiefungen, die mit atmosphärischem Wasser angefüllt sind, und wo die Gasquelle ganz die Erscheinung einer Mineralquelle mit reichlicher Gasentwicklung darbietet. Leicht lassen sich indess solche Gasquellen von Mineralquellen unterscheiden, indem es nämlich jenen an Wasserabfluss gebricht, und in dem Boden kein oder doch nur sehr wenig Eisenoxyd-Absatz sich findet, während in den meisten Fällen die an Kohlensäuregas reichen Mineralquellen auch reich an Eisen sind.

Dafs in der That diese Gasquellen nichts anderes sind, als Gasentwicklungen aus tiefer in der Erde fließenden Mineralquellen, läßt sich durch mehrere Erscheinungen bewahrheiten. In der Regel finden sie sich in einem höheren, und oft viel höheren, Niveau, als die vorbeifließenden Bäche, während die Mineralquellen gewöhnlich in demselben Niveau oder doch nur sehr wenig höher als die Bäche entspringen. Aus hydrostatischen Gesetzen ist es leicht begreiflich, dafs in Thälern, in der Nähe von Bächen, Quellen nicht wohl in einem bedeutend über dieselben erhöhten Niveau entspringen können, wenn nicht das Bachbette, so wie der Quellen-Ursprung Felsengrund haben. Es ist auch bekannt, dafs es große Schwierigkeiten hat, den Quellenspiegel mehrere Fuß über den Bachspiegel in die Höhe zu treiben, um jenen vor Ueberschwemmungen zu sichern. Steigt nun eine an Kohlensäuregas reiche Mineralquelle schräg aus der Tiefe herauf, und mündet sich dieser Kanal an

der tiefsten Stelle des Thales im Bachbette, so kann es geschehen, daß dort gar kein Gas oder doch nur wenig zum Vorschein kommt, wenn dasselbe schon an einer früheren Stelle des Quellenlaufes durch lockeres Erdreich einen Ausweg gefunden hat. So kenne ich eine an Wasser außerordentlich ergiebige Mineralquelle, die einige Fufs über dem Bach aus dem Abhange des Ufers abfließt, ohne daß die mindeste Gasentwicklung bemerkbar wird. Die bedeutende Ocherablagerung dieser Quelle läßt aber auf einen reichen Gasgehalt schließen, und dieser ist gar nicht fern zu suchen; denn einige hundert Fufs oberhalb des Quellenausflusses, in einem etwa 20 Fufs höheren Niveau, ist eine Grube so mit Kohlensäuregas erfüllt, daß man sich nur mit Lebensgefahr hineinwagen kann. Wahrscheinlich ist eben so der vorhin erwähnte sogenannte *Brudeldreis* nichts anderes als eine Gasentwicklung aus der Quellenader, welcher der ganz in der Nähe des *Kyllflusses* und in fast gleichem Niveau mit ihm entspringende *Birresborner* Mineralquelle ihren Ursprung verdankt, und eben so mag die sogenannte Dunsthöhle zu *Pyrmont* (die Gasentwicklung aus dem bunten Sandstein, welche 66 Fufs über dem Spiegel der Trinkquelle liegt) bloß ein Gasausfluß aus den Quellenadern dieser Mineralquellen seyn.

Daß solche Gasentwicklungen aus Quellenadern, die ihren Wasserausfluß an tieferen Stellen haben, am leichtesten an höher gelegenen Punkten zum Vorschein kommen werden, wenn die Quellmündung im Bache oder Flusse selbst sich befindet und das Wasser dort sehr tief ist, ist leicht einzusehen. Denn da alle in der vulkanischen *Eifel* und in den Umgebungen des *Laacher Sees* bis jetzt von mir beobachteten Kohlensäuregas-Entwicklungen aus Mineralquellen nur eine schwache Spannung zeigen, so daß sie höchstens den Druck einer 3 bis 5 Zoll hohen Wassersäule überwinden können, so kann natürlich eine in einem Bache oder Flusse von mehreren

Fufs Tiefe sich mündende Mineralquelle dort gar keine Gasentwicklung zeigen, sondern das auf ihrem Laufe aus dem Wasser sich entwickelnde Gas wird da, wo es keinen Wasserdruck zu überwinden hat, also gerade auf trocknen Anhöhen durch Spalten und Risse des Gesteins oder durch lockeren Erdboden hervordringen, und so das Ansehen geben, als sey diese Gasentwicklung eine von Wasserquellen ganz unabhängige Gasquelle.

