

DIE ERGIEBIGKEIT
EINES
GRUNDWASSERSTROMES.

VON
PROFESSOR H. HÖFER
IN LEOBEN.

*Sonder-Abdruck aus der Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereines
Nr. 29, 1892.*

WIEN 1892.
IM SELBSTVERLAGE DES VERFASSERS.

Druck von R. Spies & Co. Wien.



Seit 18 Jahren mit der Geologie der untertägigen Wasserläufe auch praktisch beschäftigt, musste ich es wiederholt bedauern, daß hierüber die geologische Literatur außerordentlich wenig bietet; die einschlägigen Lehrbücher pflegen ohnehin die angewandte Geologie fast ausnahmslos zu vernachlässigen. Die neueren Geophysiker wenden diesem ebenso interessanten, als technisch wichtigen Gebiete etwas mehr Aufmerksamkeit zu. Anderseits wurden die Grundwasserverhältnisse insbesondere während des Zustandes der Wasserentnahme vom physikalischen Standpunkte aus mit Aufwand vielen Geistes an der Hand vorliegender Beobachtungen von mehreren Ingenieuren eingehend studirt, und die Arbeiten von A. Thiem, O. Smreker, C. Forchheimer, O. Lueger u. a. verdienen die vollste Anerkennung; in geologischer Beziehung bieten diese Schriften manchen werthvollen Hinweis.

Ich betrachte es nicht als Aufgabe der nachfolgenden Zeilen, die ganze Frage über die Ergiebigkeit eines Grundwasserstromes erschöpfend abzuhandeln, sondern ich will nur auf einige bisher gar nicht oder zu wenig beachtete Verhältnisse hinweisen, die in der Beantwortung dieser Frage von besonderer Bedeutung sind und deren Außerachtlassung nur all' zu oft Ursache ist, daß die an die Ergiebigkeit eines Grundwasserstromes geknüpften Hoffnungen nicht, oder nicht vollends in Erfüllung gingen und gehen.

Bekanntlich wird die Bezeichnung *Grundwasser* doppel-sinnig gebraucht; im weiteren Sinne bezeichnet man damit alles in die Erde eingedrungene und sich hier ansammelnde Wasser; der natürliche Austritt desselben an die Erdoberfläche heißt *Quelle*. Unter Grundwasser im engeren Wortsinne versteht man die Wasseransammlungen in sehr porösen Gesteinsmassen (Schutt, Schotter, Sand, etc.), welch' letztere entweder gar nicht oder mindestens nicht derart von wasserundurchlässigen Schichten überdeckt sind, daß der dem Gefälle entsprechende natürliche Abfluß gehindert wäre; der Wasserspiegel weicht von der Horizontalen nur wenig ab. Im weiteren Verlaufe dieser Abhandlung ist Grundwasser nur in diesem engeren Wortsinne zu verstehen.

Bei den Erhebungen über ein Grundwasser, welches gewonnen werden soll, wird fast stets die Untersuchung seines Bettes vernachlässigt; ebenso ist meines Wissens die, wie ich meine, für die Praxis sehr wichtige Zweitheilung in den Stau und den Strom des Grundwassers bisher unbeachtet geblieben. Diese Faktoren seien zuerst erörtert.

Im nebenstehenden Längsprofile einer Thalung (Fig. 1), wie die meisten dieser Skizzen überhöht gezeichnet, sei *A* ein weitgedehntes Becken von Schotter und Sand o. dgl., das auf dem wasserundurchlässigen Grundgebirge (compactes Gestein) *B* aufgelagert ist. Fällt auf die Oberfläche des Schotterbeckens Regen oder bilden sich hier Schmelzwasser des Schnees, so wird ein Theil dieses Tagwassers einsickern, sich im Tiefsten des Beckens ansammeln und dadurch allmählig den horizontalen Stand *C D* erreichen, — ein Vorgang, der sich in unseren Grundwasserbecken bereits vor sehr langer Zeit abspielte. Sickert noch mehr Wasser zu, so wird bei *D* ein Ausfluss des Grundwassers eintreten müssen, es entsteht eine Grundwasserquelle. Ihr Erscheinen ist im vorliegenden Falle durch den unter ihr befindlichen Querrücken des Grundgebirges bedingt.

