

aus:

Wasserversorgung und Brunnenbau

von Edmund Groh, Zittau 1925

Verl. von Laubsch und Everth,
Berlin SW68

Kap. 25.

Rechnerische Bestimmungen von Brunnenenergiebigkeiten.

Sie erfordern sehr gute mathematische Kenntnisse. Wenn scheinbar schwierige Formeln hier gebracht werden, dann aus folgenden Gründen:

Durch Bohrlöcher ist die Bewegungsrichtung und die Mächtigkeit der wasserführenden Schicht ermittelt. Mit einiger Sicherheit kann man dadurch die zweckmäßigsten Stellen für die Wassergewinnung angeben. Wird nun durch die Rechnung auch unter den allernüchternsten Annahmen die Gewinn-

nung der erforderlichen Wassermenge sichergestellt, so ist unter Umständen ein teurer Versuchsbrunnenbetrieb entbehrlich. Jedenfalls muß man sich bei den Berechnungen darüber klar sein, daß sie unter Voraussetzungen aufgestellt werden, die in der Natur meistens auch nicht annähernd vorhanden sind.

Die Brunnenenergiebigkeitsformeln sind aus dem Darceyschen Gesetz abgeleitet, das sich mit der Bewegung des Grundwassers im durchlässigen Untergrund befaßt.

Darcysches Gesetz.

Darcy ließ Wasser durch ungewaschenen Sand hindurchgehen und fand dabei zwischen Wassermenge, Querschnitt und Geschwindigkeit folgende Beziehung:

$$\frac{Q}{F} = p v = k \frac{h}{l}$$

Darin ist:

- Q = Menge;
- F = voller Querschnitt der durchlässigen Schicht;
- p = Hohlraumverhältnis;
- v = Geschwindigkeit auf den freien Querschnitt bezogen;
- h = verbrauchte Druckhöhe beim Durchgang des Wassers durch die Filterschicht;
- l = Länge der Filterschicht;
- k = Weiwert, abhängig von der Beschaffenheit des Filtermaterials.

Die Geschwindigkeit des Grundwassers folgt also dem Gesetz:

$$p v = k \cdot \frac{h}{l}$$

$$v = k_1 \frac{h}{l}$$

In Worten heißt das: Die Grundwassergeschwindigkeit hängt direkt vom Gefälle ab. ($\frac{h}{l} = J$ ist das Gefälle.) In Leitungen und offenen Gerinnen hängt die Wassergeschwindigkeit dagegen von der Quadratwurzel aus der Druckhöhe ab, wie wir früher gesehen haben ($v = \sqrt{2gh}$), k_1 ist immer ein sehr kleiner Wert, zwischen 0,001 und 0,01. Er kann durch den Betrieb von Versuchsbrunnen oder durch unmittelbare Beobachtung gefunden werden.

Beispiel: a) Wie groß ist die annähernde Grundwassergeschwindigkeit

bei einem Gefälle von $J = \frac{4}{1000}$ und einem $k_1 = 0,008$?

$$v = 0,008 \cdot \frac{4}{1000}$$

$$= 0,000032 \text{ m/sec} = \frac{1}{31200} \text{ m/sec.}$$

b) Wie groß ist unter den berechneten Geschwindigkeitsverhältnissen die

Ergiebigkeit von 1 m² Grundwasserträger für den Tag?

$$Q = p F \cdot v$$

p sei zu 0,25 ermittelt worden.

$$F = 1 \text{ m}^2,$$

$$v = 0,000032 \text{ m/sec} = 0,000032 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$$