Bei Beobachtung des senkrechten Aufsteigens der Gasblasen aus Mineralquellen wird man so leicht versucht zur Annahme, dafs es aus der gröfsten Tiefe, wo die Kohlensäure-Entwicklung ihren Ursprung nimmt, in senkrechter Richtung erfolge. Dafs dieses nur selten der Fall seyn könne, lehrt schon der innere Bau der Erde, so weit er aus entblöfsten Felswänden, so wie durch den Bergbau bekannt ist; denn die Gebirgsspalten, welche die Kanäle für die Quellen bilden, ziehen sich in den verschiedensten Richtungen aus der Tiefe auf die Oberfläche. Bei Fassung mehrerer Mineralquellen mit reicher Gasentwicklung, wobei ich gegenwärtig war, zum Theil selbst die Arbeiten leitete, habe ich mehrere Male bemerkt, wie sich die Wasser- und Gaskanäle oft sehr weit in fast horizontaler oder doch in nur wenig geneigter Richtung fortziehen. Eine sehr reiche Gasentwicklung, die sich beim Ausgraben des Terrains verlor, fand sich erst in einer horizontalen Entfernung von 20 und einigen Fufs wieder. An einer anderen Stelle bemerkte man in einer kleinen Vertiefung Kohlensäure-Entwicklung, und zwar mit Blasenwerfen, wenn jene mit Regenwasser gefüllt war, sonst bei trockner Jahreszeit nur durch den Geruch und an erstickten in der Vertiefung liegenden kleinen Thieren erkennbar. Man teufte an dieser Stelle einen kleinen Schacht ab, und kam 9 Fufs tief auf eine sehr wasser- und gasreiche Mineralquelle. Da das Wasser mit seiner Gasentwicklung nicht senkrecht aus der Tiefe heraufstieg, sondern seitwärts aus einer Spalte im

Trafs hervorkam, so verfolgte man die Quellenader eine Strecke weit; allein sie behielt in einer Länge von 10 bis 12 Fufs ihre fast horizontale Richtung bei, und wahrscheinlich mag sie sich in dieser Richtung noch weit fortgezogen haben. Hier hätte man leicht versucht werden können, die Gasentwicklung in jener kleinen Vertiefung für eine Gasquelle zu halten, wenn nicht das Nachgraben gezeigt hätte, daß sie eine Gasexhalation aus einer darunter befindlichen Mineralquelle ist.

Wenn es nun nach allem diesen sehr wahrscheinlich ist, daß die meisten Kohlensäuregas-Entwicklungen aus der Erde nichts anderes, als Exhalationen aus tiefer fließenden Mineralquellen sind, so will ich doch nicht damit die Behauptung aufstellen, daß es gar keine Gasquellen geben könne. In einem durch frühere vulkanische Eruptionen, durch Hebungen halbgeschmolzener Massen, und nachherige Erkaltung und Erhärtung derselben zerklüfteten Gebirge, ist es nicht wohl denkbar, daß Spalten, die sich von der Erdoberfläche bis zu größerer oder geringerer Tiefe hinabziehen, bloß mit Gas gefüllt seyn und sonach Gaskanäle bilden können, sondern sie werden stets mit Wasser erfüllt seyn, welches das Kohlensäuregas in der Tiefe unter starkem hydrostatischen Druck absorbirt und auf der Oberfläche größtentheils wieder von sich giebt. Dagegen in einem nicht so sehr zerklüfteten Gebirge mögen sich wohl die Gaskanäle, die in der Tiefe doch nothwendig gedacht werden müssen, sehr nahe an die Oberfläche heraufziehen und dort in mit Wasser gefüllte weitere Spalten einmünden. Es ist denkbar, daß in dieser geringen Tiefe nur ein Theil des Kohlensäuregases vom Wasser absorbirt wird, der größere dagegen unabsorbirt durch das sperrende Wasser heraustritt und auf der Oberfläche als eigentliche Gasquelle zum Vorschein kommt. Solche Verhältnisse seheinen namentlich zu *Meinberg* in *Lippe- Detmold* statt zu finden. Die dortigen Mineralquellen zeichnen sich näm-

