

## Geologische Nachlese.

Von

**Albert Heim.**

---

Unter dieser gemeinsamen Ueberschrift habe ich in der Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich bis jetzt folgende Aufsätze publiziert: 1. Die Entstehung der alpinen Randseen, 2. Das Alter der Eiszeit, 3. Der Eisgang der Sihl in Zürich am 3. Februar 1893, 4. Der diluviale Bergsturz von Glärnisch-Guppen, 5. A. Rothpletz in den Glarner Alpen und 6. Stauungs-metamorphose an Walliser Anthracit und einige Folgerungen daraus. Da die letztgenannte Publikation sich im Jahrg. XLI 1896, der zugleich der Jubelband zur Stiftungsfeier des 150jährigen Bestandes der Gesellschaft ist, befindet, ist sie dort nicht speciell als Nr. 6 dieser Nachlese bezeichnet worden, soll aber dafür gelten. Ich lasse heute folgen:

### Nr. 7.

#### Quellerträge in Schächten und deren Bestimmung.

Im Laufe meiner quellentechnischen Praxis bin ich schon sehr oft vor die Frage gestellt worden: Welchen Wasserertrag wird dieser neue Quellschacht auf die Dauer liefern können. In vielen Fällen lassen sich zur Beantwortung selbst durch direkte Beobachtung während mehrerer Tage keine Anhaltspunkte gewinnen. Als Versuchsgrabungen vor grösseren Quellschächten, bei denen die Situation nicht klar schien, habe ich längst Versuchsschächte so viel als möglich vermieden und nur Versuchsstollen oder Versuchsgraben gemacht, indem diese, weil sie das zutretende Wasser ständig abfliessen lassen, keine Störungen durch vorübergehende Stauungen ermöglichen und viel klarere

Resultate geben. Zu Versuchsgraben fehlt aber oft das Gefälle, die Situation macht sie oft unmöglich. Ganz besonders habe ich aber hier im Auge diejenigen Fälle, wo die dauernde Fassung einer Quelle mit Schacht bewerkstelligt werden muss und das Wasser durch Pumpwerke den Verbrauchsorten zuzuführen ist und innerhalb dieser Fälle wieder besonders diejenigen, wo es sich um von unten heraufsteigende Mineralwasser handelt. Meine Erfahrung geht auch hier wiederum dahin, dass allgemeine Regeln nicht gegeben werden können, dass jeder Fall individuell zu prüfen ist, und bei näherer Prüfung die Quellen fast so mannigfaltig sind, wie die Gesichter der Menschen. Aber immerhin gibt es offenbar Typen und ich glaube, gerade für die schwierigsten ein praktisches Verfahren zur Bestimmung des endgültigen dauernden Ertrages gefunden zu haben.

Wenn ich in diesen Mitteilungen die Erfahrungen nenne, ohne darüber bestimmte, in einzelnen Fällen beobachtete Zahlen zu geben, oder wenn ich Zahlen und Kurven gebe, ohne zu nennen, an welchem Falle ich dieselben beobachtet habe, so geschieht dies bloß deshalb, weil ich diese Erfahrungen fast alle bei Gelegenheit privater oder gerichtlicher Expertisen gewonnen habe, bei welchen ich den Auftraggebern Diskretion schulde.

Das Verhalten der Quellerträge in einem Fassungsschacht ist sehr verschieden, je nachdem der Quellschacht in diffus wasserzuges Gebirge oder auf schon vorhandene kompakte Quelladern abgeteuft wird.

a) Der Quellschacht geht in diffus wasserzuges Terrain ohne feste, fertiggebildete Quelladern.

In diesem Falle, wenn aus dem Schachte beständig ausgepumpt wird, schaffen wir eine künstliche Quelle. Das Wasser der umgebenden Poren entleert sich in den Schacht. Allmähig bilden sich im Boden ganze Systeme von neuen Gerinnen aus, die nach unserem Schachte führen und die allmähig immer weiter greifen und das der Schachtquelle zugehörige Sammelgebiet immer weiter ausdehnen. In solchen Fällen nimmt der Wasserzufluss nach dem Schachte während der Arbeit zu. Er ist und bleibt um so grösser, je tiefer wir den Schacht in wasserzuges Boden abteufen, bis wir auf eine undurchlässige Unterlage stossen. Bald erreicht der Wasserertrag seinen Höhepunkt. Er kann längere

Zeit auf demselben verharren. Es entleert sich ein seit langer Zeit in den Bodenporen angestauter Wasservorrat. Das geschieht sehr ungleich rasch je nach der Bodenart. Oft haben sich die alten Stauungen in wenigen Tagen entleert (Wasser aus den Gneisspalten im Gotthardtunnel, Wasser aus Kalkfelsen etc.), oft dauert es mehrere Jahre. Dabei spülen sich die neuen Gerinne im Boden aus. Wasser, die früher anderwärts abflossen, bekommen nun Ueberdruck nach der Neufassung, andere Quellen stehen ab, die neu geschaffene nimmt dafür zu. Durch Aufstauen oder Füllen des Schachtes kann das Wasser wieder auf die früheren Wege getrieben werden. Bestand aber die Neufassung in einem Stollen, so ist ein Ungeschehenmachen nicht mehr möglich. Es haben sich eben dauernde Veränderungen im Boden vollzogen und ein Stollen, nach welchem nun die Wasser neue Gerinne ausgespült haben, lässt sich nicht mehr verschliessen. Die Wasser drängen überall daneben durch und spülen Austrittswege aus.