Es wird zur Bildung eines Grundwasserbeckens fast durchwegs ein wasserundurchlässiges Grundgebirge vorausgesetzt, was jedoch nicht unbedingt nothwendig und häufig auch gar nicht der Fall ist; denn es wird in Schotterbecken eine Wasseransammlung auch dann erfolgen, wenn die Wasserdurchlässigkeit des Grundgebirges erheblich geringer als jene des Schotters, die Zufuhr an Wasser größer als die Abfuhr in das Grundgebirge ist. Letzteres führt in diesem Falle Grundwasser im weiteren Wortsinne, welches irgendwo als Quelle, u. zw. tiefer als *D* (Fig. 1), wieder zu Tage treten kann. Durch eine geeignete, z. B. muldenförmige, wasserundurchlässige Unterlagerung des wasserlässigen Grundgebirges werden alle Hohlräume desselben, da kein Abfluss stattfindet, mit Wasser gefüllt, so daß dieses trotz der vielen Hohlräume nun als wasserundurchlässiges Gestein wirkt.

Würden die Zuflüsse von Tagwasser in das Grundwasserbecken gänzlich aufhören, so würde die Quelle bei *D* stets spärlicher fließen, endlich versiegen; der Grundwasserspiegel wäre dann im Profile *ED*, d. i. eine von *D* nach *E* außerordentlich sanft ansteigende Fläche, welche sich bei gleichartigem Materiale einer Ebene sehr nähern wird; wir heißen sie den Stauspiegel, dessen Neigung zum Horizonte (Widerstandsgefälle) von den Bewegungswiderständen (Reibung, Adhäsion, Capillarität) des Wassers bedingt ist. In einem an größeren Zwischenräumen reichen Materiale, wie z. B. Schotter, wird das Widerstandsgefälle kleiner sein, als in einem mit kleinen Zwischenräumen, wie es z. B. der Sand ist. Das im Becken unterhalb des Stauspiegels

der Sohle hineinreichen, so wird seine anfängliche Ergiebigkeit eine um so größere als die des Brunnens *J* sein, je tiefer seine Sohle im Stau liegt, weil nicht bloß der Strom ausgenützt, sondern anfänglich auch von dem großen Stauvorrathe Wasser entnommen wird. Durch diese größere Wasserförderung, welche die Ergiebigkeit des Stromes überschreitet, würde, entsprechend dem früher Erläuterten, der Stauspiegel *E D* allmählich, und schließlich bis zur Brunnensohle sinken, so daß die Ergiebigkeit abnehmen würde und schließlich wieder nur der Strom zur Verfügung stünde.

Anders gestalten sich die Verhältnisse bei veränderlicher Ergiebigkeit des Stromes. Nimmt diese ab, so kann der Mehrbedarf dem Stau entnommen werden, welches Deficit sich später ersetzen wird, wenn der Strom mehr Wasser bringt, als gefördert wird. Durch den Stau können sowohl die Schwankungen in der Ergiebigkeit des Stromes, als auch jene des Bedarfes ausgeglichen werden. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn die mittlere Ergiebigkeit des Stromes, soweit er vom Brunnen beherrscht wird, gleich dem mittleren Bedarfe ist.

Der Stau wird durch die Muldenform des Grundgebirges, bzw. durch den Querrücken bei *D* (Fig. 1) bedingt; die Configuration des Grundgebirges ist am Tage jedoch häufig nicht zu ahnen, da das Hoch und Nieder durch die jungen Schutt-, Schotter- und Sandmassen ausgeglichen wurde. Ein Querrücken braucht jedoch nicht immer, wie die Fig. 1 voraussetzt, bis zu Tage reichen, sondern kann übertags durch die genannten fluviatilen Massen fast eben überdeckt werden. Es können sich dann im Thaluntergrunde mehrere Becken bilden, deren Querrücken häufig staffelförmig, dem Thalgefälle entsprechend, tiefer liegen. Es bildeten sich in diesem Falle Grundwasserbecken, wovon das tiefere durch den Ueberfall des oberhalb liegenden gespeist wird, abgesehen von den zufälligen Zuflüssen, die das untere Becken erhalten kann. In Fig. 2 sind derartige Vorkommen in einem Längsschnitte dargestellt. Der Grundwasserstrom wird von *a* bis *b*, ebenso von *c* bis *d* ein geringes, hingegen zwischen *b* und *c*, sowie *d* und *e* ein starkes Gefälle besitzen. Da bekanntlich die Stromoberfläche, durch Brunnen, Bohrlöcher und Nortonröhren aufgeschlossen, behufs eingehender Studien mittelst Höhenschichtenlinien analog einem Tagterrain dargestellt wird, so werden naheliegende Schichtenlinien zunächst auf einen Querrücken des Grundgebirges hindeuten. Dieses Stauwehr kann aber auch aus einer, das Wasser schwer- oder undurchlässigen, der Bildungszeit der lockeren Schottermassen angehörigen Einlagerung bestehen, welcher Fall übrigens seltener vorkommt, und der, wie in allen diesen Betrachtungen stets nur ein Grundwasserstockwerk vorausgesetzt, in hydrologischer Hinsicht gegenüber einem Grundgebirgsrücken keinen wesentlichen Unterschied bieten würde.