lich durch eine sehr veränderliche Temperatur aus, die während des Jahres zwischen 5° und 11° R. schwankt. Diese Veränderlichkeit läßt mit Bestimmtheit vermuthen, daß die Bildung jener Mineralquellen, d. h. die Absorption des Kohlensäuregases durch das Wasser, sehr nahe der Erdoberfläche erfolgen müsse. Approximativ kann man sogar diese Tiefe angeben. Alle Quellen nämlich, die aus einer geringeren Tiefe kommen, als die ist, bis zu welcher die Einflüsse der äußeren Lufttemperatur dringen, werden natürlich keine constante Temperatur zeigen. Die Tiefe aber, in welcher die Erdtemperatur anfängt constant zu werden, kann nicht an allen Orten unserer Erde dieselbe seyn, indem sie offenbar eine Function des Umfangs der thermometrischen Variationen der Lufttemperatur des Orts ist, je geringer dieser Umfang, desto kleiner jene Tiefe, und umgekehrt. Daher wird diese Tiefe in niederen Breiten größer als in höheren seyn. So fand auch Boussingault ¹⁾, daß diese Tiefe in den Tropen zwischen dem 11ten Grade nördlicher und dem 5ten südlicher Breite kaum 1 Fufs beträgt, indem Thermometer, in ein 8 bis 12 Zoll tiefes Loch unter Bedachung versenkt, entweder gar nicht, oder doch nur höchstens um einige Zehntheile eines Grades variirten. Arago fand dagegen den Stand eines Thermometers, 25 Fufs unter der Oberfläche von *Paris*, noch nicht constant. D'Aubisson setzt diese Tiefe zwischen 46 und 61 F., und Kupffer 77 Fufs unter der Erdoberfläche. In dem nördlichen *Sibirien* scheint sich diese Tiefe bis über 90 Fufs herabzuziehen ²⁾, indem selbst noch in dieser Tiefe

1) *Annal. de chim. et de phys.* T. LIII p. 225 et suiv.

2) Diese Annalen, Bd. XXVIII S. 631.

Poggendorff's Annal. Bd. XXXII.

das Erdreich gefroren gefunden wurde. Diesen Beobachtungen gemäß dürfte die Tiefe, in welcher das Kohlensäuregas zu *Meinberg* in die Wasserkanäle tritt, ungefähr 50 Fufs unter der Erdoberfläche zu suchen seyn ¹⁾).

Für die Bildung dieser Mineralquellen in so geringer Tiefe spricht auch noch der Umstand, daß das Kohlensäuregas, welches sich aus denselben entwickelt, eine bei weitem grössere Expansivkraft besitzt, als irgend eine Gasexhalation aus den vielen Mineralquellen, die ich in den Umgebungen des *Laacher Sees* untersucht habe. Keine dieser letzteren kann mehr als den Druck einer höchstens 5 Zoll hohen Wassersäule überwinden, während, wie ich fand, das zu *Meinberg* ausströmende Gas den Druck einer 12 Zoll hohen Wassersäule mit Leichtigkeit überwand, und ohne Zweifel den Widerstand einer einige Fufs hohen Wassersäule überwunden haben würde. Diese verhältnißmässig bedeutende Expansivkraft des ausströmenden Gases läßt aber vermuthen, daß es

- 1) Es ist indeß zu bemerken, daß selbst die Temperatur von Quellen, die constant die mittlere des Orts übertrifft, dennoch während des Jahrs einige Schwankungen zeigen und dem Gange der äußeren Lufttemperatur folgen kann. So ist die aus 12 monatlichen Beobachtungen abgeleitete mittlere Temperatur einer Soole zu *Wert* in *Westphalen* 9°,6743 R., das Maximum im Juli 10°,32, das Minimum im December 9°. Gleichwohl müssen wir annehmen, daß diese Soole aus einer Tiefe kommt, wo schon eine die mittlere Lufttemperatur übersteigende Wärme herrscht; denn diese wird in *Wert* zwischen 7° und 8° R. fallen. Es können also selbst bis dahin Wasser dringen, ohne daß ihre von außen mitgebrachte Temperatur ganz aufgehoben wird. Da aber die mittlere Temperatur der *Meinberger* Mineralquellen ziemlich nahe der mittleren der dortigen süßen Quellen oder der dieser entsprechenden mittleren von *Meinberg* kommt, so können die Wasser dieser Mineralquellen noch nicht dahin gelangen wo die Temperaturzunahme im Innern der Erde anfängt.

von seinem Ursprunge her als Gas ausströmt, ohne vorher von Wasser absorbirt gewesen zu seyn; denn Gas, welches sich aus Wasser, von dem es absorbirt war, in Folge des sich beim Heraufsteigen desselben vermindern- den hydrostatischen Drucks entwickelt, kann natürlich nur eine dem äußeren Luftdrucke gleichkommende oder doch nur sehr wenig denselben übertreffende Expansivkraft haben.