(1 Tag = 24 · 60 · 60 Sek.), [m/Tag

$$v = 2,76 \text{ m/Tag.}$$

$$Q = 0,25 \cdot 1 \cdot 2,76 = 0,69 \text{ m}^3/\text{Tag}$$

$$[= 690 \text{ l/Tag.}]$$

Die Gültigkeit des Darcyschen Gesetzes ist beschränkt. Aus zahlreichen Versuchen hat sich ergeben, daß es hauptsächlich für kleine Gefälle und kleine Geschwindigkeiten mit großer Genauigkeit zutrifft. Das sind gerade Eigenschaften der meisten natürlichen Grundwasserströme, kleine Gefälle und Geschwindigkeiten. Nach Prinz gilt das Gesetz für Grundwassergefälle von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{3000}$. Bei größeren Gefällen versagt das Gesetz. Die Wassermenge bleibt dann hinter dem Gefällezuwachs zurück, und zwar um so mehr, je größer das Korn des Filtermaterials ist. Ebenso versagt das Gesetz bei gleichmäßigem Korn, wenn die Gefälle größer als $\frac{1}{100}$ werden. Deshalb ist es auch nicht für die künstliche Filtration brauchbar, die in der Regel mit hohen Gefällen und gleichmäßigem Korn arbeitet.

a) Ergiebigkeitsformel für Brunnen mit freiem Spiegel.

Wir nehmen der Einfachheit halber an, daß der Wasserspiegel wagrecht liegt, daß Spiegel und wassertragende Sohle parallel laufen, daß die Eintrittswiderstände in den Brunnen vernachlässigt werden können. Nach Abbildung 148 bedeuten:

Q = Wassermenge, dem Brunnen in der Zeiteinheit entnommen;

H = Mächtigkeit der wasserführenden Schicht;

h = Wasserstand über undurchlässiger Sohle im Brunnen;

r = Halbmesser des bis zur Sohle reichenden Brunnens mit durchlässiger Wand;

p = Hohlraumsvinhaltverhältnis;
 k = Durchlässigkeitseiwert;
 x und y = Koordinaten eines beliebigen Punktes P des Absenkungstrichters.

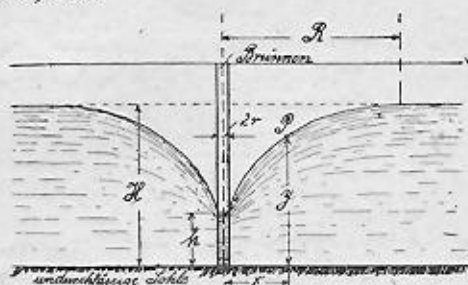


Abb. 148

Infolge wahren Wasserspiegels ist der Zufluss von allen Seiten bei durchlässiger Wand und undurchlässiger Sohle gleich groß.

Ist v_x die Geschwindigkeit, mit der das Wasser die gedachte Zylinderfläche $2 \times \pi \times y$ in der Richtung nach dem Mittelpunkt des Brunnens zu durchfließt, so ist dieser Zufluss:

$$Q = 2 \times \pi \times y \cdot v_x.$$

Für den durch die Koordinaten x und y bestimmten Punkt P ist die Geschwindigkeit:

$$v_x = k \cdot \frac{dy}{dx} = \text{Gefälle des Punktes } P.$$

In die erste Gleichung eingesetzt folgt:

$$Q = 2 \times \pi \times y \cdot \frac{dy}{dx} \cdot k$$

Daraus folgt die Differenzialgleichung:

$$y \cdot dy = \frac{Q}{2 \pi k} \cdot \frac{dx}{x}$$

Durch Integration folgt daraus:

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q}{2 \pi k} \log_{\text{nat}} x + C$$

An der Mantelfläche des Brunnens ist

$$x = r, y = h$$

somit berechnet sich hieraus die Constante C zu:

$$C = \frac{h^2}{2} - \frac{Q \log_{\text{nat}} r}{2 \pi k}$$

In Integrationsformel eingesetzt gibt:

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q \log_{\text{nat}} x}{2 \pi k} + \frac{h^2}{2} - \frac{Q \log_{\text{nat}} r}{2 \pi k}$$

$$y^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} (\log_{\text{nat}} x - \log_{\text{nat}} r)$$

$$(\log_{\text{nat}} x - \log_{\text{nat}} r) = \log_{\text{nat}} \frac{x}{r}$$

$$Q = \frac{(y^2 - h^2) \pi k}{\log_{\text{nat}} \frac{x}{r}}$$

Für die Grenzwerte $y = H$ und $x = R$ erhält man

$$Q = \pi k \frac{(H^2 - h^2)}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

