

Separatabdruck aus der Jubiläums-Festausgabe der  
„Internationalen Mineralquellen-Zeitung“ in Wien XX/1. vom 10. Juli 1909.

---

# Ueber Abstimmungserscheinungen, besonders an Mineralquellen.

Von k. k. Quelleninspektor Dr. Josef Knett.

## Ueber Abstimmungserscheinungen, besonders an Mineralquellen.

Von k. k. Quelleninspektor Dr. Josef K n e t t.

Die meisten Flüssigkeitsmassen der Erdkruste sowohl, wie jene an der Erdoberfläche, stehen unter sich, beziehungsweise auf eine gewisse Weite hin zu einander in einem mehr oder weniger ausgeprägten Abhängigkeitsverhältnisse, das in seinem scheinbaren Ausgleichs- oder Gleichgewichtszustande uns etwas Selbstverständliches dünkt und deshalb weiter keiner besonderen Betrachtung unterzogen wird. Doch nicht immer sind es die Gesetze der Hydraulik allein, welche für eine Reihe von Naturvorgängen in Betracht kommen, welche hier unter „Abstimmungserscheinungen“ verstanden werden, einer Bezeichnung, die ich seit langem auf konkrete Fälle anzuwenden gewohnt bin, ohne dass es mir bisher gelingen wollte, sie in eine befriedigende generelle Definition zu kleiden, welche auf alle hieher gehörigen und möglichen Erscheinungen Anwendung finden könnte. In der Mathematik bezeichnet man die Abhängigkeit zweier oder mehrerer Grössen untereinander als Funktionen.

Es wird uns gelingen, ein Haufwerk von Schotter durch Auflegen von Stein auf Stein bedeutend zu überhöhen und steile Böschungswinkel zu erzielen, weil gewisse Kräfte (Reibung etc.) diese Verzugerscheinung eine Zeit lang zulassen; der nächste Regen genügt vielleicht schon zu zeigen, dass die Steinhalde ihrer definitiven Lagerung nach eben nicht „abgestimmt“ war, die Teile kommen ins Rollen, die ganze Anhäufung nimmt wieder den ihr eigenen Böschungswinkel und wegen unserer Materialvermehrung eine grössere Basis an. Wenn bei Strassen- oder Bahnbauten der Fuss einer Berglehne angeschnitten und die künstliche Steilböschung nicht entsprechend verkleidet wird, darf es nicht wundern, wenn sich früher oder später Rutschungen einstellen. Auch das durch das Rauben der Zimmerung unterirdischer Strecken hervorgerufene Zubruchegehen des Hangenden bis zur oberflächlichen Pingebildung ist eine künstlich verursachte Abstimmung. So bietet auch jedes Erosionstal, seiner Tiefe, Weite, Ausfüllung und Begrenzung nach eine Menge Probleme über Abstimmungserscheinungen. Es fällt niemandem ein, in dem Böschungswinkel eines steilen Gehänges oder irgend einer Berglehne etwas besonderes zu finden; erst ein Felssturz oder eine Rutschung gemahnt daran, dass die Natur ihre Arbeit der Massenverteilung noch nicht abgeschlossen hat, dass diese oder jene Stelle hinsichtlich ihrer endgiltigen Gestaltung und Lagerung „noch in Abstimmung begriffen ist.“

Im weitesten Sinne gehören nicht bloss die nivelierende Tätigkeit der Atmosphäriken, sondern auch alle Faltungs- und Senkungsvorgänge, wie überhaupt

der ganze Gebirgsbau der Erde und viele kosmische Vorgänge zu den von mir unter Abstimmungserscheinungen zusammengefassten Uebergangsstadien von einem Gleichgewichtszustand in den anderen.

Die Lage und Korngrösse mechanischer Absätze in Wasserläufen (Flussand, Goldseifen, Quellocker u. s. w.) sind abgestimmt nach ihrem Gewichte und der lebendigen Kraft (Masse und Geschwindigkeit) des strömenden Wassers. Vergrössern wir z. B. durch eine Spannungsverminderung die durchfliessende Wassermenge (Geschwindigkeit) in einer Mineralquellenader, so wird der feinste Anteil des sonst ruhig gelagerten Ockerschlammes mitgeführt, die Quelle läuft trüb bis die Menge und Korngrösse den neuen Verhältnissen wieder angepasst ist. Starker Wasserdurchzug vermag eine Art Quellerosion in Gang zu bringen, so wie das Hochwasser eines Flusses die Ablagerungen aus dem Gerinne hinausfegt und die anstehende Sole mitunter von neuem verritzt. Ob ein Fluss oder eine Mineralquelle Sedimente absetzt und das Durchflussprofil verengt oder aber erweitert bzw. noch erodiert, hängt vornehmlich von den erwähnten Faktoren ab; der eine Vorgang schlägt vielfach in das Gegenteil um, so wie auch die Herausmodellierung der trockenen Erdoberfläche durch Besonnung und Frost zwar immer im Gange ist, zeitweise aber dem Wirkungsgrade nach — quasi intermittierend — besonders auffallend in Erscheinung tritt.

Die sog. Zeit- oder Hungerbrunnen (Stunden-, Monats- und Jahresquellen) sind Intermittenzerscheinungen bzw. Aeusserungen ausserordentlich wechselnder Niederschläge, nach welchen sich der betreffende Quellenspiegel jedesmal erst auf das Abflussniveau einstellen muss.

Ebbe und Flut des Meeres und des Grundwassers stellen periodische Abstimmungserscheinungen dar; es kommt eigentlich niemals zu einem endgiltigen Beharrungszustande. Auch an manchen Mineral- und Gasquellen lassen sich zweifellos kosmische Einflüsse feststellen.

Barometrische Abstimmungserscheinungen. Der anscheinend vollends horizontale Spiegel grosser Wassermassen (z. B. eines Landsees) besteht in Wirklichkeit nicht; die Wasserstandshöhe an dem einen und dem anderen Ende des Sees ist vielmehr auf den an diesen Stellen wirkenden verschiedenen Luftdruck abgestimmt, die barometrische Differenz spiegelt sich in dem nicht völlig gleich hohen Wasserstände wieder (Seichesphänomen). Ebenso sind die gegensinnigen barometrischen Oscillationen des Grundwassers, die Ergiebigkeits- und Spiegelschwankungen von fliessenden oder stagnie-

renden Mineralquellen (Verminderung bei höherem Luftdruck und umgekehrt), die wechselnden Dampf-ausströmungen an Vulkanen (Stromboliphänomen), von Erdgasen (Kohlenwasserstoffen), Mofetten (Kohlensäure) und Fumarolen (Wasserdampf), das Expandieren bzw. verstärkte Auftreten von Grubengasen im Kohlen- und Salzgebirge (Schlagwetterexplosionen bei plötzlich fallendem Luftdruck) durchwegs barometrische Abstimmungserscheinungen. — Mineralquellen, deren mechanisch-physiographischer Charakter dem Grundwasser ähnlich ist, zeigen analog den Seiches nur die dem barometrischen Druck bzw. Gradienten entsprechenden Schwankungen; bei stärkerer Gasführung kommt noch die erhöhte Wirkung auf die Quellengase in Betracht, in welcher Hinsicht dann die Art und das Mass dieser Ausseerung, die barometrische Dependenz sich jener für eine typische Tiefenquelle nähert, welche wir ja im allgemeinen als ein einfaches tiefreichendes Rohr oder winziges Ventil in der Erdkruste auffassen können, das am einen Ende auf die Spannkraft der Gase im Erdinnern und an der ausgehenden Mündung auf die erdoberflächlichen Druckkräfte abgestimmt ist. Der zweite Schenkel des kommunizierenden Gefässes fehlt. Am besten führt uns jenes Instrument, mit welchem wir die Luftdruck-Schwankungen zu messen gewohnt sind, die beständigen barometrischen Abstimmungserscheinungen vor Augen.

Exakte Beobachtungen haben ergeben, dass barometrischer Tiefstand bei gleichzeitigem starken Winde häufig eine starke mikroseismische Bodenunruhe im Gefolge hat, ja manche Erdbeben bzw. Bodenspannungen werden durch den barometrischen Gradienten direkt ausgelöst.

Der Schmelzpunkt mancher fester Körper, namentlich aber der Siedepunkt von Flüssigkeiten und die Spannkraft der Gase ist auf den äusseren Druck abgestimmt. [Ebenso bekannt ist die Abhängigkeit von Salzlösungen und die Absorptionsfähigkeit von Gasen vom Druck und der Temperatur einer Flüssigkeit. Auch der Emanationsgehalt (Radioaktivität) ist innerhalb gewisser Mineralquellengebiete auf die Wassertemperatur gegensinnig abgestimmt. Viele physikalisch-chemische Vorgänge in Schmelzen, Lösungen, bei der Dissoziation usw. sind Abstimmungserscheinungen (chemisches Gleichgewicht). Wir kommen auf die Beziehungen des Gasgehaltes in Mineralwässern zur Quellen-Spannung und -Temperatur, sowie auf andere thermisch-chemischen Abstimmungserscheinungen bei Mineralquellen noch zurück.]