Diejenigen, welche das Emporsteigen der Mineralquellen aus einer Wirkung des Druckes, den das Wasser von dem in dem unterirdischen Laboratorium erzeugten Kohlensäuregas erleidet, erklären, bedenken wohl nicht, dafs damit die Regelmäßigkeit in dem Hervorquellen derselben unvereinbar ist. Ich habe viele an Kohlensäure reiche Mineralquellen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten anhaltend zu beobachten Gelegenheit gehabt, und stets eine ungeweine Regelmäßigkeit in dem Hervorquellen und Abfließen des Wassers und in der Entwicklung des Kohlensäuregases bemerkt. Die letztere erfolgt aus den an Kohlensäure sehr reichen Mineralquellen in ununterbrochenen Strömen, so dafs die ganze Quelle zu kochen scheint; aus den hingegen minder reichen steigt das Gas entweder in zahllosen kleinen Bläschen, oder periodisch in einzelnen gröfseren Blasen auf. Uebrigens richtet sich die Gröfse der Blasen auch nach der Beschaffenheit des Terrains; kommt die Quelle aus gröfseren Spalten des Gebirges, so sind die Blasen grofs, kommt sie aus vielen kleinen Oeffnungen einer porösen Steinart, z. B. aus Trafs, so sind sie oft nicht gröfser als die Gasperlen aus Champagner Wein. Unter mehreren Beispielen einer merkwürdigen Regelmäßigkeit in der Entwicklung des Kohlensäuregases führe ich nur folgendes an. Vor 8 Jahren sah ich in einer Mineralquelle neben vielen kleinen ununterbrochen aufsteigenden Gasbläschen einzelne gröfsere sich erheben, die in regelmässigen Zeit-

intervallen von $1\frac{1}{2}$ Secunde ohne Unterbrechung auf einander folgten, und 7 Jahre später, als ich diese Quelle wieder besuchte, zeigte sich genau noch dasselbe Verhalten. Erfolgte das Aufsteigen des Wassers nach Art eines Heronsballes, so müßte Wasser und Gas mit einander abwechseln, wie diess beim stoßweisen Hervortreten des *Sprudels* und des *Neubrunnens* zu *Carlsbad* ¹⁾, so wie in einem viel großartigeren Styl beim *Geyser* und *Strok* auf *Island* ²⁾ der Fall ist. Bei allen Mineralquellen hingegen, wo ein periodisches Aufsteigen des Kohlensäuregases stattfindet, zeigt sich durchaus keine Unregelmäßigkeit in dem Hervorquellen des Wassers. Dafs die Art der Kohlensäure-Entwicklung abhängt von der verschiedenen Richtung und von ungleicher Weite der Quellenadern, von kleinen Höhlungen an Stellen, wo dieselben wenig geneigt sich fortziehen, und in welchen locale Anhäufungen von Gas sich bilden und von anderen formellen Verschiedenheiten in dem unterirdischen Wasserlaufe, ist leicht einzusehen. Dafs hier und da sogar größere Klüfte mit comprimirtem Kohlensäuregas und auch mit anderen Gasarten angefüllt im Innern der Erde vorhanden sind, zeigen mehrere, beim Bohren nach Mineralquellen und artesischen Brunnen, beobachtete Erscheinungen ³⁾.

Wenn demnach das Hervorspringen der Quellen, mit sehr wenigen Ausnahmen, eine Wirkung des hydrostatischen Drucks höher gelegener Wasserbehälter ist, so muß man noch die Frage aufwerfen, wie in einen geschlossenen unterirdischen Wasserlauf ein Gas treten könne,

1) Gilb. Annal. Bd. LXXIV S. 126.

2) Ebend. Bd. XLIII S. 50.