Die Wassertiefe h im Brunnen bei gegebenem Brunnendurchmesser wird durch die zulässige Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers in den Brunnen bestimmt. Diese Geschwindigkeit muß zur Vermeidung von Verfassungen sehr klein sein. Nach Thiem ist z. B.: für die Korngröße von:

0—0,25	0,25—0,5	0,5—1	1—2	2—3 mm,
die entsprechende Geschwindigkeit, bei der das Korn gerade noch schwebt:				
0—2,9	3,5—6,9	7,5—9,6	1,1—1,7	1,8—8,2
cm/sec				

Die Eintrittsgeschwindigkeiten in den Brunnen müssen daher noch kleiner sein. Die Mächtigkeit der wasserführenden Schicht, die Größe H , ist durch Messungen zu ermitteln. Die Größe R , der äußerste Halbmesser des Absenkungstrichters, liegt bei flachem Grundwasserspiegel gewöhnlich zwischen 250 und 500 m, kann aber bei stark steigendem Grundwasserspiegel auch sehr viel kleiner werden. Innerhalb mäßiger Absenkungen bleibt R ziemlich unverändert.

Absenkung und Mächtigkeit der wasserführenden Schicht.

Die Absenkung sei $s = H - h$ (Siehe Abbildung 149).

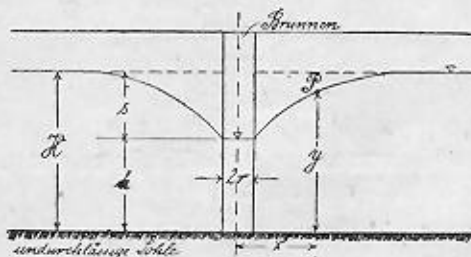


Abb. 149

Aus der Gleichung

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}} \text{ folgt:}$$

$$h = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

daraus ergibt sich die Absenkung s zu:

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

Diese Formel sagt uns, daß bei gleichbleibender Menge Q die Absenkung um so größer sein muß, je kleiner H , das ist die Mächtigkeit der wasserführenden Schicht, ist.

Für einen Brunnen von $r = 1,0$ m mit einer Liefermenge von $Q = 50$ l/sec. und $R = 1000$ m würden folgende H und s beobachtet werden müssen. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 0,002$:

Höhe der wasserführenden

Schicht H in m	Absenkung s in m
8	5,0
10	3,5
12	2,8
14	2,2
16	1,8
18	1,6
20	1,5
25	1,0
30	0,80

Nach der Formel:

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

berechnen diese Werte sich folgendermaßen:

$$\frac{Q}{\pi k} \cdot \log_{\text{nat}} \frac{R}{r} = \frac{0,05}{3,14 \cdot 0,002} \cdot \log_{\text{nat}} \left(\frac{1000}{1} \right)$$

(Q in m^3/sec einzusetzen).

$$\log_{\text{nat}} \left(\frac{1000}{1} \right) = 6,91$$

$$\frac{Q}{\pi k} \log_{\text{nat}} \frac{R}{r} = \frac{0,05 \cdot 6,91}{3,14 \cdot 0,001} = 55$$

für $H = 8$ m

$$s = 8 - \sqrt{64 - 55} = 5 \text{ m}$$

für $H = 20$ m

$$s = 20 - \sqrt{400 - 55} = 1,5$$

Wassermenge und Absenkung.

Wird in die Gleichung

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

die Absenkung

$$s = H - h$$

eingesetzt, so geht sie über in

$$Q = \pi k \frac{(2H - s) s}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

Ist z. B. für die Absenkung s_1 die zugehörige Wassermenge Q_1 bekannt, so kann man für eine Senkung s_2 die zugehörige Wassermenge Q_2 berechnen:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{(2H - s_1) s_1}{(2H - s_2) s_2}$$

$$Q_2 = \frac{(2H - s_2) s_2 \cdot Q_1}{(2H - s_1) s_1}$$

Bei größerer Stärke der wasserführenden Schicht wird der Wert des Bruches $\frac{2H - s_2}{2H - s_1} \approx 1$ Die Ergiebigkeit wächst also in diesem Falle mit den Absenkung, d. h. eine doppelte Absenkung gibt die doppelte Menge usw.