Dass auch der menschliche und tierische Organismus auf den Luftdruck (eine Atmosphäre) abgestimmt ist, mag hier noch erwähnt werden, doch können bekanntlich gewisse Druckschwankungen nach oben und unten ertragen werden.

Die Extreme dagegen führen zu Störungen, Auftreten von Blut aus Nase und Ohren bei Luftschiffen i. e. „Bergkrankheit“ infolge zu geringen Luftdruckes; „Caissonkrankheit“ bei Wasserbauten infolge zu starken äusseren Druckes; ähnliche Erscheinungen wie Unbehagen etc. bei Besuchern tiefer Bergwerke, doch dürften hiebei ausser dem vertikalen Druckgradienten noch andere Momente mitspielen.

Wir ersehen aus den bisher Gesagten, dass die barometrischen Abstimmungserscheinungen sowohl unorganische Massen aller Aggregatzustände, wie

auch organisierte Lebewesen betreffen können. So wie der Organismus der Landbewohner auf die Atmosphäre, sind manche Wasserbewohner (Tiefseefische etc.) auf den Wasserdruck abgestimmt; auch in der Pflanzenwelt gibt es Abstimmungsercheinungen (Heliotropismus usw.)

Abstimmung zweier Flüssigkeiten. Wassermassen oder andere Flüssigkeiten, welche mit einander im Kontakt stehen, sind bezüglich ihrer Spiegelhöhen und Zirkulationsverhältnisse auf einander abgestimmt, bzw. bei eintretenden Aenderungen in neuer Abstimmung begriffen. Wir erinnern uns der hydrostatischen Gesetze an dem Schulbeispiel der kommunizierenden Röhren. Senken wir den Spiegel in einem der beiden Schenkel ab, so stellt sich auch in dem anderen Gefäss der Flüssigkeitsspiegel entsprechend tiefer ein; die Zeitspanne, welche zur Abstimmung, also für den Uebergang von dem früheren in den neuen Beharrungszustand notwendig ist, richtet sich nach dem Verbindungsquerschnitte und dem Mass beziehungsweise der Dauer der künstlich bewerkstelligten Absenkung. Je grösser derselbe und je intensiver die Gleichgewichtsstörung, desto verhältnismässig rascher wird die Abstimmung vor sich gehen, nur dauert sie um so länger, je grösser die in das neue Gleichgewicht einzustellende Flüssigkeitsmasse ist. [Ob die Spiegel in kommunizierenden Gefässen gleich hoch stehen, hängt von dem spezifischen Gewichte der beiden Flüssigkeiten ab. In derselben horizontalen Ebene stehen beide Spiegel theoretisch nur bei Verwendung von Flüssigkeiten gleichen spezifischen Gewichtes. Kaltes Salzwasser ist schwerer als gewöhnliches Süsswasser; Thermalwasser oder kaltes gasführendes ist trotz der Mineralisierung spezifisch leichter als das Grundwasser und nimmt demgemäss meist eine grössere Spiegelhöhe als das umgebende Süsswasser an.]\*)

Denken wir uns zwei grosse vollgefüllte, indess mit einander nur durch ein kapillares Rohr verbundene Bottiche und entleeren wir den einen plötzlich durch einen weit dimensionierten Ablass, so wird die Absenkung im zweiten Bottich sehr lange Zeit erfordern; es wird lange dauern, bis sich der Wasserspiegel in beiden Reservoirien wieder auf gleiche — natürlich geringere Höhe eingestellt hat oder, wenn der Ablasshahn offen belassen wurde, bis sich das Wasser in dem gefüllten Bassin auf den neuen Gleichgewichtszustand abgestimmt, d. h. ganz entleert hat. Jeder grosse Flüssigkeitsbehälter, der an einer Stelle einen kleinen Defekt hat, wird diese Erscheinung zeigen. Es sind mir Beispiele bekannt von grundwassererfüllten Tertiärbecken, wo durch alte Beobachtungen sichergestellt ist, dass der Wasserspiegel einstmals viel höher stand als heute und wo man das Sinken desselben auf einen einzigen entlegenen Kohlenbergbau zurückführt; es erscheint mir gar nicht ausgeschlossen, dass eine Jahre- oder Jahrzehnte lange Wasserhaltung aus der Tiefe sich solcher Massen auf den Höhenstand des Grundwasserspiegels eines natürlichen Beckens äussern kann, d. h. dass sich die Standhöhe endlich auch augenfällig abstimmt auf die Differenz zwischen

\*) Vergl. über die Ursachen des Aufsteigens von Mineralquellen auch Knecht: „Statische und dynamische Vorgänge in Mineralquelladern.“ — Int. Mineralqu.-Ztg. Nr. 155, Wien 1907.

der künstlich entnommenen und der hinter diesem Masse verbleibenden Grundwasserneubildung durch meteorisches Niederschlagswasser.

Andererseits sind ähnliche Beobachtungen über sinkende Tendenz des Grundwassers bekannt aus Gebieten, wo höchstens nur vereinzelt Entnahme für Trinkwasserversorgungen stattfindet. Meiner Auffassung nach wird aber das fast allgemein festgestellte Schwinden des Grundwassers auf das allmähliche Tieferwandern der Wasserzone in der Erdkruste überhaupt und auf die fortschreitende auf eine Verkleinerung des Gefällswinkels abzielende Erosion der fließenden Gewässer zurückzuführen sein, wodurch namentlich in den Oberlauf-, weniger schon in den Mittellaufgebieten der Flüsse eine allmähliche, wenn auch erst nach längeren Zeiträumen erkennbare Spiegel-Abstimmung der in Betracht kommenden Gebirgsgrundwasserregionen in Erscheinung treten muss. Dass ein solcher Prozess auf der Erde seit jeher im Gange ist, scheint mir aus geologischen Gründen ausser Zweifel zu stehen, wenn der Beobachtungen auch nicht zu viele sind, die mit Sicherheit auf ein Abstehen ehemals höher gelegener Quellen und eine Grundwassersenkung innerhalb der historischen Zeit schliessen lassen.

An der nordafrikanischen Küste werden heute die Ruinen grosser Städte aus der Römerzeit besucht; man zeigt da die Aquädukte, welche einstmal das Trinkwasser brachten aus Gegenden, die heute völlig trocken liegen. Freilich müsste erst der Beweis erbracht werden, ob nicht gerade diese Wasserleitungen das Schwinden des Grundwassers dortselbst beschleunigt haben, denn es ist bekannt, dass jede Unterfahrung des Grundwasserspiegels (etwa durch Stollenaufschluss) und energische Wasserentnahme auf die Grundwasserstandhöhe gar nicht ohne Einfluss bleiben kann. Eine Absenkung unter das Niveau der Entnahmestelle aber ist aus diesem Grunde allein nicht anzunehmen.

In neuester Zeit hat Professor Lowell in dem Werke „Mars as the abode of life“ die Marskanäle für grossartige Wasserbauarbeiten erklärt. Der Mars sei in seiner Entwicklung älter und weiter vorgeschritten, als die Erde und habe sich, weil er kleiner ist, auch rascher abgekühlt. Alle Planeten seien, ein je höheres Alter sie erreichen, dem Schicksal unterworfen, ihr Wasser zu verlieren; ein Teil werde vom Innern aufgesaugt, der andere gehe durch Verdunstung zum Teil verloren. Auf dem Mars werde das Wasser immer seltener;  $\frac{5}{8}$  der Oberfläche sei bereits zur Wüste geworden, daher die grossen ockergelben Flecken unter dem Teleskop. Ohne Gebirge und Wolkenbildung ist er der brennenden Sonne ausgesetzt, alle Flüsse und Seen sind längst vertrocknet. Die einförmige Oberfläche ist dem Kampf des Marsmenschen um die Existenz, den verzweifelten Anstrengungen, Wasser zu erlangen günstig. Das Verschwinden des Wassers hat sein langem zu tiefen und immer tieferen Grabungen geführt und diese sind allmählich zu Wasserstrassen geworden, die sich mit mathematischer Genauigkeit hunderte von Meilen erstrecken und die Oberfläche des austrocknenden Planeten wie mit einer geometrischen Zeichnung überziehen. Wegen der geringeren Grösse des Planeten und der verminderten Schwerkraft könne der Marsbewohner bei gleicher Kraftmenge wie der Erdbewohner die siebenfache Arbeitsleistung

vollführen; dieser Umstand und der hohe Intellekt, der die Technik auf die höchste Stufe ausgebildet habe, lasse den heldenmütigen, wenn auch auf die Dauer erfolglosen Kampf gegen die unüberwindlichen Naturkräfte und die Grossartigkeit der geleisteten Arbeit begreifen. — Wenn wir von allen phantastischen Dingen absehen und uns nur das ganz plausible Tieferwandern der Hydrosphäre vor Augen halten, dann ergibt die Schilderung des genannten Astronoms geradezu ein klassisches Bild von einem Abstimmungsphänomen, dem auch die jüngeren Planeten unterworfen sein werden.