Nachdem die alten Vorräte rings um die künstliche Schachtquelle herum mehr und mehr sich allmählig entleert haben und nachdem die Gerinne den neuen Wasserdruckverhältnissen entsprechend sich ausgespült haben, — wobei oft lange Zeit das Wasser schwache Trübung zeigte — nimmt der Ertrag ab. Er hängt jetzt eben mehr und mehr nur noch von dem Wasserquantum ab, das auf dem zuständigen Sammelgebiete in entsprechenden Zeiträumen versickert und zur Quellbildung gelangt. Er sinkt auf einen bestimmten Betrag hinab und bleibt dann allmählig stationär mit Ausnahme der aus den Witterungsverhältnissen hervorgehenden Schwankungen, die jetzt viel deutlicher werden, als zur Zeit, da noch alter Vorrat sich entleeren konnte. Eine neu ergrabene Quelle kann auf ihren normal bleibenden Ertrag in leichter durchlässigem Boden in wenigen Wochen zurückgehen, ich habe aber auch schon viele Fälle, und zwar gerade bei mühsam und gut filtrierendem Wasser, erlebt, wo nicht nur während Monaten, sondern während Jahren die neue Quelle grösseren Ertrag vorspiegelt. Der Dettenbergtunnel hat z. B. so gewirkt, dass es 30 Jahre gieng, bis wieder stabile Quellverhältnisse in der Umgebung eingetreten sind, und ebenso lange dauerte es, bis die Wirkungen des Einschnittes der badischen Bahn auf die Quellen

von Laufenburg sich fertig vollzogen hatten. Ganz allmählig senkten sich in dem letzteren Falle seit 1860 die Quellgerinne in den diluvialen Sanden vom Eisenbahneinschnitt an rückwärts langsam tiefer, bis sie endlich 1885 unter die schon vorher mehrmals vertieften Fassungsrohren fielen und die Brunnen abstanden.

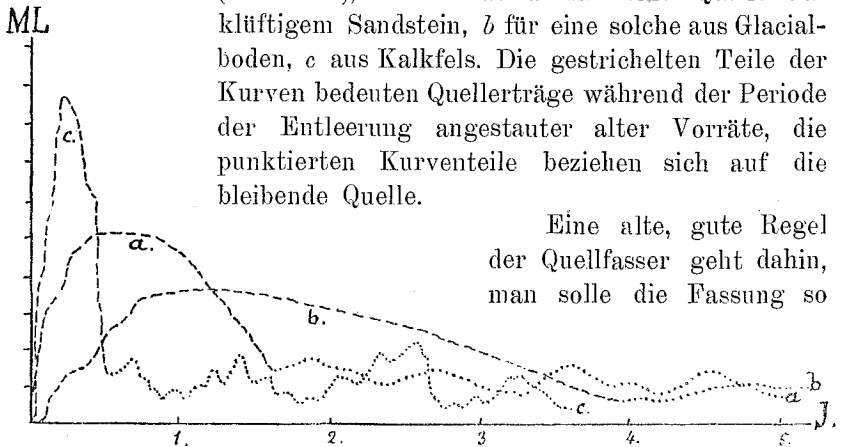
Nach dem Sinken des Ertrages einer Neugrabung kommt hie und da im Laufe längerer Zeit, oft erst im Laufe von Jahren, wieder eine deutliche Vermehrung zustande, indessen nicht in hohem Betrage. Sie rührt daher, dass die Ausspülung neuer Gerinne sich immer noch weiter ausgedehnt hat und dadurch das Einzugsgebiet sich noch mehr vergrößert hat. Ich kenne Fälle, wo die bleibende Vermehrung schon wenige Wochen nach Vollendung der Neugrabung sich geltend gemacht und den Ertrag um 10—20% gesteigert hat; andere, in schwer durchlässigem Boden, wo es in ähnlichem Masse erst nach Verlauf von 1—2 Jahrzehnten eingetreten ist; endlich viele solche, wo sich nichts von nachträglicher Vermehrung bemerken liess. Die unter dem Einfluss einer Neugrabung dauernd veränderten und neu gegen die Grabung hin ausgespülten Gerinnsysteme geben sich sehr deutlich noch durch andere Erscheinungen zu erkennen:

Neuergrabene Quellen sind oft erst ziemlich konstant, sie werden im Laufe der Jahre schwankender. Ich kann diese mir oft deutlich vor Augen getretene Thatsache nicht anders erklären, als indem ich annehme, dass durch die allmählig gründlicher ausgespülten Gerinne das Wasser sich schneller bewegt, seine Verzögerung und Ertragsausgleichung deshalb — und gewiss auch seine feine Filtration — abnimmt.

Wenn man in einem Quellschacht, der einige Jahre im Betriebe war, das Pumpwerk sistiert und das Wasser steigen lässt, bis entfernte, allfällig früher abgegrabene Quellen, wieder fliessen und nun nachher wieder auspumpt, so erhält man einen viel grösseren Zufluss, als er jemals bei der ersten Anlage des Quellschachtes beobachtet werden konnte. Das jetzt im Boden gestaute Wasser entleert sich diesmal viel schneller als früher nach unserem Schachte und schon nach wenigen Stunden oder Tagen, nicht erst nach Jahren, stehen die früher abgegrabenen Quellen abermals ab.

Bei Neugrabungen finden wir also fast immer zuerst steigenden hohen Ertrag, dann Sinken bis zu einem Minimum, dann hie und da wieder etwas Zunahme.