Brunnen Durchmesser

und Ergiebigkeit.

$$\text{Aus der Gleichung } Q = \pi k \frac{(H^2 - h^2)}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

folgt, daß die Zunahme der Ergiebigkeit infolge der Vergrößerung des Brunnenhalbmessers r nur gering sein kann. Der Einfluß der wasserführenden Schicht durch die Zunahme von H ist viel größer.

Beispielsweise verhalten sich die Ergiebigkeiten Q_1 und Q_2 von zwei Brunnen mit den Halbmessern r_1 und r_2 :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r_2}}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r_1}}$$

Ist z. B. $r_1 = 0,25$ m, $r_2 = 2,0$ m, $R = 500$ m

so folgt:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\log_{\text{nat}} \frac{500}{2}}{\log_{\text{nat}} \frac{500}{0,25}} = \frac{5,5}{7,6}$$

Das heißt: Ein Brunnen von 0,5 m i. L. Durchmesser liefert theoretisch unter sonst gleichen Verhältnissen etwa $\frac{1}{3}$ der Menge, die ein Brunnen von 4,0 m i. L. Durchmesser gibt und etwa 55 Prozent derjenigen eines Brunnen von 8,0 m i. L. Durchmesser.

Der Billigkeit halber sind also Brunnen mit kleinem Durchmesser vorzuziehen, vorausgesetzt, daß die wasserführende Schicht nicht allzu fein ist. Durch die größere Eintrittsgeschwindigkeit wächst die Gefahr der Versandung.

In gut durchlässigem Boden sollten Brunnendurchmesser über 1 m nicht ausgeführt werden.

Nach Prinz kann bei mittleren Bodenschwierigkeiten und bei mittleren Herstellungskosten der Durchmesser eines Brunnens auf etwa 20–25 cm angenommen werden, wenn bei einem Mindestaufwand an Kosten die größte Ergiebigkeit erreicht werden soll.

Die Absenkungskurve.

Die Integrationsformel bei Ableitung der Brunnenenergiebigkeit unter Abschnitt a lautete

$$y^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} (\log_{\text{nat}} x - \log_{\text{nat}} r)$$

oder
$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \log_{\text{nat}} \frac{x}{r} + h^2$$

Es ist das die Gleichung einer Umdrehungsfläche, deren Achse die Brunnenachse ist. Die Achsenschnitte dieser Umdrehungsfläche sind Parabeln.

Mit Hilfe dieser Gleichung lassen sich die Absenkungskurven für jeden Achsenschnitt mathematisch zeichnen und damit die untere Scheitelung S bestimmen. Mit Hilfe der letzteren läßt sich in bekannter Weise die Entnahmegrenze für jede Absenkung angeben und damit beurteilen, ob ein Brunnen dem anderen Wasser entzieht, ob ein benachbarter Schmutzherd für einen Brunnen gefährlich werden kann usw.

Mit Hilfe dieser Gleichung lassen sich also diese überaus wichtigen Bestimmungen ohne umfangreiches Abbohren der Brunnenumgebung erzielen. Notwendig ist lediglich Messen der Absenkung h und der geförderten Wassermenge Q , dann die Ermittlung des Durchflußbeiwertes von k .

b) Ergiebigkeitsformel für Brunnen mit gespanntem Spiegel.

Auch hier wird vorausgesetzt, daß Wasserpiegel und die beiden undurch-

lässigen Schichten (u die untere und o die obere Abb. 150) parallel laufen. Weiter können die Eintrittswiderstände als sehr klein vernachlässigt werden. Da der Brunnen auf der unteren undurchlässigen Schicht aufsteht, findet seine Speisung auch hier nur von den Seiten aus statt. Wie Abb. 150 zeigt, reicht das

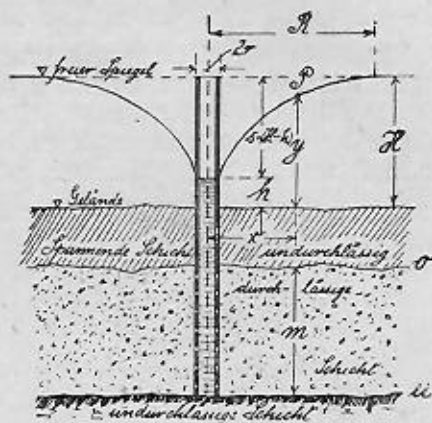


Abb. 150.