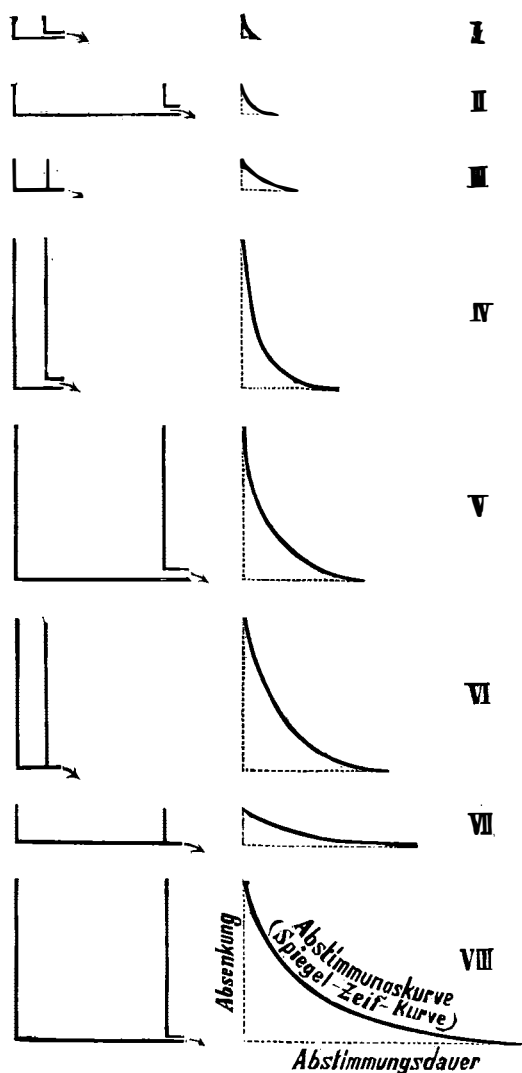
Wir kehren nach dieser Abschweifung wieder zu unseren früheren Erörterungen zurück. Sieht man von der Dauer einer Wasserentnahme ab und zieht nur die abzustimmende Wassermasse in Betracht, dann die Absenkungstiefe und den Querschnitt des Kommunikationsweges, wie in der folgenden Tabelle zusammengestellt ist, so ergibt die einfache Ueberlegung, dass die *Abstimmungsdauer* im Falle I am kürzesten ausfallen muss, im Falle II ist sie etwas länger, bei III noch länger usw.

Abzustimmende Wassermenge	Bewerkstelligte Absenkungstiefe	Grösse des Verbindungsquerschnittes	Abstimmungsdauer	Fall
klein	gering	klein	kurz	III
		gross	fast Null	I
	gross	klein	ziemlich lang	VI
		gross	mässig kurz	IV
gross	gering	klein	lang	VII
		gross	sehr kurz	II
	gross	klein	sehr lang	VIII
		gross	mässig lang	V

Wir ersehen daraus, dass sich schon bei der Annahme von nur zwei verschiedenen Graden für die in Betracht kommenden wichtigsten Argumente acht verschieden lange Abstimmungszeiten ergeben. Bei dem Umstande, dass hier als Intensitätsmasstab für die Einfluss nehmenden Faktoren bloss relative Begriffe in Erwägung gezogen wurden, besteht natürlich die Möglichkeit von Verschiebungen zwischen den hinsichtlich der Abstimmungsdauer nahe einander gelegenen Fällen. In der Figurengruppe 1—8 sind dieselben skizziert und mit der gleichen Zeitaxierung versehen. Aehnlich, nur in einer spiegelbildlichen Kurve\*) geht umgekehrt die Anfüllung eines leeren Raumes von unten aus vor sich; die Füllungsdauer ist dann dieselbe, wenn die wirksame Druckhöhe gleich ist der fallweisen Absen-

\*) Sogenannte Steig- oder Spannungskurve, über deren Charakter und Bedeutung für Mineralquellen in einer Fortsetzung dieser Schrift abgehandelt werden wird.

kungstiefe, und der Einströmungsquerschnitt dem früheren Entleerungsquerschnitt äquivalent ist. Bei grosser künstlicher Wasserabzapfung und Beeinträchtigung von Mineralquellen wird eine solche Uebereinstimmung der Absenkungs- und Füllungsdauer nicht immer vorhanden sein; denn die künstliche Wasserentziehung kann in einem gegebenen Falle eine energische gewesen sein, gefolgt von einer rapiden Abstimmung, während die Auffüllung eines in Mitleidenschaft gezogenen Mineralquellengebietes eventuell nur durch spärlichen Quellennachschub allein eingeholt werden muss.



Figur 1—8.

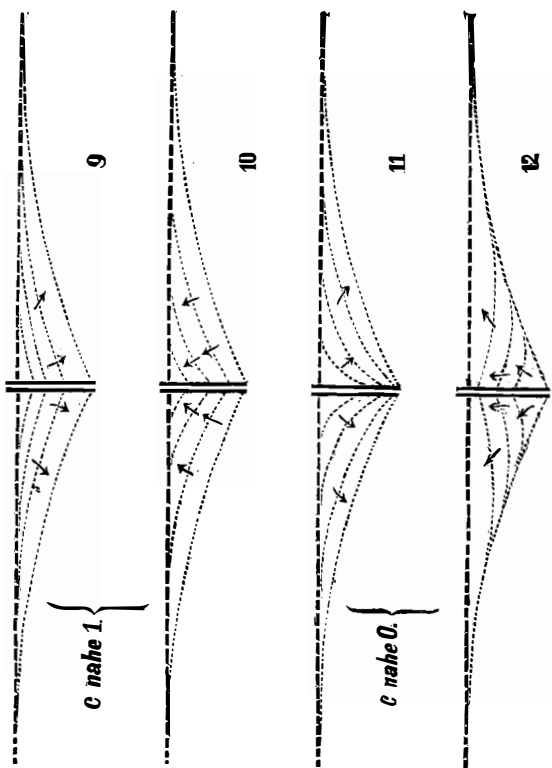
Auf welche Weise eine Störung des Gleichgewichtszustandes einer Mineralquelle und eines Grundwassergebietes überhaupt möglich ist, wird noch zu erörtern sein, dagegen bedarf die Möglichkeit einer direkten unterirdischen Anfahrung und Tangierung einer Mineralquellenader keiner weiteren Erklärung. Zunächst müssen wir uns darüber klar sein, wie die Entwässerung eines Grundwassergebietes erfolgt. Es kann dies entweder durch seitliche Anzapfung von einem Gehänge aus erfolgen oder durch Eindringen und Sumpfung von oben; im ersten Falle senkt sich der Grundwasserspiegel und nimmt gegen die Angriffsstelle eine flachere Kurve an, im zweiten (häufigeren) stimmt sich der Grund-

wasserstand nach Art einer kubischen Parabel (Depressionstrichter) ab. Die meisten Bergbaue, namentlich jene in einem mit Standwasser erfüllten Becken bewegen sich in einem solchen Entwässerungstrichter, doch kann es vorkommen, dass wasser-dichte Zwischenmittel eine Beeinflussung der obersten Grundwasserzone verhindern; dann tritt letzteres oft bis an die Schachtröhre heran (Traufwasser). Die Abstimmungsweite oder der Halbmesser des ausgehenden Depressionstrichters ist eine Funktion der Sumpfungstiefe und Zuflussmenge an der Entnahmestelle, sowie der Zeit. Die Intensität des Zuflusses in Grundwassergebietes hängt, abgesehen von der Druckhöhe (Depressionstiefe), noch von der Querschnittssumme der Wasserwege oder dem Porenvolumen des wassererfüllten Gebirges ab, beziehungsweise von der Möglichkeit freier oder behinderter Zirkulation des in Bewegung befindlichen Wassers. Rechnerisch lässt sich dieser Umstand daher durch das Verhältnis des durch Nachfluss wiederersatzten Quantums zu der einem tiefen Quellablauf oder einer Sumpfungstelle zufließenden, bzw. entnommenen Wassermenge ausdrücken. Dieser „Nachzugskoeffizient“ ist sonach bei sofortigem Ersatz gleich 1, bei sehr spärlichem Nachfluss fast Null.