Nachstehende drei Kurven illustrieren den Wechsel der Erträge in Minutenlitern  $ML$  (Ordinaten) mit der Zeit in Jahren  $J$  (Abscissen), und zwar  $a$  für eine Quelle aus klüftigem Sandstein,  $b$  für eine solche aus Glacialboden,  $c$  aus Kalkfels. Die gestrichelten Teile der Kurven bedeuten Quellerträge während der Periode der Entleerung angestauter alter Vorräte, die punktierten Kurventeile beziehen sich auf die bleibende Quelle.



Eine alte, gute Regel  
der Quelfasser geht dahin,  
man solle die Fassung so

Fig. 1.

lange vertiefen, als noch Wasser von unten in die Fassung quillt. Sie ist durchaus richtig, denn so lange vergrössern wir das Sammelgebiet der Neufassung, so lange beeinflussen wir die Druckverhältnisse immer mehr in dem Sinne, dass das Wasser vollständiger unserer Neugrabung zufließen muss, so lange stechen wir noch tiefere und deshalb konstantere Wasseradern an und erst wenn kein Wasser mehr von unten aufquillt, haben wir undurchlässige Fassungsunterlage gewonnen. Indessen machen es die Gefällsverhältnisse der Oberfläche, die Höhenlage der Wasserverbrauchspunkte oft von vornherein unmöglich, dieser Regel ganz gerecht zu werden.

*b)* Der Quellschacht ist ausgeführt, um eine bestimmte kompakte Quelle, die in einem Gerinne oder einem gedrängten Büschel von Gerinnen von Natur fertig gegeben ist, zu fassen.

Ich möchte hier für diesmal nur diejenigen Erscheinungen besprechen, wie sie sich gewöhnlich bei der Fassung von Mineral-

quellen zeigen. Hier haben wir wiederum zwei Möglichkeiten zu unterscheiden, die ganz verschiedenes Verhalten ergeben: Entweder steigen die Quellgerinne aus bedeutender Tiefe auf, oder die Quellgerinne haben in erreichbarer Tiefe flachen Lauf.

Tieferes oder weniger tiefes Abpumpniveau im Quellschacht hat bei fertig gegebenen Mineralquellen keinen Einfluss auf die Ausdehnung des Sammelgebietes und den durch das Sammelgebiet bedingten Ertrag. Wohl aber beeinflusst es den Ertrag bei aufsteigenden Quelladern durch Veränderung des Gegendruckes. Wenn man bei einer aufsteigenden Quellader das Ausflussniveau oder Abpumpniveau tiefer setzt, nimmt ihr Ertrag dauernd etwas zu; setzt man es höher, so nimmt er dauernd etwas ab. Liefern näher oder ferner zusammenhängende Gerinne eines Büschels mehrere Quellen, was wohl meistens zutrifft, auch wo nur eine einzige sichtbar und bekannt ist, so vermindert sich der Ertrag der andern bei Tiefersetzen des Abflussniveaus der einen, und es vermehrt sich der Ertrag der andern bei Höherstauen des Abflussniveaus der einen. Die sofort oder nach wenigen Stunden eintretenden Folgen solcher Veränderungen sind aber nicht sofort dauernd, vielmehr kann es Monate und Jahre gehen, bis die Erträge sich stabil den neuen Druckverhältnissen entsprechend angepasst haben. Auch da handelt es sich um allmähig andere Ausspülung der Gerinne, Erweiterung der einen, teilweise Verschlammung der andern. In dieser Beziehung brauche ich nur zu verweisen auf die Untersuchungen, welche von Escher, Mousson und Culmann an den Thermen in Baden a. d. Limmat, welche von andern in Aachen und Burtscheid etc. ausgeführt worden sind. Es werden in der bezüglichen Literatur viele solche Beispiele genannt. Selbst die Luftdruckdifferenzen können den Quellertrag aufsteigender Adern beeinflussen.

Bei jeder aufsteigenden Quellader können wir uns eine Höhe denken, in welche aufgestaut ihr Ertrag auf Null herunter sinkt. Das ist ihre Stauhöhe. Bei vielen in Schächten gefassten Thermalwassern liegt diese maximale natürliche Stauhöhe unter der jetzigen Bodenoberfläche, sodass Pumpwerke oder keller-tiefe Badeanlagen notwendig sind, um das Wasser zu benützen. Bei den meisten Mineralquellen ist die Stauhöhe verschieden von

derjenigen der umgebenden gewöhnlichen Wasser, und diese Verschiedenheit ist stets ein willkommenes Zeichen für gute Trennung der beiden Wasserarten.

Eine Frage, die bei solchen Untersuchungen und Neufassungen sich stellt, ist jeweilen für den einzelnen Fall das Verhältnis des Quellertrages zum Abpumpniveau. Um ganz richtig zu untersuchen, sollte man jeweilen durch Pumpen den Wasserstand im Quellschacht ein oder mehrere Tage auf bestimmtem Niveau festhalten und dann den Ertrag der Pumpen messen, nachher den Wasserstand im Quellschacht variieren, wiederum tagelang festhalten und den Ertrag messen und so fort, bis man innerhalb der für das Experiment möglichen Grenzen eine ziemliche Anzahl von Bestimmungen hat. Manchmal genügt das tagelange Abpumpen auf bestimmtem Niveau noch nicht, einen dafür dauernden konstanten Ertrag zu bestimmen, manchmal sollte man es wochenlang fortsetzen. Praktisch ist dies leider fast niemals durchzuführen. Ich habe deshalb sehr oft blos ein Annäherungsexperiment gemacht: Der Quellschacht wird erst möglichst anhaltend bis an den Grund ausgepumpt. Dann stellt man die Pumpen ab, lässt das Wasser im Schacht, so hoch es kann, von selbst steigen, beobachtet genau die Zeiten, in welchen es jeweilen wieder z. B. um 1 dcm höher gestiegen ist, und berechnet dann aus dem Schachtquerschnitt den Wasserzufluss, der bei jeder Höhe stattgefunden hat. Die beste Uebersicht gewinnt man, wenn man die gewonnenen Zahlen graphisch aufträgt, indem man nach irgend einer Skala neben den Vertikalriss des Schachtes jeweilen als Abscisse den Ertrag in Minutenlitern absticht, der bei dem bestimmten Schachtwasserstand in den Schacht zugeflossen ist. Die so erhaltene Ertragskurve, die sich eigentlich direkt auf das Wiederauffüllen des Schachtes bezieht, wollen wir die Füllkurve nennen. Sie endigt stets mit Abscisse = 0 auf der maximalen Stauhöhe der betreffenden Quelle. Hat die Quelle diese Höhe erreicht, so wird sie ganz auf andere, oft unbekannte Wege zum Abfluss gedrängt.