Brunnenrohr über Fluß bis zum freien Wasserpiegel. Bis dahin wird im Rohr das unter Druck stehende Grundwasser steigen.

Die Größen x , y , R , r , k und p haben dieselbe Bedeutung wie früher beim Brunnens mit freiem Spiegel.

m = Mächtigkeit der wasserführenden Schicht,

h = Wasserstand im Brunnenrohr, bei der Entnahme Q ,

H = Steighöhe im Brunnenrohr, wenn keine Entnahme stattfindet.

Liegt einer von den Spiegeln unter Fluß, so wird das entsprechende h negativ, indem H und h von Flußoberkante aus zu rechnen sind.

Bei der Ableitung der Ergiebigkeitsformel geht man von Abb. 150 aus. Der seitliche Wasserzutritt in den Brunnen findet nur längs der durchlässigen Schicht m statt. Nach Darcy ist wieder:

$$p v = k \frac{dy}{dx}$$

$\frac{dy}{dx}$ = Wasserpiegelgefälle des beliebigen Punktes P . Die durch den Punkt P

bestimmte Zylindermantelfläche ist $2x\pi m$, soweit die wasserdurchlässige Schicht in Frage kommt. Die durch diese Zylinderfläche hindurchgehende Wassermenge Q ist Mantelfläche $2x\pi m$ mal Wassergeschwindigkeit pv , also

$$Q = 2x\pi mpv = 2x\pi mk \frac{dy}{dx}$$

Die Absenkungskurve denken wir uns aus sehr vielen Punkten P zusammengesetzt. Dann ist die dem Brunnen zuströmende Menge Q dadurch zu erhalten, daß man die vielen Zylinderflächen der Punkte P multipliziert mit der veränderlichen Geschwindigkeit $k \frac{dy}{dx}$ aller der vielen Punkte P .

$$Q = 2x\pi mk \frac{dy}{dx}$$

$$dy = \frac{Q}{2m\pi k} \frac{dx}{x}$$

$$y = \frac{Q}{2m\pi k} \int \frac{dx}{x}$$

$$y = \frac{Q}{2m\pi k} \log_{\text{nat}} x + C$$

Die Constante C wird dadurch gefunden, daß für

$y = h, x = r$ gesetzt wird, das ist an der Mantelfläche des Brunnens.

$$h = \frac{Q}{2m\pi k} \log_{\text{nat}} r + C, C = h - \frac{Q}{2m\pi k} \log_{\text{nat}} r$$

$$y = \frac{Q}{2m\pi k} \log_{\text{nat}} x + h - \frac{Q}{2m\pi k} \log_{\text{nat}} r$$

$$Q = \frac{(y-h) 2m\pi k}{\log_{\text{nat}} \frac{x}{r}}$$

für $y = H, x = R$ folgt

$$Q = 2m\pi k \frac{H-h}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

c) Ergiebigkeitsformel für wagerechte Brunnen.

Wenn der Grundwasserträger von geringer Mächtigkeit ist, so wird an Stelle eines senkrechten Brunnens ein wagerechter Fassungskanal vorteilhafter. Es wird wieder angenommen, daß Wasserpiegel und undurchlässige Sohle parallel laufen, daß der Kanal auf letzterer aufsteht, also nur von den Seiten gespeist wird. Die Eintritts-

widerstände können vernachlässigt werden. Nach Abb. 151 ist:

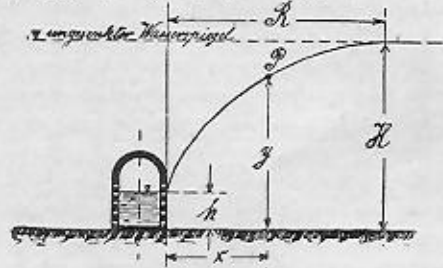


Abb. 151

H = Mächtigkeit der wasserführenden Schicht,

h = Wasserstand im Kanal,

L = Länge des Kanals,

x und y = Koordination des beliebigen Punktes P der Absenkungskurve,

k = Durchlässigkeitsbeiwert.