Der Brunnen S , im Becken angesetzt, hat den Vortheil, den Stau als Ausgleicher ausnützen zu können, worauf jedoch der Brunnen S_1 verzichten müßte. Ueberdies kann nicht vorausgesetzt werden, daß der Kamm eines längeren Querrückens horizontal und eben, oder gleichförmig eingesattelt verläuft; es ist vielmehr wahrscheinlich, daß der Ueberfall an mehreren Orten erfolgt, wodurch der Wasserreichthum dieser Stromschnelle ganz ungleich vertheilt ist, was bei einer Brunnenanlage sehr verhängnisvoll werden kann. Es wird sich deshalb bei der vollen Ausnützung eines großen Grundwasserbeckens, bzw. bei großem Wasserbedarfe stets empfehlen, den Brunnen zwischen zwei Stromschnellen zu legen, wie dies auch alle mit den Grundwasserverhältnissen Vertrauten thaten. Und dennoch kann auch dann noch ein Misserfolg eintreten, wenn man sich nicht früher durch Bohrungen u. dgl. über die Terrainver-

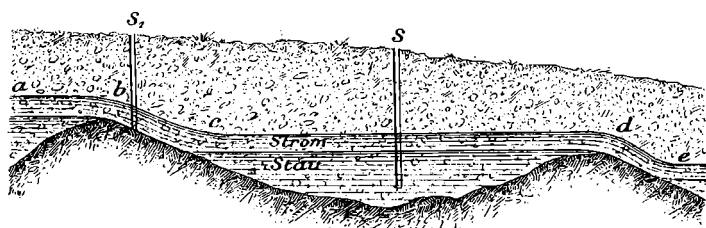


Fig. 2.

hältnisse des Grundgebirges ein klares Bild machte. Denn in einem Grundwasserbecken können secundäre Querrücken vorhanden sein, welche nicht bis zur Stromoberfläche reichen und von dieser somit auch nicht angedeutet werden können. Wird ein Brunnen in- oder unterhalb einer solchen Stromschnelle niedergebracht, so können, wenn durch die Wasserentnahme der Spiegel gesenkt wurde, ähnliche Missstände wie die früher geschilderten auftreten. Im besten Falle kann sich der Depressionstrichter nicht frei entwickeln. Letzteres kann auch durch Längsrücken eintreten, d. h. solchen Grundgebirgsrücken, welche annähernd in der Stromrichtung liegen. Sie können über den normalen Stromspiegel auf längere Erstreckung emporragen, um dann unter ihm noch eine Weile fortzusetzen, wodurch auch eine Zweitheilung — im horizontalen Sinne — des Stromes bedingt sein kann, was selbstredend für das ganze Wasserregime von größter Bedeutung werden würde. Sind die Versuchsbohrungen, wie meist, nur wenig in das Wasser eingedrungen und in geringen Entfernungen durchgeführt worden, so wird sich ein solcher wasserfreier Längsrücken bald nachweisen lassen. Ist eine solche Erhebung des Grundgebirges jedoch von Wasser bedeckt, so würde er bei der erwähnten Untersuchungsmethode leicht übersehen werden; er

würde jedoch seinen Einfluss geltend machen, sobald eine ausgiebigere Wasserentnahme durchgeführt würde, u. zw. in erhöhtem Maße, je näher ihm der Brunnen gestellt wurde. Solche unter dem Grundwasserspiegel versteckte Längsrücken können für die Wasserentnahme verhängnisvoller als Querrücken sein.

Diese Erörterungen dürften genügen, um zu beweisen, daß eine genaue Kenntnis der Configuration des unter dem Grundwasser gelegenen Grundgebirges nothwendig ist, falls man sich vor Misserfolgen gänzlich sichern will. Naturgemäß wird diese Kenntnis in der näheren Umgebung der projectirten Brunnenanlage*) möglichst in's Detail einzudringen haben; denn der Stromspegel gibt nicht ein genügend richtiges Bild vom Untergrunde des Beckens.