Wenn man eine Anzahl Quellen in dieser Weise untersucht, findet man bald sehr ungleiche Typen, wie die in Fig. 2 nach eigenen Beobachtungen zusammengestellten Kurven verschiedener Quellen zeigen.

1. Zunächst gibt es Quellen, welche beim Steigen im Schacht grosse Unregelmässigkeiten aufweisen und eine ganz zackige Füllkurve ergeben (a in Fig. 2). Diese gleichen Quellen zeigen die Eigentümlichkeit, dass sie beim raschen Leerpumpen der Schächte eine Zeit lang ganz ungeheuer grosse Erträge liefern, die dann bei anhaltendem Leerpumpen des Schachtes oft fast plötzlich wieder auf normalere Zahlen zurückgehen. Diese Erscheinung kann nur so erklärt werden, dass man annimmt, es befinden sich in grösserer oder geringerer Entfernung in korrespondierenden Niveaux Erweiterungen der Gerinne, die beim

Steigenlassen im Quellschacht sich ebenfalls füllen müssen und beim Leerpumpen sich nach dem Schacht entleeren. Die Unregelmässigkeiten der Füllkurve entsprechen dann den unregelmässigen, wie Reservoirs wirkenden Hohlräumen auf ähnlichem Niveau im Regime der Quellgerinne.

Die grosse Differenz in den Erträgen beim Sichfüllen und beim Leerpumpen des Schachtes müssen auf der in beiden Fällen gerade umgekehrten Wirkung der seitlichen Bodenhohlräume beruhen. Diesen Fall habe ich bisher noch nie bei solchen Thermen beobachtet, von denen ich lange aufsteigende Aeste der Quellgerinne annehmen müsste, wohl aber sehr prägnant bei einigen Mineralquellen von fast gewöhnlicher oder wenig erhöhter Temperatur, welche aus seitlichen Bergen heraustreten, und bei gewöhnlichen Kaltwasserschächten, wo ein Aufsteigen der Quelladern aus grösserer Tiefe gar nicht anzunehmen ist, sondern die Gerinne mehr seitlich flach liegen.

2. Bei der Schwefeltherme von Schinznach im Aargau, deren

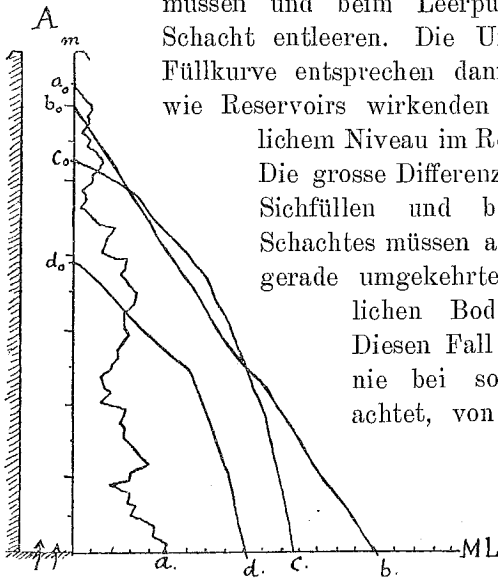


Fig. 2.

(A = Quellschacht, m = Meterskala im Quellschacht, ML = Erträge in Minutenlitern. a<sub>0</sub> b<sub>0</sub> c<sub>0</sub> d<sub>0</sub> = Stauhöhen der verschiedenen Quellen.)

erhöhter Temperatur, welche aus seitlichen Bergen heraustreten, und bei gewöhnlichen Kaltwasserschächten, wo ein Aufsteigen der Quelladern aus grösserer Tiefe gar nicht anzunehmen ist, sondern die Gerinne mehr seitlich flach liegen.