Die auf einer Seite des Kanals zuströmende Wassermenge für die Länge L folgt aus der Gleichung:

$$Q = k \cdot yL \frac{dy}{dx}$$

yL ist die Durchflußfläche für den beliebigen Punkt P . Die Durchflußgeschwindigkeit durch diese Fläche ist

wieder $k \frac{dy}{dx}$

Die Gesamtwassermenge Q ist das Produkt aus den veränderlichen Durchflußflächen yL und den veränderlichen Geschwindigkeiten $k \frac{dy}{dx}$ aller Punkte P der Absenkungskurve.

$$y dy = \frac{Q}{kL} dx$$

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q}{kL} x + C$$

für $x = 0$ wird $y = h$, also

$$C = \frac{h^2}{2}$$

$$\frac{y^2}{2} - \frac{h^2}{2} = \frac{Q}{kL} x$$

$$y^2 - h^2 = \frac{2Q}{kL} x$$

$$Q = \frac{(y^2 - h^2) kL}{2x}$$

für die Grenzwerte $y = H$ und $x = R$ folgt endlich

$$Q = kL \frac{(H^2 - h^2)}{2R}$$

Findet der Zufluß doppelseitig statt, so wird Q doppelt so groß, also

$$Q = kL \frac{H^2 - h^2}{R}$$

Nach Forchheimer ist bei kürzeren Kanälen von der Länge L die Ergiebigkeit so groß wie die eines Brunnens vom Durchmesser $\frac{L}{2}$.

Die Höhe H der wasserführenden Schicht wird durch Bohrungen zu ermitteln sein. Die Größe R, wo die Absenkungskurve den ungesenkten Grundwasserspiegel berührt, wird durch zeichnerische Darstellung gefunden, indem durch Bohrlöcher die verschiedenen Absenkungen gemessen werden, oder man bestimmt sie rechnerisch aus der abgeleiteten Gleichung $y^2 - h^2 = \frac{2Q}{kL} x$. Soll eine bestimmte Wassermenge M pro Sekunde durch einen einseitig gespeisten Kanal gewonnen werden, so ist dessen Länge

$$l = \frac{M \cdot 2R}{k(H^2 - h^2)}$$

Da die Geschwindigkeit des Wassers um so größer werden muß, je näher es dem Kanal kommt, so wird man ihn der besseren Durchlässigkeit wegen mit Steinschlag oder grobem Kies umpacken.

Das Darcysche Ergiebigkeitsgesetz.

a) Brunnen mit freiem Spiegel.

Wird die Ergiebigkeitsformel dieses Brunnens

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

nach der Absenkungshöhe $s = H - h$ entwickelt, so erhält man folgende Form:

$$(H^2 - h^2) = \frac{Q \cdot \log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}{\pi k}$$

$$\frac{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}{\pi k} = c$$

$$H^2 - h^2 = c Q$$

Wird die Absenkung $s = H$, also der Wasserstand h im Brunnen = Null, so geht die Gleichung über in

$$H^2 = c Q$$

Es ist dies die Scheiteltgleichung der Parabel $y^2 = cx$. Die Beziehungen zwischen Ergiebigkeit Q und Absenkung s ersieht man aus Abb. 152:

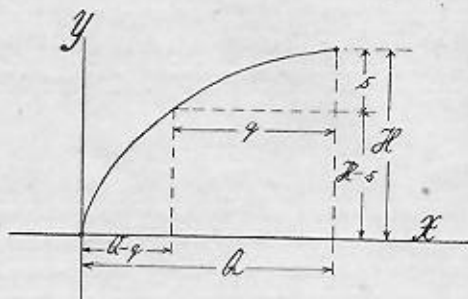


Abb. 152

$$(H-s)^2 = c(Q-q)$$

$$c = \frac{H^2}{Q}$$

$$(H-s)^2 = \frac{H^2}{Q}(Q-q)$$

In dieser Gleichung bezeichnen:

s = Absenkung,

q = Menge,

H = theoretisch höchstmögliche Absenkung,

Q = größte Wassermenge bei H Absenkung.