3) S. unter anderen Brandes, die Mineralquellen etc. zu Meining. Lemgo 1832. S. 231 u. fg. — Die artesischen Brunnen in und um Wien, von v. Jacquin und Partsch. Wien 1831. — Héricart de Thury in *Ann. de chim. et de phys.* T. LIII p. 208.

ohne daß jener gestört werde. Denn es lassen sich kaum Prozesse im Innern der Erde denken, in denen durch bloßes Zusammentreffen des Wassers mit Steinmassen, etwa mit kohlensaurem Kalk, Kohlensäure aufgenommen werden könnte, ohne daß dieselbe vorher ausgeschieden worden wäre. Selbst wenn wir dem Obigen entgegen annehmen wollten, daß die von den eindringenden Meteorwassern aufgenommene Kohlensäure stets im liquiden Zustande vorhanden wäre, so würden dieselben doch bald nach Aufnahme dieses Liquidums bis zum Orte seiner Entstehung gelangen. Da aber der verhältnißmäßig geringe Gehalt der Sauerlinge an fixen Bestandtheilen keine Spuren energischer Prozesse in und mit dem Wasser zeigt, so dürften dieselben durch die Gegenwart von Wasser eher gestört als befördert werden.

Um zu erfahren, welchen Einfluß das Hinzutreten eines Gases zu einem hydrostatischen Wasserlaufe habe, verband ich zwei 4 Fuß lange Glasröhren mit einer messingenen Röhre, so daß sie einen umgekehrten Heber bildeten. An der messingenen Röhre befand sich, unter einem rechten Winkel abstehend, ein zweites Rohr mit einem Hahn von enger Oeffnung des Hahnschlüssels. In dieses Seitenrohr wurde eine kleine Tubulatretorte gekittet. War der Hahn verschlossen, so bildete der Apparat eine ununterbrochene Wasserleitung. Selbst, wenn er ungeschlossen war, lief Wasser oben aus dem kürzeren Schenkel so lange ununterbrochen aus, als in den längeren eingegossen wurde; denn die in der Retorte eingeschlossene Luft wurde bloß etwas comprimirt, ohne daß aber wegen der engen Oeffnung des Hahnschlüssels Wasser ein- und austreten konnte. Wurde endlich in der Retorte Kohlensäuregas entwickelt und der Hahn geöffnet, so trat das Gas in den Wasserlauf in einzelnen Blasen, stieg in den kürzeren Schenkel herauf und entwickelte sich aus dem Wasser eines oben angebrachten kleinen Bassins. Während dieser Kohlensäure-Entwicklung in diesem, das

treue Bild einer Mineralquelle darstellenden Apparate lief das Wasser ohne Unterbrechung aus dem Bassin ab, und nur in dem längeren Schenkel oscillirte die Wassersäule wenig. Wenn nun unter diesen Umständen, wo jede in den Wasserlauf eintretende Gasblase die Röhre ganz ausfüllte, und beim Heraustreten eine augenblickliche Unterbrechung des Wasserlaufes herbeiführen mußte, dennoch keine merkliche Störung in dem Abflusse wahrzunehmen war, so kann dieß in der Natur um so weniger geschehen, da hier wohl selten die Gasblasen die Wasserkanäle ganz ausfüllen. Wenn endlich das Zutreten des Kohlensäuregases zum Wasserlaufe in der Tiefe unter starkem hydrostatischen Drucke erfolgt, so wird das Gas sogleich absorbirt, kann daher noch weniger störend auf denselben einwirken, und kommt erst wieder nach und nach zum Vorschein, wenn der Wasserdruck in den höheren Punkten der Leitung abnimmt.

Wir brauchen demnach, um die Absorption des Kohlensäuregases durch das Wasser und die nachherige Auflösung der Bestandtheile in diesem Kohlensäure-Wasser, mit einem Worte, um die Bildung einer gasreichen Mineralquelle zu erklären, bloß anzunehmen, daß enge Kanäle im Innern der Erde, aus der Tiefe kommend, in weitere sich münden, jene Kohlensäuregas zuführen, und diese mit Wasser erfüllt sind.

XXVI. *Betrachtungen über die heißen Quellen der Cordilleren; von Hrn. Boussingault.*

(*Ann. de chim. et de phys. T. LII p. 181.*)

Die Geologen sind noch getheilter Meinung über die Ursache der Wärme heißer Quellen. Die einen leiten diese Wärme von der hohen Temperatur des Innern der Erde ab, die anderen dagegen von einer localen chemi-