Denken wir uns das Saugrohr einer Pumpe ins Meer getaucht oder in lose Schottermassen am Strande. Die grösste Pumpenleistung wird nicht imstande sein, einen Entwässerungstrichter zu erzeugen, weil der Nachflusskoeffizient = 1 ist; was wir herauspumpen, wird sofort wieder ersetzt. Weiter weg vom Strande oder im Alluvialgebiete eines grossen Flusses nahe dem Wasserlaufe wird dieser vollständige Ersatz schon nicht mehr eintreten. Es wird zwar langer und kräftiger Wasserhebung bedürfen, um nur eine geringe Absenkung zu bewirken, doch fortgesetzte forcierte Sumpfung wird endlich einen Depressionstrichter von gewisser relativ kleiner Tiefe, aber grosser Weite erzeugen; sein Winkel beträgt nicht mehr 180 Grade, wie beim Meereswasser, sondern ist schon geringer. In Figur 9 ist diese allmähliche Senkung des Grundwasserspiegels durch Kurven und die fortschreitende Abstimmungstendenz durch Pfeile angedeutet. Sobald mit der Abpumpung innegehalten wird, drängen die Grundwasserwogen schnell heran, um den Entwässerungstrichter wieder zu füllen. (Figur 10.) — Andererseits gibt es Grundwasserbrunnen, die mit geringer Pumpenleistung binnen kürzester Zeit leer gebracht werden können und dann einen so spärlichen Wasserzufluss an den Wänden und der Sohle erkennen lassen, dass wir ihn praktisch gleich Null setzen können. Es findet also bloss ein ausserordentlich geringer Nachfluss statt, die Kommunikation ist eine so gehinderte, dass benachbarte Brunnen unbeeinflusst erscheinen. Solche Verhältnisse zeigen häufig Gebirgsgrundwasserbrunnen im zersetzten kristallinen Massengebirge oder im dichten Gestein mit nur schwacher Durchklüftung überhaupt. Die Spiegelkurve ist eine sehr steile, der Depressionstrichter spitz zulaufend; doch ist es ein Irrtum anzunehmen, dass dieses Stadium einem Beharrungszustand entspricht. Die Grundwasserstandskurve in diesem Falle ist bloss zeitlich, bzw. anfänglich eine solche; sie ist keine völlig abgestimmte, denn fortgesetztes, tage- eventuell wochenlanges Aus-

schöpfen des am Grunde sich ansammelnden Wassers bewirkt allmählich das völlige Trockenwerden der Wände und lässt endlich keinen Zweifel darüber aufkommen, dass der Gebirgsgrundwasserstand lokal noch in Abstimmung begriffen ist und benachbarte Brunnenpiegel schliesslich doch eine Absenkung erfahren. Es liegt hier ein dem Beispiel VII oder VIII entsprechender Fall vor, wonach des geringen Verbindungsquerschnittes wegen die Abstimmungsdauer eben eine sehr lange ist. Figur 11 verbildlicht die Vergrösserung des Depressionswinkels und fortschreitende Abstimmung durch Kurven und Pfeile. Ueberlässt man nun das an der Sohle zusitzende Wasser seinem weiteren Schicksal, dann kann man erst nach längerer Zeit in der nächsten Umgebung eine geringe Erhebung des Wasserspiegels feststellen, der oft noch lange nicht seinen normalen Stand angenommen hat, auch wenn das Ansteigen im Brun-

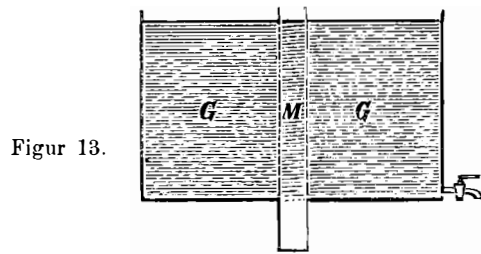
nizierende Gefässe (Figur 13), in dem weiteren „Grundwasser“, in dem engeren Rohr „Mineralwasser“; der Kontakt zwischen beiden ist durch Perforierung des Quellensteigrohres angedeutet. Durch Absenken des Süsswassers wird naturgemäss auch der Höhenstand des Mineralwassers nachteilig beeinflusst, auch dann, wenn — wie dies in der Natur am häufigsten vorkommt — ständiger Mineralquellzufluss von unten und steter oberer Abfluss erfolgt. Mineralquellen, welche aus noch so grosser Erdtiefe emporstiegen und nun die Hydrosphäre durchwandern, d. h. mit dem Grundwasser in irgendeinen mehr oder minder innigen Kontakt kommen, werden sich bezüglich ihrer Spiegelhöhe resp. Ergiebigkeit mit dem umgebenden Süsswasser in ein Abhängigkeitsverhältnis einstellen; das Mineralquellenphänomen ist dann auf das Grundwasser mehr oder weniger abgestimmt. Wir begreifen z. B. ohneweiters das



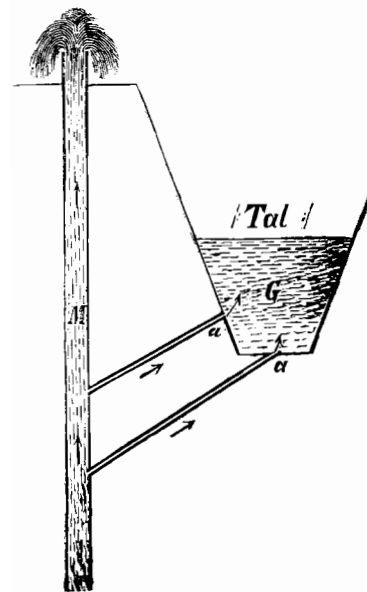
Figur 9—12. Charakter der Abstimmungskurven bei der Entstehung, und Schliessung von Depressionstrichtern.

nenschachte schon beendet ist. Dieses in Figur 12 veranschaulichte voraneilende Wieder-Abstimmen über der Sumpfungstelle lässt sich auch gelegentlicher Mineralquellenarbeiten feststellen, wenn durch lange und tiefe Wasserhaltung ein weites Kluftsystem entleert und durch Tiefen-Aufschluss und Fassung grosse Wassermengen erschlossen worden sind, die in der ersten Zeit des raschen Ansteigens nicht selten mit ihrem Spiegel über das spätere Beharrungsniveau hinauschnellen, sich dann aber in dem Masse, als die Nachfüllung des entwässerten Gebietes fortschreitet, erst endgiltig abstimmen. Zwischen diesen Grenzwerten (1 und 0) des Nachzugskoeffizienten liegen alle in der Praxis vorkommenden Möglichkeiten, woraus die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen bei konkreten Grundwassergewinnungs- oder Quellenschutzfragen von selbst erhellt.

Bedeutung des Grundwassers für Mineralquellen. Denken wir uns zwei kommu-



Figur 13.



Figur 14.

Ansteigen der Ergiebigkeit, bzw. des (stets den Flusswasserspiegel um rund 1 m überhöhenden) Thermenniveaus der auf einer Schotterbank (Badeinsel) in Pistya n inmitten des breiten Waagflusses schachtartig eingefassten Schwefelquellen, sobald der Fluss anschwillt, in welchem Falle eine ganze Anzahl seitlicher, ungenutzter Warmquellenausbrüche unter höheren Wasserdruck gesetzt wird, während bei Niederwasser der Thermenspiegel und deshalb auch die Giebigkeit sinkt; dafür zeigen sich dann auf kleinen Schotterinseln im Waagbette, besonders am linken Ufer beim Dorfe Banka, die frei austretenden Nebenthermen. Kinder waten bis zu jenen Stellen hinaus, legen die Steine beiseite und setzen sich in die improvisierten „Naturbäder“. Ganz analog weist, um nur ein Beispiel noch zu erwähnen, die Thermalquelle von Monfalcone gleichsinnige Undulationen mit der Ebbe und Flut der Adria auf, eine

Beobachtung, welche schon in die Zeit Plinius d. A. zurückdatiert. Solch' konkurrente Schwankungen mit den Gezeiten sind noch von zahlreichen anderen Mineralquellen und unweit vom Meere gelegenen artesischen Brunnen bekannt geworden. Die Bedeutung des Druckes offener oder verdeckter Grundwassermassen ist für eine Unzahl von Mineralquellen sichergestellt. Es handelt sich dabei in den allermeisten Fällen nicht um ein direktes Zusitzen von Süß- oder Meereswasser, was gewöhnlich nur dann möglich ist, wenn der Mineralquellenspiegel unter dem Druckwasserniveau liegt oder künstlich in einem solchen abgesenkten Zustande gehalten wird; es tritt vielmehr eine indirekte Mineralwasservermehrung resp. Erhöhung der Steigfähigkeit ein durch Behinderung oder Verschlüssung von mit dem Hauptquellenphänomen kommunizierenden seitlichen Austrittsstellen.