Nur zu häufig wird in den Berichten über die Wasserversorgung der Städte mittelst Grundwasser hervorgehoben, daß der Versuchsbrunnen zu nahe einer Quer- oder Längsstauung gelegt wurde, weshalb seine Ergebnisse, sowohl in praktischer als auch in theoretischer Hinsicht, nicht vollends maßgebend sind! Eine genauere Sondirung des Grundgebirges hätte davor bewahrt; die hiefür nothwendigen, nicht bedeutenden Mehrkosten wären vollends gerechtfertigt gewesen. Uebrigens wird man, abgesehen vom Nivellement, auch durch ein genaues Studium der Schwankungen eines Grundwasserspiegels auf das Vorhandensein eines Stauwehrs hingewiesen; denn die Wasserstände der in ihm angelegten Brunnen schwanken nicht so sehr als jene des weiten, tiefen Grundwasserbeckens, eine Erscheinung, die wir ja auch an den obertägigen Wasserläufen beobachten können.

Wir wollen nun unsere Betrachtungen über die Bedeutung des Grundwasser-Staues und -Stromes weiter verfolgen. Wird ein Grundwasserbecken statt mittelst Brunnen durch einen Stollen aufgeschlossen, so wird dieser bis zum Stauspiegel (*ED* Fig. 1) vorzutreiben sein. Greift er tiefer in das Wasser ein, so wird er anfänglich auf Kosten des Stauvorrathes mehr Wasser liefern, wodurch der Stauspiegel so lange sinken wird, bis er das Feldort des Stollens erreicht. Von nun ab ist nur mehr der Strom zur Verfügung, dessen veränderliche Ergiebigkeit sich in der dem Stollen entfließenden Wassermenge ganz unmittelbar äußern wird. Die Stollenanlage verzichtet somit auf den großen Vorthail, den der Stau als untertägiges, natürliches Reservoir, als Ausgleich der Stromergiebigkeit bietet.

Ohne Schwierigkeiten kann die Breite des Grundwasserstromes, nämlich an seinem Spiegel gemessen, und seine Geschwindigkeit, bzw. sein Gefälle ermittelt werden; wäre nebst

*) Dies gilt sowohl von dem Versuchs-, als auch vom definitiven Brunnen.

dem Porenverhältnisse auch noch die geringste Strommächtigkeit bekannt, so wären jene Elemente gegeben, auf welche sich die verlässlichen Ergiebigkeitsberechnungen stützen können. Die bisherigen analytischen Untersuchungen dieser Art setzen stets voraus, daß alle im Versuchsbrunnen erzeugten und sich später in der definitiven Anlage bildenden Depressionstrichter in Gänze im Strome liegen. Ist dies insbesondere bei letzterer nicht der Fall, so treten Misserfolge ein. Es ist somit eine der wichtigsten Aufgaben der Grundwasseruntersuchung, in einem gegebenen Grundwasserprofile die Strommächtigkeit zu bestimmen, wozu folgender einfacher Vorgang führt.

Man bestimmt die Geschwindigkeit c , mit welcher der Grundwasserstrom ein bestimmtes Profil, normal zur Stromrichtung gelegt, überschreitet. Dies dürfte am besten mittelst der Thiem'schen Salzungsmethode geschehen, die hier kurz angedeutet sei. Der Stromspiegel ist durch Isohypsen festgelegt, zu welchen normal die Stromrichtungen sind. Gießt man in einen Brunnen oder in ein Grundwasserbohrloch eine concentrirte Kochsalzlauge, so wird dieselbe sich im Wasser theils durch Difusion ausbreiten, theils im Stromstriche weiterbewegen. Im letzteren befindet sich ein zweiter Brunnen, in welchem durch Titriren mittelst Silbernitrat und Kaliumchromat, letzteres zugleich als Indicator, das Eintreffen des höchsten Chlornatriumgehaltes bestimmt wird. Ist die Entfernung der beiden Brunnen und die Zeit der Wanderung des Concentrationspunktes bekannt, so ist es auch die Geschwindigkeit c .

Im Querprofile Fig. 3 werde im Schachte S , dessen Stöße wasserlässig sind, der Stromspiegel AB von G nach C durch Wasserentnahme gesenkt, wodurch ein Depressionstrichter gebildet wird, dessen Querschnitt JCK durch eine Reihe von Bohrlöchern oder Nortonröhren festgestellt wird, sobald in demselben der Beharrungszustand eingetreten ist. Daß diese rechts und links vom Versuchsbrunnen befindlichen Beobachtungspunkte in einer zur Stromrichtung normalen Geraden liegen sollen, bedarf füglich nicht weiters hervorgehoben zu werden. Dem Grundwasserstrome wird eine seiner Geschwindigkeit c und dem Querschnitte JCK , dessen Fläche $= f$ ist, entsprechende Wassermenge q entnommen werden; doch nicht die ganze Fläche f ist das Durchflußprofil, sondern nur die Summe der in derselben befindlichen Zwischenräume (Porenprofil), welche bei einem gleichförmigen Material einen bestimmten Procentsatz k vom ganzen Profile f einhält. Es ist somit die geförderte Wassermenge, welche gemessen wird,

$$q = kfc \text{ oder } k = \frac{q}{fc}. \quad 1)$$

In letzterer Formel sind die Größen q , f und c bekannt, folglich ist es auch der Porencoefficient k .