2. Bei der Schwefeltherme von Schinznach im Aargau, deren



Verhalten ich zum Zwecke einer Neufassung 1882 öfters vor und nach der Neufassung untersucht habe, ergab sich stets die Füllkurve nach anhaltendem Auspumpen als eine gerade Linie, d. h. der Quellertrag nahm direkt proportional der Stauhöhe des Wassers im Quellschacht ab, wie  $b$  in Fig. 2. Dort waren die Verhältnisse wie folgt: Die alte Fassung aus den Dreissigerjahren dieses Jahrhunderts that ihren Dienst nicht mehr gut. Stand das Wasser im Quellschacht hoch, so hatte es volle Sulfuration und  $33^{\circ}$  C. Es hatte stets über das umgebende Grundwasser einige Centimeter Ueberdruck und verdrängte bei höchstem Stand die Kaltwasserzuflüsse. Pumpete man aber kräftig, so dass es etwas tiefer sank, so wurden Sulfuration und Temperatur rasch geringer. Die Beobachtungen erwiesen die mir übrigens vollständig selbstverständliche Unabhängigkeit von Temperatur und Sulfuration vom Stand der daneben fliessenden Aare. Das eindringende Kaltwasser war Bergwasser. Wir pumpeten den Schacht aus; da zeigte sich, dass die alte Fassung den Felsgrund nicht erreicht hatte und man das Grund- und Bergwasser aus dem Kies mit Brettchen und hinterstopftem Lehm dürftig abzuhalten sich bemüht hatte. Den Thermaladern entgegen waren Eisenröhren eingeschlagen. Dieselben waren grösstentheils aufgezehrt und der davon herrührende Schwefel-eisenschlamm verstopfte zum Teil die Thermalgerinne. Wir vertieften, fanden etwa 1 m unter dem Fundament des alten ovalen Buchenholzschachtes den Muschelkalkfels mit grossen armdicken runden Thermalgerinnen, wir meisselten  $1\frac{1}{2}$  m in denselben hinab, fassten alle Adern (warme wie kalte) in Steingutröhren, gossen dazwischen dicht mit Cement aus, betonierten hinauf, liessen das Wasser steigen und den Guss erhärten. Dann wurde 14 Tage später wieder ausgepumpt und nun die Röhren, welche gewöhnliches Wasser in die Fassungskammer lieferten, verpfropft, diejenigen, welche Thermalwasser lieferten, offen gelassen. Alles gelang gut, und der Erfolg war vortrefflich. Die Gleichung für die Füllkurve vor der Fassungsvertiefung war: Ertrag (in Minutenlitern) = Tiefe (in Metern unter der Stauhöhe)  $\times$  180. Allein dieser Ertrag war eben wegen der beim Abpumpen erfolgenden Einmischung von Kaltwasser am Schachtgrunde nicht nutzbar. Man konnte nicht über 30 Minutenliter pumpen. Nach der Neufassung ergab sich: Steighöhe der Therme 3 cm höher; Füllkurve wiederum gerade Linie; Ertrag =

Tiefe unter Steighöhe  $\times 250$ , wobei man nun ruhig den Stand des Wassers im Quellschacht auf 2 m unter die Stauhöhe abpumpen durfte, ohne merkbare Kaltwasserbeimischung zu erhalten. Es können also jetzt  $2 \times 250 = 500$  Minutenliter Wasser von  $33^\circ$  und voller Sulfuration verwendet werden.

3. Bei manchen aufsteigenden Quelladern hat die Füllkurve die Form einer ziemlich regelmässig gebogenen Kurve, meistens ungefähr von der Gestalt wie Fig. 2, *c*. Ein Beispiel hierfür lieferte Lavey an der Rhone (Schwefeltherme von  $45-50^\circ$ ). Hie und da haben die Füllkurven auffallende Brüche (Fig. 2, *d*). Die Bruchstellen der Kurve entsprechen wohl den Mündungen unbekannter anderer Ausflusstellen aus demselben Gerinnesystem.

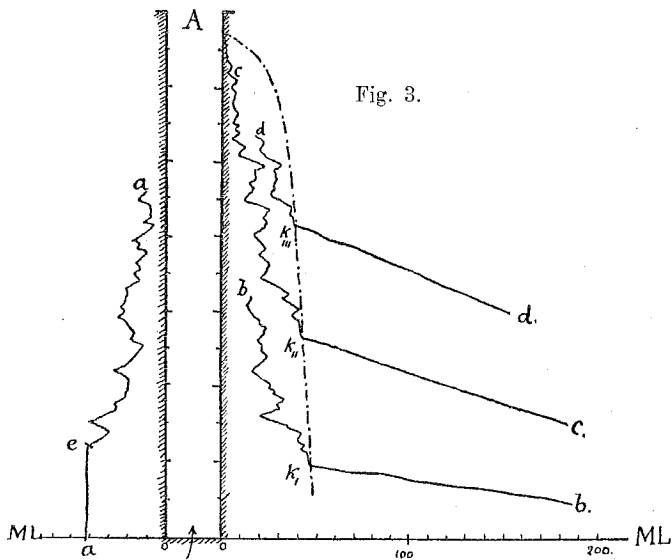
Die Unregelmässigkeiten in der Füllkurve bei den sicher aus grosser Tiefe von unten aufsteigenden Quelladern sind aber, soweit meine bisherigen Erfahrungen reichen, stets von ganz anderem Charakter und viel geringer als diejenigen der Quellen aus weniger tiefen, flachen Gerinnen.

Die Fassunggsschächte mit den zackig-unregelmässigen Füllkurven bieten noch besondere Erscheinungen und auch besondere Schwierigkeiten für die Bestimmung ihres dauernden Ertrages. Ich glaube aber, ein Mittel gefunden zu haben, welches den dauernden Ertrag leicht und sicher erkennen lässt.

Das nächstliegende und bisher oft versuchte, oft aber auch zu Täuschung führende Mittel war einfach anhaltendes Auspumpen.