Aus diesem Grunde zeigen Mineralquellen, wenn sie auch nur seicht gefasst, aber am anstehenden Felsboden auf eine gewisse Weite hin künstlich abgedichtet worden sind, nur geringe Schwankungen mit dem Fluss- oder Talgrundwasserstand. Mineralquellen, welche ziemlich tief gefasst und weiterhin abgedichtet sind, erweisen sich noch unempfindlicher gegen die Schwankungen des Grundwassers in Talalluvionen und anstehendem Gebirge. Mineralquellen dagegen, welche durch Tiefbohrung erschlossen wurden und mittels der Verrohrung gegen den anliegenden Grundwassermantel scharf abgegrenzt, also ohne Seitenkontakt sind, zeigen gar keine Schwankungen mit dem Grundwasserspiegel, weil die Bedingung kommunizierender Röhren bezw. ein „Verbindungsquerschnitt“ nicht vorhanden ist. Erst eine gewaltige Aenderung wie z. B. eine bedeutende Tiefenanzapfung und Absenkung des Gebirgsgrundwassers könnte selbst eine aus grösserer Tiefe in gefasster Bahn emporsteigende Mineralquelle beeinflussen und das Abstimmungsphänomen eventuell erst nach längerer Zeit zulassen, vorausgesetzt, dass Tiefenkontakte, wenn auch nur minimale, vorhanden sind.

Je tiefer sonach eine Mineralquelle gefasst und je weiter sie (gegen schädlichen Ausbruch und wechselnder Belastung mit Grundwasser) künstlich abgedichtet wurde, umso unempfindlicher ist sie gegen die Schwankungen desselben und desto quellsicherer ist ihr Bestand überhaupt. Nur dem Laien mag es mitunter unverständlich oder als Widerspruch erscheinen, wenn der Fachmann bei einem Quellenbesitzer mit diesem oder jenem Mittel versucht, eine Erhöhung der Quellsicherheit zu erzielen oder bei einem unsicheren Quellenbestande gar beide Wege (Tiefassungen sowohl, wie weite Abdichtungen) in Vorschlag bringt. Alle Mineralquellenbestände sind schon von Natur aus auf die einflussnehmenden Faktoren, wie Tiefen- und Seitenaustritte, benachbarte Quellen und Grundwasserstand, kurz auf die Widerstände in der Quellader und ihrer Umgebung abgestimmt; die zu Tage austretenden gefassten Mineralquellen stellen daher meist nur einen aliquoten Teil des ganzen Quellenphänomens dar. Durch Korrektur resp. Eliminierung des einen oder anderen Faktors ist daher eine Möglichkeit gegeben, den Quellenbestand zu verbessern, zu sichern, worauf die natürlichen oder früheren Quellenverhältnisse mit einer Abstimmung auf eine höhere Steigfähigkeit und

Ergiebigkeit reagieren. Solche Quellenarbeiten datieren in manchen Kurorten auf ein Jahrhundert und länger zurück.

Es ist daher unrichtig, wenn Theoretiker es bestreiten, dass man durch Eliminierung bisher ungefasster Tiefen- oder Seitenaustritte ältere, gefasste Mineralquellen dauernd erhöhen könne, nur dürfen solche Arbeiten nicht von falschen Prämissen ausgehen und die in jedem Quellengebiet von Natur aus gesteckten und dem Fachmanne auch stets erkennbaren Grenzen nicht überschritten werden, sonst artet die Arbeit in eine Deichgräberei aus, durch welche ursprünglich vorhandene günstige Zirkulationsbedingungen mitunter dauernd schädlich verändert werden können. Da beim Eindringen in ein Mineralquellengebiet alle angeschnittenen Wasseradern depressionsartig dem Tiefenaufschluss zuströmen (Mineralwasserzuflüsse sowohl, die früher wasserbringend, wie auch solche, die Wasserverlustwege gewesen), bedarf es der ständigen Anwesenheit und Aufmerksamkeit des Quellentechnikers, um alle Erscheinungen im Aufschluss- und Abstimmungsbereiche richtig zu erfassen und die Anordnungen so zu treffen, dass jeder Irrtum in der Charakterisierung der chaosartig von allen Seiten zusitzenden Mineralwässer ausgeschlossen bleibt und die wenigen Erkennungszeichen und Unterscheidungsmerkmale zwischen wassergebenden und wasserableitenden Quellwegen auch in dem gestörten Stadium erfasst und richtig gewürdigt werden können.

Wir können uns die in der früheren Skizze vor Augen geführte Fundamentalbeziehung zwischen Mineralquellen und dem Fluss- oder Gebirgs-Grundwasser auch in anderer Form (Fig. 14) darstellen, welche die häufiger in Betracht kommende Abhängigkeit der Steighöhe und Wasserschüttung vieler Mineralquellen von benachbartem Fluss- und Flussgrundwasserstand versinnbildlicht. Was sonst durch künstliche Abdichtung erreicht wird, die Bedeckung „wilder“ Mineralwasser-Ausbruchstellen (a) geschieht hier durch Süßwasserbelastung; beides läuft hinaus auf eine Vermehrung der Widerstände bezw. Verdichtung der Quellenumgebung. Durch Hinwegnahme dieses Widerstandes, z. B. bei Eliminierung alter Stauwehren, tritt eine neue Abstimmung der Hauptquellen (Rückgang) in Erscheinung; in manchen Kurorten reguliert man mit grossen Schleussenanlagen die Quellenergiebigkeit, nachdem ausgedehnte und kostspielige „Sanierungsarbeiten“ nicht den erwarteten Erfolg zeitigten.

Was die natürlichen Schwankungen des Gebirgsgrundwassers betrifft, so sind diese im Verhältnisse zu jenen in Tälern relativ gering und kommen daher für Mineralquellen im allgemeinen weniger in Betracht; dagegen können die Grundwasserverhältnisse im anstehenden Gebirge bei energischen künstlichen Wasserentziehungen gegebenenfalls eine grosse Rolle spielen. So versiegte die Teplitzer Urquelle 1879 bekanntlich durch einen spontanen Erguss von kaltem Standwasser aus dem Plänerkalk in die Braunkohlengruben bei Dux, zu deren Ersäufung das Nachrückten einer grösseren Kaltwassermasse aus dem Teplitzer Porphyrtief nötig war, auf welche Grundgebirgswasserentleerung sich die Therme durch Spiegelsenkung abstimmte. Das Wiederansteigen derselben nach der völligen Grubeninundation und der wiederholte Ab-



stimmungsvorgang gelegentlicher späterer Wasser-einbrüche ist bekannt.

Die chemische Beschaffenheit des entzogenen Grundwassers (Einbruchwassers) spielt in diesem Falle keine Rolle. Wenn wir uns des eingangs erwähnten Beispiels der verbundenen Bottiche erinnern, wird die dort betrachtete Erscheinung genau so erfolgen, wenn wir auch in dem Wasser des einen Gefässes Kochsalz aufgelöst, also „Mineralwasser“ mit dem Süßwasser in Kontakt hätten. Auch wenn das eine Bassin Petroleum, das andere Wasser enthält, wird beim Ablassen der einen Flüssigkeit auch die andere den Abstimmungsvorgang durchmachen; Bedingung ist nur, dass überhaupt irgendwo eine Tiefenkommunikation vorhanden ist.

Die Annahme, dass eine unterirdische Wasserentziehung belanglos sei, wenn eine ganz andere chemische Zusammensetzung vorliegt, als die einer in Betracht kommenden Mineralquelle, ist eine gänzlich irrige, weil die Art oder Beschaffenheit des entzogenen Wassers für die Abstimmungsmöglichkeit völlig gegenstandslos ist. Ob zwei heterogene Flüssigkeitsmassen sich gegenseitig beeinflussen, hängt einzig und allein davon ab, ob sie zufolge einer tieferen Verbindung auf einander abgestimmt sind; das qualitative Moment tritt dann ganz in den Hintergrund. Wenn ein Schrottkörner enthaltendes Gefäß mit einem Quecksilber gefüllten in Kommunikation steht, werden auch die ersteren nachsinken, wenn das Quecksilber abgelassen wird. [Wir kommen da wieder auf das Barometer zurück, jenes Instrument, in welchem zwei völlig heterogene Substanzen im Gleichgewichte oder richtiger in beständiger Abstimmung stehen. Wird die Mächtigkeit der Atmosphäre (Luftsäule) durch Luftmassenverschiebungen verringert, fällt der Quecksilberspiegel; umgekehrt stimmt er sich auf stärkeren Luftdruck durch einen höheren Stand ab.]

Wenn das in der Tiefe einer Grube einbrechende und zu Sumpfe gehaltene Wasser bereits eine Annäherung an die Beschaffenheit einer benachbarten Mineralquelle oder gar identische Zusammensetzung aufweist, dann würde nicht mehr die Gefahr einer indirekten Beeinflussung, sondern schon förmliche direkte Anzapfung einer Seitenabzweigung oder blinden Mineralquellenader vorliegen.

Chemische Abstimmungsvorgänge. Es ist in den letzten Jahren viel über die qualitative Unbeständigkeit von Mineralquellen geschrieben worden und die Erzielung einer chemischen Konstanz, der sich ja nicht viele Quellen rühmen können, als ein Ideal hingestellt worden. Die Erreichung desselben wird allerdings ein frommer Wunsch bleiben, insofern nicht die Ursachen dieser Erscheinungen gewürdigt werden und eine darauf basierte richtige Quellenbehandlung platzgreift. Es ist hier wohl der Ort, im Interesse des vaterländischen Mineralquellenwesens sowohl, wie des gesamten überhaupt, diese Ursachen der Schwankungen ausführlicher darzulegen, um so mehr, als man in den eben erwähnten Schriften einen Hinweis auf die wahren Ursachen der chemischen Konstanz oder Inkonzanz gänzlich vermisst und gerade diese Erscheinungen nichts anderes sind, als qualitative Abstimmungen.