Es sei hier eingeschaltet, daß statt der Geschwindigkeit c auch das Gefälle des Stromspiegels $\propto \alpha$, aus dessen Isohypsenkarte sofort zu entnehmen, eingeführt werden kann; denn das Darcy'sche Filtrationsgesetz läßt sich in diesem Falle auch in die Form bringen: $c = k_1 \sin \alpha$, worin k_1 einen gewissen Widerstandscoëfficienten bedeutet. Dann ist $q = k f \cdot k_1 \sin \alpha = K f \sin \alpha$ oder der Coëfficient $K = \frac{q}{f \sin \alpha}$ 2)

Für weiters wollen wir uns der Gleichung 1) bedienen. Die Depression des Wasserspiegels wird im Versuchsbrunnen fortgesetzt, bei einer gewissen Tiefe der Spiegel gehalten, die dazugehörige Depressionscurve im Grundwasserstrome wie früher mittelst der Bohrlöcher und Nortonröhren und deren Fläche f_1

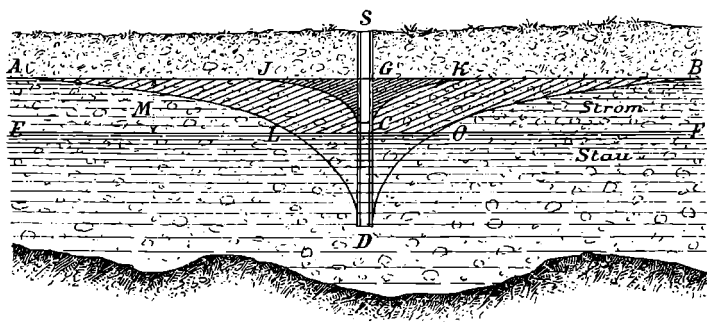


Fig. 3.

bestimmt, die geförderte Wassermenge q_1 gemessen, woraus sich $k = \frac{q_1}{f \cdot c}$ ergibt. Solange sich diese Versuche innerhalb des Stromes bewegen, müssen die erhaltenen Coëfficienten k gleich sein; in der That werden sie, der Ungleichförmigkeit des Untergrundes entsprechend, innerhalb gewisser enger Grenzen schwanken. Ob und in welchem Sinne sich der Untergrund mit zunehmender Tiefe ändert, das lehren die Bohrproben.

Senkt man im Schachte S (Fig. 3) den Wasserspiegel noch mehr, so wird derselbe endlich in den Grundwasserstau verlegt, wie dies beim Stande D der Fall wäre; k würde von nun ab kleinere Werthe ergeben, wenn das ganze Depressionsprofil in Rechnung gestellt wird. Auch hier wird das nach mehrwöchentlichem Pumpen geförderte Wasserquantum Q gemessen, die Fläche F_1 des Depressionsprofils $A D B$ bestimmt; c und k sind bereits bekannte Größen. Die theoretische Wassermenge Q_1 ist $Q_1 = k F_1 c$. Diese wird größer als die gemessene Wassermenge Q sein, weil in der vorstehenden Rechnung vorausgesetzt wurde, daß das ganze Profil $F_1 (A D B)$ wasserliefernd,

Entfernung vom Brunnenmittel in <i>m</i>	Geschwindigkeit per Secunde in <i>m</i>	
	aufwärts in	normal zu
	der Stromrichtung	
5	24	11
10	12·1	5·6
20	6	2·8
50	2	1
100	1	0·6

Die geringen Abweichungen in den letzten beiden horizontalen Reihen sind augenscheinlich bedingt durch die Abrundung, in welcher diese sehr kleinen Geschwindigkeiten angegeben werden.

Es sei auch darauf hingewiesen, daß der Ast der Depressionscurve an den ursprünglichen Grundwasserspiegel sich nicht asymptotisch anschmiegt, wie das wiederholt angenommen wurde, sondern ihn mit dem Winkel des Widerstandgefälles trifft.