Manche Quellen von diesem Charakter liefern, wenn man sie auszupumpen sucht — sei es bei der ersten Fassung im Schacht oder auch später, nachdem sie in fertiger Schachtfassung stehen — anhaltend sehr grosse Erträge. Die Erträge nehmen mit der Tiefe, in welche abgepumpt wird, zu und halten sich dann oft bei tagelangem, sogar wochenlangem Auspumpen stets fast unverändert oder eher noch sich vermehrend. In vielen Fällen kann man das Experiment nicht lange genug fortsetzen, um den offenbar in seitlichen Erweiterungen der Quellgerinne angesammelten Vorrat ganz zu entleeren und so nachher auf den dauernden Ertrag der Quelle herunterzukommen. Ich habe Beispiele erlebt, wo man drei Wochen lang den vierfachen, sogar zehnfachen Betrag von dem pumpt, was die Quelle, wie sich endlich fest-

stellen liess, dauernd zu liefern vermochte. Manchmal schon nach einigen Tagen des Auspumpens, manchmal aber erst nach Wochen angestrenzter Pumparbeit fällt dann fast plötzlich von einer Viertelstunde zur andern oder sogar von einer Minute zur andern der Zufluss im Schachtgrunde hinab auf den dauernden Quellertrag. Wenn man dies erreicht hat und einige Zeit dieser Ertrag sich gleich geblieben ist, lässt man das Wasser wieder im Schachte steigen. Es ergibt sich dann eine sehr langsame Füllung, eine unregelmässige Füllkurve, die aber stets nur Beträge des Zuflusses in den Schacht geringer als die dauernde Quelle aufweist (Fig. 3, *a*). Sehr oft ist es wichtig, rascher über die



dauernde Lieferung aufgeklärt zu sein, während eine ununterbrochene Pumparbeit, die vielleicht in lange Wochen hineingeht, nicht ausgeführt werden kann.

Durch den Versuch habe ich folgendes einfache Verfahren zur Bestimmung der anhaltenden Quellerträge in Fassungsschächten gefunden:

Es wird mit kräftigen Mitteln im Quellschacht der Wasserstand möglichst rasch tief gefällt. Zu diesem Zweck muss natürlich ein grösserer Betrag ausgepumpt werden, als selbst durch

die Entleerung des Stauvorrates aus den Gerinnen in gleicher Zeit in den Schacht sich zu entleeren vermag.

Es handelt sich da um eine Art Ueberraschung der Quelle. Dann werden die Pumpen abgestellt, und man beobachtet nun genau die Geschwindigkeit, mit welcher der Quellschacht sich wieder füllt, indem man die Zeitmomente notiert, an welchen das Wasser die verschiedenen Marken einer eingestellten Messlatte oder anderen Skala erreicht. Durch Messung der Querschnitte lässt sich wieder der Zufluss in den verschiedenen Höhen in Minutenliter umrechnen und als Füllkurve auftragen. Dabei zeigen sich Kurven wie Fig. 3 *b*, *c* und *d* (Abscissen, Ordinaten, Anordnung wie in Fig. 2).

Der erste untere Teil der Kurve verläuft nach nur kurz dauerndem Auspumpen ziemlich glatt; er zeigt gewaltigen, aber mit dem Steigen des Wassers im Quellschacht rasch und ziemlich regelmässig abnehmenden Zufluss. Dann plötzlich bricht die Kurve scharf um, wird unregelmässig zackig, bleibt aber stets in der Abscisse kürzer als der Wendepunkt. Der erste Teil der Kurve entspricht offenbar der Entleerung der Bodenhohlräume im entsprechenden Niveau, der zweite Teil der Kurve aber der Wiederfüllung der gleichen Hohlräume. In dem Momente, wo die Entleerung sich wendet in die Wiederfüllung, kann einzig der wirkliche bleibende Ertrag der Quelle sich geltend machen. Die Abscisse am Knickungspunkt der beiden Kurventeile entspricht somit dem dauernden wirklichen Ertrag der Quelle. Ein Experiment von einigen Stunden genügt zu dessen Bestimmung.

Aber auch der Ertrag der dauernden Quelle nimmt ab mit der Steighöhe des Wassers im Fassungsschacht und nimmt zu mit der Tiefe, in welche abgepumpt wird. Indem wir das in dem eben bezeichneten Experimente zuerst vorzunehmende Auspumpen des Quellschachtes rascher oder langsamer vornehmen, tiefer oder weniger tief treiben, den Schacht sich sofort wieder füllen lassen oder vorher einige Zeit ausgepumpt halten, können wir die Kurve so variieren, dass der Knickungspunkt in verschiedene Höhen des Quellschachtes fällt. Die Verbindungslinie der Kurvenknickungspunkte (*k*, *k*<sub>1</sub>, und *k*<sub>2</sub>, in Fig. 3) in mehreren solchen Experimenten (Strich-Punkt-Linie in Fig. 3) gibt uns dann

die Beziehungen des dauernd abpumpbaren Quellertrages zum Niveau des Wasserstandes im Fassungs-schachte. Selbstverständlich dürfen, wenn mehrere Experimente gemacht werden sollen, dieselben nicht allzu rasch hintereinander ausgeführt werden; es ist gut, jeweilen dazwischen die Quelle wieder etwas ruhen zu lassen.

Seitdem ich diese Methode gefunden und angewendet habe, ist es mir nun schon mehrere Male gelungen, durch spätere Erfahrung — anhaltendes Abpumpen zum Gebrauch auf bestimmtem Niveau — direkt die vollkommene Zuverlässigkeit derselben zu erproben. Die dauernden Quellerträge, wie sie sich im Laufe jahrelanger Verwendung gehalten haben, stimmten genau überein mit den durch die Kurvenknickungsstellen im Voraus bestimmten Beträgen.