So wie der Beharrungs- oder Gleichgewichtszustand stets das Endziel eines jeden Abstimmungsvorganges ist, ebenso geht die chemische Konstanz

der Mineralquellen hervor aus einem qualitativen Gleichgewichte, das bei vielen Mineralquellen verhältnismässig leicht erzielt werden kann, sich jedoch nur dann immer schwieriger gestaltet, je mehr die Physiographie einer Mineralquelle sich einem seicht gelegenen stagnierenden, mineralisierten Grundwasser nähert. Bei solchen typischen Auslaugungsquellen (wie z. B. Vitriol- und Bitterbrunnen, welche ihrer Genesis zufolge direkt von atmosphärischen Niederschlägen abhängig erscheinen) ist es deshalb von vornherein vergeblich, eine stets gleichbleibende Zusammensetzung anzustreben. Das sind übrigens auch nicht jene Mineralquellen, die in den betreffenden Schriften gemeint sind, weil sie in der Quellenbranche doch nur eine untergeordnete Rolle spielen gegenüber den für die längere Trinkkur bestimmten Kalt- und Warmquellen alkalisch-muriatisch-salinischen Charakters, also Mineralquellen mit tieferem Bildungsgrad, deren Konstanz in erster Linie angestrebt wird. Damit wenden wir uns wieder dem eigentlichen Gegenstand zu.

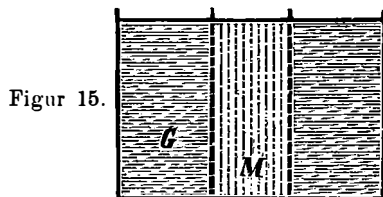
So wie der Höhenstand und die stets auf eine bestimmte Spiegelhöhe bezogene Abflussmenge einer in der Grundwasserzone aufsteigenden Mineralquelle eine Funktion der verschiedenen Widerstandsverhältnisse ist, ebenso ist die chemische Beschaffenheit, vorzüglich der Mineralisierungsgrad einer Mineralquelle auf die umgebenden Grundwasserverhältnisse und die Quellenspannung abgestimmt. Nachdem die Abhängigkeit einer Mineralquelle vom Grundwasser aber insbesondere darin begründet ist, ob und in welchem Masse zwischen beiden Wasserarten seitliche oder tieferliegende Kontakte vorhanden sind, ist auch die Abhängigkeit der chemischen Beschaffenheit vieler Mineralquellen von der Grundwasser- und Quellenspiegelhöhe eine sehr verschiedene. Es gibt da Mineralquellen, die hievon ziemlich unabhängig sind, viele andere wieder, welche auch von diesem Gesichtspunkte aus kolossalen Schwankungen unterworfen sind. Dass die chemische Beschaffenheit bzw. Konzentration einer Mineralquelle von ihrer Spiegelhöhe abhängt, also eine Funktion der Quellenspannung ist und auf diese, wie auf die umgebenden Grundwasserverhältnisse naturgemäss abgestimmt sein muss, ist selbst eingeweihten Kreisen und Quellenbesitzern so gut wie unbekannt, so sehr dieses Abhängigkeitsverhältnis aus der nachfolgenden Erörterung ohne weiters verständlich sein wird.

Denken wir uns wieder die kommunizierenden Gefässe wie in Fig. 15. Das äussere stellt die Grundwasserzone vor, das innere enthält Mineralwasser (etwa Kochsalzlösung) und steht kapillar mit dem Süßwasser in seitlichem Kontakt. Wir nehmen zunächst ruhende Flüssigkeiten an und vermindern nun die Spiegelhöhe des Mineralwassers durch Abhebern desselben (Fig. 16). Dieses Stadium entspricht keinem Beharrungszustand, ein solcher wird sich vielmehr durch Abstimmung erst herausbilden; zunächst tritt die in Fig. 17 skizzierte Tendenz ein, nämlich das Zufließen von Grundwasser, so dass sich schliesslich eine Süßwasserdecke über dem abgesenkten Mineralwasserspiegel einstellen würde. Wird jedoch, wie es in der Natur und Quellenbranche häufig der Fall ist, das von unten ständig zulaufende Mineralwasser in der verminderten Spiegelhöhe dauernd entnommen, sei es durch eine Pumpvor-

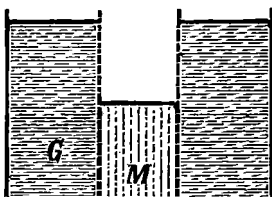


richtung oder mittelst eines tiefegelegenen Ablaufrohres, so wird dadurch der Abstimmungsvorgang gleichsam in Permanenz erhalten und es mischt sich dem ursprünglich konzentrierteren Mineralwasser ständig Süsswasser bei. Er hängt dann nur von lokalen Umständen, wie der Solidität der Fassung und Abdichtung, dann der Stauweite des Mineralwassergebietes ab, ob die Verdünnung im aller-nächsten Bereiche des Quellenursprungs vor sich geht und daher intensiver in Erscheinung tritt, oder ob die Vermischung erst weiter von der Fassung am Kontakte mit dem Süsswasser erfolgt, in welchem Falle die Konzentrations-Abstimmung nur eine längere Zeitspanne erfordert.

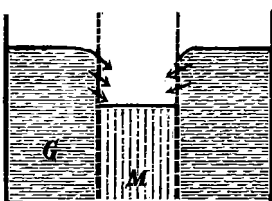
Mineralquellen und zwar namentlich solche, denen nur eine geringe Auftriebs- oder Steigkraft innewohnt, werden deshalb durch wiederholte, z. B. tägliche Tiefenentnahme des Wassers und nachfolgendem Anstauen desselben in eine beständige Quelle n u r h e versetzt, welche nicht bloss quantitativ in der wechselnd entnommenen Wassermenge, sondern auch qualitativ in einer schwankenden chemi-



Figur 15.



Figur 16.

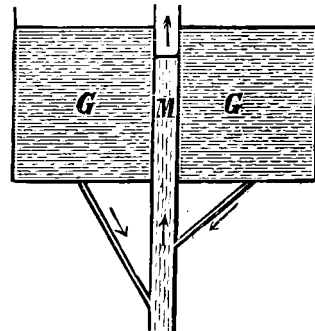


Figur 17.

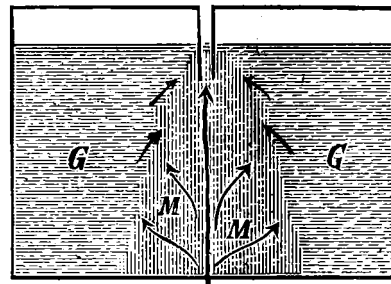
sehen Beschaffenheit zum Ausdruck kommen muss. Die unterirdische Wasserzirkulation wird durch diese total verfehlte, aber vielfach eingebürgerte Art der Quellenbenützung konstant irritiert; bald muss sich das Mineralwasser anstauen und Seitenwege suchen, bald wird der Staubezirk entwässert und Süsswasser zum Herbeiströmen veranlasst. Als eine weitere Folge dieses ewigen Rüttelns an dem Quellenbestande stellen sich dann früher oder später Undichtigkeiten im Quellbereiche und fortschreitende Aussüssung ein, weswegen jeder Quellenbesitzer vor der Anwendung dieser verwerflichen Methode nicht genug gewarnt werden kann.

Nur solche wasserreiche Mineralquellen, welche grosses Auftriebsvermögen, bezw. hohe Spannungsfähigkeit und weiten unterirdischen Staubezirk besitzen, lassen sich ihrer Spiegelhöhe nach innerhalb einer relativ mächtigen Zone verschieden hoch einstellen, ohne sich hiedurch in ihrer Konzentration zu verändern.

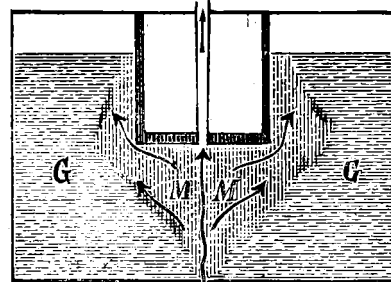
Fig. 18 führt uns vor Augen, dass in seichter Tiefe mit dem Grundwasser kommunizierende Mineralquellen, auch wenn ihre Ausmündung infolge der Fassung gegen das anliegende Süsswasser geschützt ist, bei grösserer Spiegeldifferenz und geringem Auftrieb doch durch Eindringen von Grundwasser verdünnt werden kann. Hält sich die Triebkraft des Mineralwassers mit dem Süsswasserdruck das Gleichgewicht, dann ist eine völlige Scheidung ohne Verdünnung der Mineralquelle möglich, weil die Ver-



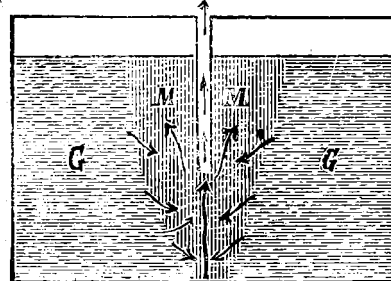
Figur 18.