Aus den früheren Erörterungen geht hervor, daß die Mächtigkeit des Staues auf die summarische Ergiebigkeit des Stromes, also des Grundwassers, ohne einen directen Einfluss ist; es ist somit ein ganz bedeutender Fehler, der so häufig gemacht wird, die Wasserergiebigkeit eines Grundwasserbeckens auf die Weise zu rechnen, daß die ermittelte Stromgeschwindigkeit mit dem gesammten freien Profile des Grundwassers (Stau und Strom) multiplicirt wird, wodurch man freilich manchmal ganz imposante Zahlen bekommt, von welchen selbst der vierte Theil für einen bestimmten Zweck noch einen Ueberschuss darstellt. Das Fehlerhafte derartiger Rechnungen bedarf nun keiner weiteren Erläuterung. In manchen Ergiebigkeitsformeln, die auf wissenschaftlichen Grundlagen aufgebaut wurden, ist die gesammte Grundwassermächtigkeit als gleichbedeutend mit Strommächtigkeit eingeführt; daß diese Formeln eine wesentliche Correctur erheischen, ist klar. Von maßgebendem Einflusse auf die geförderte Wassermenge ist die Breite der Entnahmegrenze, quer zur Stromrichtung durch die Brunnenmitte gemessen (z. B. *J K* oder *A B* in Fig. 3). Eine gewisse Staumächtigkeit kann nothwendig sein, damit sich die Depressionscurve vollends entwickeln kann; ist jene nicht vorhanden, so kann sie künstlich durch Absenken des Brunnenschachtes in das Grundgebirge geschaffen werden, wobei sich die Curve, wenn um den Schacht herum das Grundgebirge etwas ausgehoben wird, ebenfalls ganz ungehemmt bildet. Ich sagte „etwas“ ausgehoben wird, was damit begründet ist, daß

die der Parabel ähnliche Curve ihren Scheitel in der äußeren Brunnenlaibung beim abgesenkten Spiegel hat.

Unter allen Umständen muss sich die Depressionscurve querweise zur Stromrichtung unbehindert entwickeln können, sollen die Ergebnisse der Rechnung mit der Erfahrung übereinstimmen. Damit man in dieser Hinsicht keinen unliebsamen Erfahrungen zu begegnen hat, ist eine genaue Untersuchung des in diesem Profile gelegenen Grundgebirges nothwendig; dessen Einfluss soll durch Fig. 4 erläutert werden. Während sich die Depressionscurve vom Schachte I rechtsseitig frei entwickeln kann, ist dies linksseitig in Folge des vorliegenden Längsrückens R nicht möglich, so daß auf dieser Seite statt der vollen Fläche $a b f$ die kleinere $c d e b f$ für die Stromabfangung zur Verfügung steht. Im Schacht II schneidet der Längsrücken R_1 einen bedeutenden Theil des effectiven Stromquerschnittes ab.

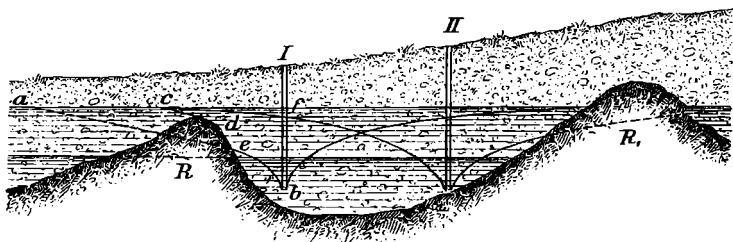


Fig. 4.

In einem schmalen Grundwasserbette, insbesondere wenn — wie so häufig — in Folge eines stärkeren Gefälles die Strommächtigkeit eine geringere ist, wird die Tiefe, bis zu welcher die Brunnensohle in den Stau (wenn überhaupt vorhanden) zu legen ist, eine verhältnismäßig kleine sein; ein Tiefergehen wäre zwecklos, weil die Depressionscurve sich mit dem Gehänge unterhalb des anfänglichen Stauspiegels verschneiden würde, wodurch letzterer tiefer gelegt wird.

Der Schottergrund der Thäler zeigt häufig Erweiterungen und Verengungen, womit auch eine ähnliche Configuration der Grundwasserufer verbunden ist. Es fragt sich, ob die Wasserentnahme in den Engen oder in den Weitungen vorzunehmen ist. Die schmalen Stellen haben den Vorthail, daß der ganze Strom mit einem geringtiefen Schachte oder mit einem Stollen gefasst werden kann, jedoch den Nachtheil, daß der Stau verhältnismäßig klein oder Null sein wird, weshalb die bedeutenden Schwankungen in der Stromergiebigkeit unausgeglichen bleiben. Will man jedoch dem Strome weniger oder gleich viel Wasser entnehmen, als er in seinem Mindestwerthe liefert, so wird sich seine