Einmal hatte ich mit einer am Fusse eines Berges gelegenen Mineralquelle von zackiger Füllkurve zu thun, deren Fassung nachträglich bedeutend vertieft werden musste. Dabei zeigte sich, dass sie ungefähr ein Meter unter dem früheren Schachtgrunde auf weitem sanft fallenden Gerinne herzufluss. Der Schacht wurde so tief in die undurchlässige Unterlage hinabgesetzt, dass die Quelle von etwas höher oben in den Schachtgrund herunterfiel. Später wurde die Füllkurve bestimmt. Da zeigte sich in voller Uebereinstimmung mit dem, was ich erwartete, dass der Quellzufluss bei den tiefsten Schachtwasserständen konstant war, die Füllkurve also eine fast senkrecht aufsteigende Gerade war. Plötzlich, offenbar in demjenigen Niveau, wo die Quellgerinne entfernter vom Schacht sich verwickelter gestalten, nahm die Füllkurve ihren zackigen Charakter an (vergleiche *e* in Fig. 3 *a*, wobei die Erträge vom Schacht nach links abgetragen sind, um Konfusion mit *b*, *c* und *d* zu vermeiden). Die Grenze zwischen dem unteren regelmässigen, der dauernden Quellstärke entsprechenden Teil der Füllkurve und dem oberen zackigen Teile entsprach im Niveau der undurchlässigen Unterlage der Quellgerinne, und der glatte untere Teil der Kurve zeigt an, dass weitere Vertiefung des Quellschachtes hier keinen Nutzen mehr hat.

Im Niveau undurchlässiger Bodenschichten werden die Füllkurven glatt, im Niveau durchlässiger, Poren- und Gerinne-reicher Bodenschichten werden sie kraus und von kleinerer Abscisse. Es gilt dies, auch wenn diese

Bodenbeschaffenheiten erst in grösserer Horizontalabstand vom Quellschachte im Wege der Gerinne sich finden. Die Füllkurven sind eine Art Spiegelbild der Bodenbeschaffenheit und können uns oft wichtige Fingerzeige über ein natürliches Quellregime geben. Ich bin überzeugt, dass zahlreichere Beobachtungen über dieselben noch manche bemerkenswerte Erscheinung verrathen werden.

Bei Gelegenheit solcher Arbeiten habe ich noch eine weitere Erfahrung über das Verhalten der Quellen mit zackiger Füllkurve gemacht:

Wenn die Quelle frisch zuerst gefasst wird, ist die Zeit, welche notwendig wäre, durch blosses anhaltendes Auspumpen die Bodenstauungen zu entleeren und auf den dauernden Ertrag hinabzukommen, sehr lange, oft viele Wochen, und der unterdessen sich geltend machende Zufluss z. B. das Doppelte des dauernden Ertrages. Nachdem die Quelle einige Jahre zum Verbrauch abgepumpt worden ist, fliessen, wenn man den Quellschacht ganz leer pumpen will, die Wassermassen viel rascher zu. Wir müssen jetzt vielleicht das Vierfache, Fünffache des dauernden Ertrages auspumpen, kommen aber nun entsprechend rascher, etwa schon in einer Woche, auf den dauernden Betrag herab. Noch später pumpen wir in zwei oder drei Tagen den gleichen Bodenstauvorrat aus, die Pumpen mussten aber den zehnfachen oder zwölffachen Ertrag des dauernden Zuflusses bewältigen. Der dauernde Quellertrag ist dabei von Anfang an fast unverändert derselbe geblieben.

Wir beobachten also allmählich schnellere Entleerung der Stauvorräte aus dem Boden in den Quellschacht.

Offenbar kann diese Erscheinung nur so gedeutet werden, dass eben durch das anhaltende Zuströmen des Quellwassers zum Fassungschachte im Laufe der Zeit die dorthin führenden Quellgerinne besser und weiter ausgespült worden sind und so im Laufe der Zeit die Kommunikation der reservoirähnlich wirkenden Gerinneerweiterungen und anhängenden Bodenhohlräume eine viel direktere geworden ist. Dies ist im allgemeinen auch wünschenswert, indem wir nun um so sicherer sind, dass die Quelle nicht etwa auf andere Abwege wieder gerate, sondern diese letzteren unterdessen sich mehr und mehr verschlammt haben, während die Zuflusswege zu unserem Quellschacht sich besser geöffnet haben.

Bei Schachtfassungen im Grundwasser zu Wasserversorgungen kann freilich dieses weitere Ausspülen der Gerinne sehr ungünstig werden, indem damit die feine Filtration des Wassers abnimmt und sanitäre Gefahren entstehen können. Es kann deshalb nicht genug immer wieder betont werden, dass Grundwasser zu Wasserversorgungen niemals nur in einem oder wenigen Schächten intensiv gepumpt werden sollte, sondern dass die Fassung in Gestalt einer mehrere hundert Meter langen horizontalen Röhre bewerkstelligt werden sollte, die das Wasser möglichst diffus und mit geringer Geschwindigkeit und geringem Ueberdruck einfließen lässt.

Endlich möchte ich noch auf zwei Punkte aufmerksam machen, welche mir für in Schächten gefasste Mineralquellen von grosser Wichtigkeit scheinen, aber bisher meistens unbeachtet geblieben sind. Es haben sich aus dieser Nichtbeachtung schon schwere Uebelstände ergeben und wertvolle Mineralquellen sind allmählig zu Grunde gegangen oder haben doch einen Teil ihrer Qualitäten eingebüsst.