Figur 19.



Figur 20.



Figur 21.

mischung gerade nur im Grenzbereiche der verschiedenen Wässer stattfindet und zwar im untergeordneten Ausmasse, da eine Wasserbewegung dortselbst fast gar nicht stattfindet. Noch sicherer tritt die Separation ein, wenn die Triebkraft der Mineralquelle gegenüber dem Süsswasserdruck überwiegt, also das Grundwasser durch das seitlich eindringende Mineralwasser ferngehalten wird. Solchermassen halten sich viele Mineralquellen das Süsswasser vom Leibe, verdanken also nur einer natürlichen bezw. künstlich erhaltenen Spannung oder Mündungsdrös-

selung ihre gleichbleibende Konzentration. Tritt dagegen das reichlich aufsteigende Mineralwasser widerstandslos mit geringer Spannung, also in tiefem Niveau oder aus grossem Querschnitt zu Tage, dann vermag die hohe Wassergeschwindigkeit eine dynamische Wirkung auszuüben und durch Ansaugen von Grundwasser eine Verdünnung herbeizuführen. Wir können daraus ermessen, dass die qualitative Abstimmung einer Mineralquelle in Bezug auf die umgebenden Wasser mitunter ein überaus empfindlicher Vorgang ist, bei welchem die Details am Süsswasserkontakte und die topischen Verhältnisse der Mineralquelle, ihrer Hauptader und Abzweigungen, dann Querschnitts- und Auftriebsverhältnisse eine grosse Rolle spielen.

Wie bereits vor mehreren Jahren in dieser Zeitschrift\*) kurz erläutert wurde, liegen zwischen den beiden Extremen: abflussloser Hochspannung und spannungslosem Wasserreichtum (was bei verschiedenen Quellen desselben Gebietes hypsometrisch gar nicht im Einklang zu stehen braucht), viele Uebergangsstadien und auch die Mittelzone der richtigen Quellenspannung, bezogen auf die Druckverhältnisse des Mineral- und Süsswassers, der Dichtigkeit der Umgebung und kommunizierenden Nebenquellen. Durch Ausmittlung und Einhaltung der richtigen Quellenspannung lässt sich die maximale oder eine bestimmte Konzentration dauernd erzielen; eine andere Frage ist freilich die, ob die hiedurch sich mitabstimmende Ergiebigkeit einem anspruchsvollen Quellenbesitzer hinreicht. So gut es nämlich durchführbar ist, eine mit Grundwasser im Kontakt stehende Mineralquelle auf ihre Höchstkonzentration oder einen geringeren Mineralisierungsgrad einzustellen, so selten sind zufällig die Bedingungen gegeben, auch gleichzeitig eine gewünschte Minimalablaufmenge zu erlangen, weil dieselbe ja wieder nur eine Funktion der Spiegelhöhe ist.

Die Wasserergiebigkeit einer Mineralquelle stimmt sich nämlich empfindlich nach der Spannungshöhe ab, eine ausserordentlich wichtige Beziehung, die hinsichtlich ihrer Details und vorkommenden Aenderungstendenzen den Gegenstand einer eigenen Abhandlung bilden wird und ebenso wie die vorliegende Veröffentlichung zum Verständnis mancher Fragen aus dem Quellenschutzkapitel beitragen soll. Wird eine Mineralquelle also auf eine benötigte Ergiebigkeit eingestellt, so stimmt sich entsprechend dieser Spannung auch der Konzentrationsgrad darnach ab, der dem Quellenbesitzer wieder zu hoch oder zu gering erscheinen kann. Es ist daher höchstens bei den früher erwähnten chemisch unempfindlichen Mineralquellen möglich, auf einer bestimmten Höhe oder Tiefe eine gewisse Wassermenge und Konzentration zu erzielen, weil diese drei Faktoren in allen anderen Fällen eben untereinander in einem spezifischen Abhängigkeitsverhältnisse stehen und eine Aenderung an dem einen oder anderen Faktor eine gerade nicht immer gewünschte Aenderung des dritten im Gefolge hat. So überaus lehrreich es gerade an dieser Stelle wäre, meine einschlägigen Detailuntersuchungen aus den verschiedensten Kurorten vorzuführen, in welchen ich in den letzten zehn Jahren als Experte fungierte,

\*) K n e t t: „Mechanismus der Quellenbildung und die Biliner Mineralquellen . . .“ — I. M. Z. Nr. 133, Wien 1906.

muss dies mit Rücksicht auf den verfügbaren Raum unterbleiben, der nicht hinreichen würde, auch nur eine dieser Studien eingehender zu besprechen wegen der ausserordentlichen Verwicklung der Erscheinungen. Andererseits lässt sich durch genaue Ermittlung der Steigkurve einer Mineralquelle und gleichzeitige chemische Prüfung von Wasserproben aus verschiedenen Spiegelhöhen einer und derselben Mineralquelle im Verein mit exakten Temperaturmessungen ermitteln, in welchem Niveau seitlicher Mineralwasserverlust stattfindet oder Süsswasser zuzitzt u. s. f.

Worauf hinzuweisen hier aber nicht verabsäumt werden soll, ist der häufig unterlaufende Irrtum, der darin liegt, dass man das Quellenindividuum bei Grabungen immer nur im tiefen Aufschlussstadium chemisch beurteilt, während nach dem Fassen und Aufziehen der Quelle — ebenso wie sich die Menge verringert — naturgemäss oft auch eine ganz andere Konzentration sich einstellt. Dieser letztere Abstimmungsvorgang kann sich unter gegebenen Verhältnissen sogar auf Jahre hinaus ausdehnen. Ich erinnere mich da eines Falles, wo man bei Grabungsarbeiten zwei nahe einander gelegene, aber chemisch verschieden beschaffene Mineralquellen auffand, jede derselben separat fasste und benannte und dann einfach auf eine beliebige Spannungshöhe brachte. Allmählich stellte sich bei beiden eine Aenderungstendenz ein, die auf eine chemische Annäherung hinwies; erst nach 10 Jahren war die Beschaffenheit beider Quellen identisch. Aus einem anderen Kurorte ist mir ein noch längerer derartiger Ausgleichsprozess bekannt.

Abstimmungserscheinungen zwischen Quellenspannung, Ergiebigkeit, Temperatur, Konzentration und Gasgehalt einer Mineralquelle. Von zwei Mineralquellen ist jene die relativ ergiebigere (bei gleicher Spannungshöhe auch absolut), welche eine grössere Spannungsfähigkeit, d. h. maximale Steighöhe besitzt; bei ein und derselben Quelle verringert sich aber, wie bereits erwähnt, die Ergiebigkeit mit der Spannungs- oder Spiegelhöhe und steigt beim Vermindern der Quellenspannung. Bei Thermalquellen geht damit eine Abstimmung der Temperatur Hand in Hand. Sie ist innerhalb eines Quellenbezirkes im allgemeinen höher bei reichlich fliessenden und geringer bei schwach laufenden Thermen. Liegt der umgekehrte Fall vor, dann handelt es sich bei einem hochtemperierten Aederchen meist nur um das erste Ausbruchsstadium oder den Nebenaustritt einer starken Quelle. Dass in zwei oder mehreren Thermalgebieten die unterschiedlichen Quellen hinsichtlich Wassermenge und Temperatur nicht im Einklang stehen werden, ist ohne weiters begreiflich. Es kann eine Thermalquelle in Frankreich 20 Minutenliter mit 60° C., in einem anderen Lande eine Warmquelle von 1000 l/m bloss 35° C. aufweisen. Bei ein und derselben Quelle gilt aber die gleichsinnige Beziehung, je grösser die Quantität, desto höher die Temperatur und umgekehrt.\*)

Die Temperatur von Warmquellen ist aber nicht

\*) Vergleiche die Abstimmungskurven Q/T in K n e t t: „Verhalten der Karlsbader Thermen . . . 1897.“ Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiss., Wien 1898, worin auch Kurven B/Q bezüglich des Barometerstandes und Ablaufquantums enthalten sind.

blos auf die Ergiebigkeit und eventuell zusitzendes Kaltwasser, sondern auch auf die Wärme des festen Bodens abgestimmt, deren Einfluss naturgemäss umso geringer, je heisser und ergiebiger die Mineralquelle ist. Je schwächer dagegen der Wasserablauf ist und je kühler die Warmquelle (relative Thermen etc.), umso auffallender stellt sich die Differenz der Quelltemperatur zwischen Winter und Sommer, weil hiebei die erhöhte oder verringerte Abkühlung auf das nur langsam den Boden durchfliessende Warmwasser in betracht kommt.