Fassung in der Enge empfehlen; im entgegengesetzten Falle wird man entweder künstliche Reservoirs schaffen müssen oder wird auf die Thalweitungen gewiesen, welche somit für einen größeren Wasserbedarf den Vortheil des Staureservoirs bieten, jedoch meist den Nachtheil haben, daß der Wasserspiegel tiefer liegt und stärker schwankt. Dabei handelt es sich noch darum, ob der nothwendige Bedarf aus einem oder aus mehreren entlegenen Brunnen zu entnehmen ist, wobei verschiedene Factoren, darunter auch die Strommächtigkeit, entscheidend sein werden. Es bedarf füglich keiner weiteren Bemerkung mehr, daß bei einer Wahl für die definitive Brunnenanlage die Größe der Schwankungen in der Stromergiebigkeit von großem Einflusse ist.

Der Vollständigkeit halber seien im Nachfolgenden kurz die gegenseitigen Beziehungen zwischen Grundwasser und Tagwasserläufen (Bäche, Flüsse, Ströme, Seen) angedeutet, obzwar hierbei meist nur Bekanntes geboten werden kann. Sehr häufig findet man die Anschauung verbreitet, daß die Flüsse das Grundwasser speisen, wofür gewöhnlich die Thatsache angeführt wird, daß das Steigen und Fallen des Wasserstandes im Flusse sich sehr deutlich in jenem des Grundwassers widerspiegelt. Diese Annahme, sowie der hiefür geltende Beweis ist jedoch häufig gar nicht zutreffend, wie dies nachfolgende Erörterungen zeigen. Zuvor sei jedoch bemerkt, daß das Grundwasser sich in den Tagwasserlauf ergießen oder umgekehrt letzterer das erstere speisen kann; überdies kann zwischen beiden Wassern, wenigstens örtlich, auch gar kein Zusammenhang bestehen, was jedoch ein wasserundurchlässiges Flussbett voraussetzt. Die Entscheidung hierüber, welcher der Fälle vorliegt, wird durch Nivellements erlangt. Sehr häufig speist das Grundwasser den Fluss; selbstredend liegt dann der Spiegel des Grundwassers über jenem des Flusses. Die Grundwasserquellen sind in diesem Falle am oder nahe beim Flussufer zu finden; ist letzteres aus feinem Sande zusammengesetzt, so kann man in demselben, insbesondere bei niedrigem Wasserstande, das aufquellende Grundwasser an den bekannten Erscheinungen erkennen.

In Fig. 5 bedeutet a b den Spiegel des Grundwassers, b c den des Flusses; bei b ist die Grundwasserquelle. Steigt der Fluss in Folge reicher Niederschläge innerhalb des Gebietes, welchem auch dieses Profil (Fig. 5) angehört, so wird gleichzeitig das Grundwasser direct reichlicher genährt und deshalb ansteigen; dieser Zusammenhang, der so oft als Beeinflussung des Grundwassers durch den Fluss gedeutet wird, wird sich auch beim Fallen beider Spiegel — in Folge Niederschlagsmangel — abermals äußern. Der Fluss kann jedoch auch dadurch anschwellen, daß er oberhalb und außerhalb des in Betracht gezogenen Grundwassergebietes reichliche Wassermengen zugeführt bekommt; es wird b c

nach b' c' ansteigen, dadurch den Grundwasserabfluss nach b' verlegen, weshalb im letzteren eine Stauung eintreten muss, so daß auch höher als b' c' gelegene Grundwasserspiegel in vom Flusse entfernten Brunnen ansteigen werden; diese können doch unmöglich vom Flusse aus gespeist worden sein. Schwillt der Fluss rasch an, so wird ein Zufluss seines Wassers in das Grundwasserbecken, u. zw. nur auf eine gewisse Entfernung hin, erfolgen, welche letztere mit Rücksicht darauf, daß der Grundwasserspiegel gegen seine Ansmündung, dem Flusse, rasch abfällt, oft nicht so groß ist, als vermuthet werden könnte. Dieser letzterwähnte Umstand gestattet dem Flusse bei allmählichem Ansteigen nur eine ganz unbedeutende Speisung des Grundwassers. Aus den Zeitnotirungen, den Pegelbeobachtungen im ober- und untertägigen Wasserlaufe können die gegenseitigen Beeinflussungen sicher ermessen werden.