1. Manche Mineralquellen sind deshalb im Rückgang begriffen, weil sie nur in der Saison benützt werden, in der übrigen Zeit — so war es früher z. B. auch in Schinznach — einfach im Quellschacht liegen bleiben, gestaut auf die maximale Stauhöhe. Die Folge davon ist, dass das Mineralwasser in der Nichtsaison andere Auswege suchen muss. Diese andern Wege spült es dann aus, diejenigen nach dem Verbrauchsorte hin verschlammt es unterdessen, oder verengt sie beim Stehen und langsamen Entweichen der Gase durch seine eigenen Absätze. Man muss eine Mineralquelle dazu erziehen und gewöhnen, immer nur an den von uns gewünschten Verbrauchsort zu fließen und darf sie nicht zeitweilig auf Abwege zwingen. Man muss aus dem Schacht in einem Niveau, welches einem der tieferen Abpumpniveaux der Saison entspricht, einen Auslauf für die Nichtsaison schaffen und wenn dazu das Gefälle nicht zu finden ist, muss ständig ausgepumpt werden wie in der Saison (mit Injektor oder sonst einem regulierbaren selbstthätigen Apparat). Nur so erzeugen wir, was wir wünschen müssen: Ständige, gute, offene Ausspülung der Gerinne, die nach unserem Schachte führen, allmähliche Verödung und Absterben aller anderweitigen Wege. Um das für den Winterabfluss

passendste Niveau zu finden, habe ich auch schon, wo das Gefälle den Versuch zuließ, folgendes Mittel angewendet: Wir bringen an einem tiefen Ausflussrohr aus dem Schachte mit biegsamem Gummirohr ein Endstück an, dessen Mündungshöhe nun von Woche zu Woche versuchsweise variiert werden kann, bis wir das tiefste Niveau finden, bei welchem Temperatur und Mineralisation sicher noch voll sind, also noch kein Wildwasser auf irgendwelchen Um-

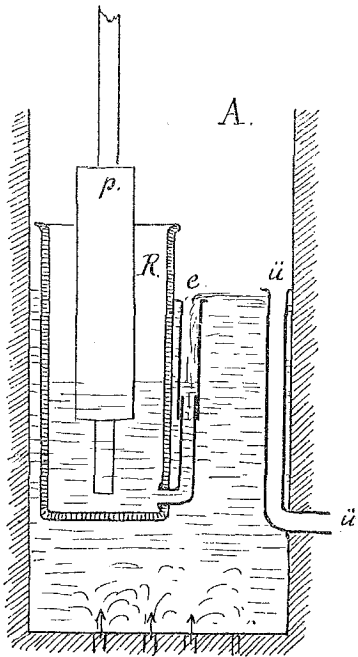


Fig. 4.

wegen in die Quellgerinne drückt. In dieser Höhe ist der dauernde Nichtsaisonauslauf zu halten. Dann verbauen oft von selbst die Absätze der Mineralquelle mehr und mehr die früheren gelegentlichen Zuflussstellen der Wildwasser gerade da, wo, fast equilibriert, die beiden Wasserarten sich berühren.

2. Noch ein zweiter wichtiger praktischer Punkt, der sich mir allmählig ergeben hat, ist der folgende: In vielen Mineralquellschächten entstehen zeitweise Trübungen, besonders, wenn die Gerinne etwa durch Thon, Grundmoräne etc. gehen. Die Trübung zeigte sich während der Fassungsarbeiten. Wenn die Quelle sich in der Neufassung beruhigt hat, hören sie auf, kommen aber oft störend gelegentlich zeitweise wieder, sobald der Gang der Pumpen

etwas stossweise wird oder starke Ungleichmässigkeiten im Verbrauch vorkommen. Für Quellen dieser Art ist es von hoher Bedeutung, dass man sie unter gleichmässigem hydrostatischem Druck lässt und alle Druckvariationen von denselben so gut als möglich isoliert. Manchmal lässt sich dies ganz einfach erreichen, indem man in den Quellschacht ein Zwischenreservoir (*R* in Fig. 4) setzt, aus welchem die Pumpen (*p*) schöpfen und welches aus der Quelle dicht unter dem Ueberlauf (*ü*) den



Einlauf (e) hat, der den Wasserstand über der Quelle reguliert. Dieser Einlauf, sowie der Ueberlauf können verstellbar, z. B. durch ineinanderschiebbare Röhren gemacht werden, sind aber, wenn einmal das konvenierende Niveau gefunden worden ist, möglichst unverändert zu belassen. (Vergleichen das Schema in umstehender Fig. 4.) Das Zwischenreservoir kann natürlich sehr verschieden behandelt, eventuell auch als zweiter Schacht neben dem Quellschacht und als grosses Reservoir disponiert werden.

Ausser den hier erwähnten Dingen ist natürlich noch manches andere zu beachten. Es muss in der weiteren Wasserführung jedes Wasser individuell nach seiner Beschaffenheit behandelt werden. Wasser, deren Gasgehalt wichtig ist, dürfen nie mit Saugpumpen beschafft werden, sondern sind bis zum Verbrauchsort unter Druck zu halten; jede Beimischung von Luft ist zu vermeiden. Je nach der chemischen Beschaffenheit ist das Material der Leitungen, Pumpwerke etc. zu wählen. Doch betrachte ich es für diesmal nicht als meine Aufgabe, auf diese Seiten der Mineralwassertechnik einzutreten.

Ich begnüge mich damit, darauf hingewiesen zu haben, dass sich bei den Schachtquellen verschiedene Typen zeigen, die sich zum Teil durch die verschiedenen Füllkurven charakterisieren lassen, und dass dieselben auch verschiedene Behandlung erfordern. Ich wollte andeuten, wie man die Erscheinungen derselben studieren, besonders wie man den dauernden Ertrag einer Schachtquelle (Tiefquelle) bestimmen kann.

---