Die Abhängigkeit des Gasgehaltes in Wasser von verschiedenem Wärmegrad wurde bereits früher gestreift. Hieraus ergeben sich bei Mineralquellen desselben Regimes oder bei ein und derselben Quelle häufig sehr subtile Abstimmungserscheinungen zwischen Quellengas und Wassertemperatur, bezw. der Gasführung und jenen Faktoren, welche auf die Quelltemperatur von Einfluss sind.

Am häufigsten kommt natürlich der Gehalt an Kohlensäure in Betracht; sie tritt in Mineralquellen in vierfacher Art auf: als chemisch gebundene, als halbgebundene, als sog. freie Kohlensäure (absorbiertes Gas) und als spontane Kohlensäure (frei entweichendes Gas). Viele beurteilen beispielsweise einen Sauerbrunnen nach der reichlichen Gaswallung, die sich dem Auge in der Quellfassung darbietet. Das ist allerdings zum Teil begründet, da bei wirklich heftiger Gasentbindung in spontaner Form der Schluss gerechtfertigt ist, dass sich auch viel Kohlensäuregas im Wasser selbst absorbiert hat.

Warmes Mineralwasser vermag nach dem Gesetz der mit der Temperatur gegensinnig schwankenden Absorptionsfähigkeit weniger Gas zu absorbieren als kaltes; infolgedessen der fade Geschmack von heissem Mineralwasser und die reiche „Gasführung“ für das Auge. Kühleres Mineralwasser dagegen vermag weit mehr zu absorbieren, weswegen für die spontan entweichende Menge nur ein kleiner Anteil erübrigt. Man vermeint eine gasarme Quelle vor sich zu haben, indessen schmeckt das Wasser vorzüglich säuerlich; desgleichen, wenn man den Spiegel einer Mineralquelle relativ hoch einstellt, weil dann das Gas durch den Druck der höheren Wassersäule mehr zur Absorption gezwungen und die spontane Gasmenge dagegen ebenfalls vermindert wird. Verlegt man den Ablauf des Wassers in ein tieferes Niveau, um z. B. eine grössere Abflussmenge zu erhalten, so vermindert man dadurch den (absorbierten) Gasgehalt, weil der verringerte Wasserwiderstand das Gas leichter spontan entweichen lässt. Absorbiertes und frei entweichendes Gas verhalten sich daher unter sich gegensinnig. Niedere Temperatur und hohe Spannung des Quellwassers befördern also den Absorptionsvorgang und die Schmeckhaftigkeit des Wassers. Wärme und tiefe Quellspannung spiegeln bloss dem Auge eine reichliche Gasführung vor; Geschmack und Haltbarkeit des Mineralwassers leiden darunter.

Die Abhängigkeit der Quellenkonzentration wurde bereits erörtert. Unter gegebenen Verhältnissen vermögen die einflussnehmenden Faktoren auch auf den chemischen Charakter des Mineralwassers abstimmdend einzuwirken, z. B. bei hoher Spannung Eisenoxyd auszufällen\*), wie die Neubildung

von Mineralien aus Quellen überhaupt von solchen Umständen bedingt sein kann. So haben beispielsweise meine Untersuchungen ergeben, dass sich der spurenweise Gehalt von Radium und Barium in den Karlsbader Thermen nur in sehr engen Quellwegen absetzt\*) oder in solchen vor sich ging, in welchen das Mineralwasser vor der Tiefenerosion des Tepaltales ehemals auf seine Maximalhöhe zu steigen gezwungen war. Solcherart liess sich eine offenbar in die Diluvialzeit zurückzusetzende Hochspannungsfazies des Karlsbader Thermenkomplexes nachweisen, während sich die gleichalterigen und späteren Sprudelsteinbildungen schon unter geringerem Druck sedimentiert haben und die braunen weichen Sinterarten im allgemeinen gar nur eine chemische Alluvion aus spannungslosem Sprudelwasser darstellen. Es dürfte keinem Zweifel unterliegen, dass sich bei vielen Erzgängen ähnliche, vielleicht noch kompliziertere genetische Abstimmungserscheinungen geltend machten und dass auch für andere „Sinterbildungen“ aus fliessendem Wasser (sei es jetzt Kohlengalmei, Malachit, Glaskopf oder Kieselsäure) spezielle Bildungsbedingungen bestanden. [Eine ausgedehnte, noch in meiner Studienzeit betriebene Zucht von künstlichen Kristallen der verschiedensten Salze brachte mich vor 20 Jahren bereits zur Ueberzeugung, dass die zu erzielende Kristallgrösse im allgemeinen eine Funktion der Grösse des Bildungsraumes und bei manchen Verbindungen namentlich auf die Höhe der Lösungsschicht abgestimmt ist. Anknüpfend daran befasste ich mich mehrere Jahre später (1895) mit der Bildung grosser Kristallaggregate von künstlichem vulkanischen Eisenglanz\*\*) durch Verwendung grosser Bildungsräume in einem keramischen Betriebe; viele waren von den natürlichen Eisenglanzkristallen des Vesuvs nicht zu unterscheiden, anderen, besonders den grossen haftete dagegen der Habitus der künstlichen Bildungsweise an.]

Um die thermisch-chemischen Abstimmungserscheinungen an Mineralquellen zu rekapitulieren und damit zum Schlusse zu kommen, seien die typischsten Verhältnisse in den letzten drei Figuren in schematisierter Weise veranschaulicht.

Figur 19 stellt eine seicht gefasste, z. B. infolge verengter Quellenwege höchstens nur bis in die Nähe des Grundwasserspiegels schwach aufsteigende Mineralquelle vor. Entsprechend dieser Hochspannung stellt sich ein Ergiebigkeitsminimum und wegen des förmlichen „Ueberfalls“ durch Süsswasser sehr geringe Konzentration sowie niedere Temperatur ein. Der Gehalt an absorbiertem Quellengas ist wegen der hohen Spannung und Abkühlung ein maximaler, dagegen entweicht nur sehr wenig freies Gas. Aehnliche Verhältnisse können bei einer sehr steigfähigen, ebenfalls hoch, aber weit über den Grund-

68 und 69 mit den von der Spannungshöhe abhängigen Kurven der Quelltemperatur, des Eisengehaltes und der absorbierten Kohlensäure. — Ueber die Abscheidung des Mangans durch Tagwasserzulufluss vergl. die bereits cit. Schrift des Verfassers: „Mechanismus der Quellenbildung“ etc.

\*) Vergl. Knett: „Wert physikalisch-chemischer Untersuchungen für geologisch-hydrologische Fragen“ (Schlusseite). — Sitz. Ber. „Lotos“, Prag 1904 und „Indirekter Nachweis von Radium in den Karlsbader Thermen“. — Sitz. Ber. d. Akad. d. Wissenschaften, Wien 1904.

\*\*) Knett: „Künstlicher Hämatit als Anflug an gesalzenen Tonwaren“. — Berlin 1896. — (Die erzielten Kristalle wurden dem naturhist. Hofmuseum in Wien überlassen.)

\*) Vergl. Knett: „Boden der Stadt Karlsbad und seine Thermen.“ — Festschrift. Naturforscherkongress, Karlsbad 1902 . . pag.

wasserspiegel gespannten Mineralquelle in Erscheinung treten, wenn die Bedingung zum Zusitzen von Tagwasser oder anderem mehr weniger unreinem „Oberwasser“ gegeben ist; unter Tagwasser verstehe ich Niederschlagswasser in seiner obersten Zirkulation, also Regenwasser, das wohl schon in den Boden gesickert, aber noch nicht bis zum Grundwasserspiegel gelangt ist.

Figur 20 zeigt eine richtige Quellenspannung, tiefe Fassung, Abdichtung und einen Staubezirk gegen das Süsswasser; zwar nicht maximale, aber infolge des Tiefenaufschlusses noch eine ziemlich reichliche, mittlere Quellenergiebigkeit, Temperaturmaximum, grösste Konzentration, hinreichenden

Gasgehalt im Wasser bei noch lebhafter freier Gasentwicklung.

Figur 21. Quellenspannung minimal, sehr grosse Ergiebigkeit bei tiefem Ablauf oder Pumpenförderung, bzw. dauernder reichlicher Erguss aus einem weiten Querschnitt selbst bei grösserer Spiegelhöhe; trotz der eventuellen Tieffassung (gleichgiltig, ob mit oder ohne Abdichtung) stellt sich kein Konzentrationsmaximum, eher noch das Temperaturmaximum ein. Minimum des absorbierten Gasgehaltes, reichliche spontane Gasentwicklung. Gefahr der Erschöpfung des Quellenherdes und „Verwässerung“ (Aussüsung) der Mineralquellader durch Ansaugen von (Gebirgs-) Grundwasser.

Karlsbad, August 1908.