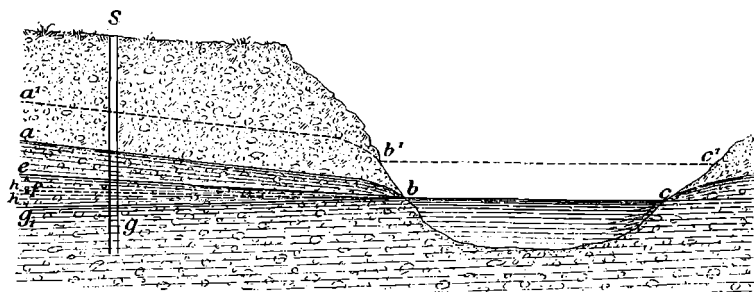


Fig. 5.

Wird im Brunnen S (Fig. 5) eine größere Wassermenge geschöpft, so geschieht dies bis zum Stauspiegel eb auf Kosten des Grundwasserstromes; tiefer, also unter eb , wird der Stau beansprucht, und bei einer gewissen Tiefe g wird, wenn das Flussbett, wie so häufig, wasserlässig ist, das Flusswasser ebenfalls dem Brunnen zufließen, der nun Grund- und Flusswasser fördert. Wenn auch letzteres durch eine entsprechende Schotter- und Sandschicht fließt und dadurch filtrirt, somit genießbar wird, so können sich dennoch auch andere unangenehme Folgen, wie Aenderung der Temperatur des Brunnenwassers, Rechtsstreitigkeiten wegen Herabsetzung der Flusswassermenge u. dgl. m., ergeben.

Der obertägige Wasserlauf kann auch den untertägigen speisen, wofür unsere Gebirgsbäche, insbesondere in den Kalkalpen, oft darum interessante Beispiele liefern, da sich die Erscheinungen in ihrer Gänze sehr leicht übersehen lassen und zu ihrem Erkennen nicht erst Messungen aller Art benöthigen. Der Bach, dessen Untergrund vorwiegend von Schotter oder Schutt gebildet ist, verschwindet in wasserarmen Zeiten gänzlich, die Bachstatt

ist auf große Entfernung hin vollends trocken gelegt; weiter thalabwärts, gewöhnlich dort, wo ein Grundgebirgsquerriegel ganz oder nahezu bis an die Oberfläche empor reicht, tritt der Bach als mächtige Quelle wieder zu Tage. In wasserreichen Zeiten schwillt der Bach an jener Stelle, wo er vordem versickert war, oft mächtig an. Die Erklärung für diese Eigenthümlichkeiten ist sehr naheliegend. Der Grundwasserspiegel wird in Zeiten reicher Speisung ansteigen, erreicht die Bachstatt und füllt dieselbe an; dadurch wird auch der lockere, mit Wasser gesättigte Untergrund wasserundurchlässig und der Bach bewegt sich ohne Verlust an Wasser in seinem Bette, ja vermehrt durch die Ausflüsse des Grundwassers. Fällt letzteres, so ist der Boden der Bachstatt siebartig, das Bachwasser versickert so lange, bis der Grundwasserspiegel in dieser u. zw. weiter unten wieder zu Tage tritt. Wenn jedoch thalabwärts die Quelle mehr Wasser zu Tage fördert, als weiter oben der Bach versickern lässt, so wird der Grundwasserspiegel stetig sinken, und bleibt unterhalb der Bachsohle, — der Bach versickert, er trocknet aus. Dieses Austrocknen beginnt bei der unterhalb liegenden Quelle und schreitet allmählich bachaufwärts vor, während die Füllung des Grundwasserbeckens im entgegengesetzten Sinne stattfindet. Der Bach wird also versiegen, wenn der Grundwasserspiegel von jener Quelle, d. i. seinem Wiedererscheinen an der Oberfläche, ab weniger als die Bachsohle ansteigt.

Es ist bekannt, daß Flüsse während einer gewissen Strecke bedeutende Wassermengen verlieren, sie speisen ein Grundwasserbecken, dessen Spiegel tiefer als jener des Flusses liegt. An einer anderen Stelle werden Flüsse, ohne daß obertägige Zuflüsse vorhanden wären, auffallend wasserreich, sie werden von einem Grundwasserbecken gespeist, dessen Spiegel höher als der des Flusses gelegen ist. Ein weitgedehntes Schottergebiet kann auf ein und denselben Fluss stellenweise entleerend, strichweise wieder speisend wirken, je nachdem der Spiegel des Grundwassers tiefer oder höher als der des Flusses liegt. Legt man die Längsprofile dieser beiden Spiegel in eine Ebene, so können diese gegenseitigen Beziehungen sofort überschaut werden. Wo sich die beiden Profilinien schneiden, ist die gegenseitige Beeinflussung Null.