Die Anwendung der Gleichung ist folgende:

Man beobachtet bei 2 verschiedenen Absenkungen s_1 und s_2 die zugehörigen Wassermengen q_1 und q_2 . Beobachtet man ferner, daß bei der Absenkung $s = 0$ die Ergiebigkeit $q = 0$ ist, so kann man aus der Zeichnung die Werte c, H und Q praktisch ermitteln.

Beispiel. Bei einem Versuchsbrunnen bei Kiel wurden gefunden:

$$s_1 = 3,24 \text{ m } q_1 = 7480 \text{ m}^3/\text{Tag}$$

$$s_2 = 4,98 \text{ m } q_2 = 10540 \text{ " "}$$

daraus entstehen die Gleichungen:

$$(H-3,24)^2 = c(Q-7480)$$

$$(H-4,98)^2 = c(Q-10540)$$

$$H^2 = cQ$$

Aus diesen 3 Gleichungen folgt durch Auflösen oder durch Probieren

$$H = 12,07 \text{ m, } Q = 16098 \text{ m}^3, c = 0,00905$$

Bei einer zulässigen Absenkung des

Grundwassers von $s = 7,00$ m war folgende Menge q zu erwarten:

$$(H-7)^2 = c(Q-q)$$

$$(12,07-7)^2 = 0,00905(16098-q)$$

daraus folgt $q = 13260$ m³/Tag

Für den Versuchsbrunnen im Gleisental bei München fand M. Thiem die Gleichung:

$$(6,54-s)^2 = 0,215(199,9-q)$$

Es standen 4 Beobachtungen der Menge und der zugehörigen Absenkungen zur Verfügung. Bei 6,5 m Absenkung war der Brunnen an der Grenze seiner Ergiebigkeit angekommen. Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der beobachteten und errechneten Werte:

Absenkung m	Menge in l/sec.		
	beobachtet	berechnet	Fehler
6,54	—	199,9	—
5,09	190	190,1	+0,1
3,84	163	166,0	+3,0
2,89	141	138	-3,0
1,39	78	76,7	-1,3
0,00	0	1,2	+1,2

Rechnung und Beobachtung stimmt hier tadellos überein, wie es auch in anderen zahlreichen Fällen gefunden worden ist. Eine unbedingte Nichtigkeit des Darcyschen Gesetzes ist allerdings hierdurch noch nicht gegeben. Sie wäre es nur dann, wenn das berechnete H die tatsächliche Höhe der wasserführenden Schicht ergeben würde.

* * *

b) Brunnen mit gespanntem Spiegel.

Die Ergiebigkeitsgleichung für gespannte Spiegel ist

$$Q = 2\pi km \frac{H-h}{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}$$

Entwickelt man diese Formel nach der Absenkungshöhe $s = H-h$, so erhält man

$$(H-h) = Q \frac{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}{2\pi km}$$

Bezeichnet man die Veränderlichen

$(H-h)$ und Q mit y und x , weiter den

Faktor $\frac{\log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}{2\pi km}$ mit c , so geht die Gleichung über in:

$$y = cx$$

Es ist das die Gleichung einer Geraden. Bei Brunnen mit gespanntem Spiegel stehen also Menge und Absenkung im geradlinigen Verhältnis zueinander. Dieses Gesetz gilt jedoch nur dann, wenn in der Brunnenwand die Reibungswiderstände und im Untergrund die sonstigen Widerstände vernachlässigt werden können. Ist das nicht der Fall, so ist die Absenkung $(H-h)$ um den Durchgangswiderstand zu verringern.

Nach Beobachtungen besteht zwischen Menge und Absenkung unter Berücksichtigung der vorher genannten Widerstände die Bezeichnung:

$$(H-h) = cQ + c_1Q^2$$

oder: $y = cx + c_1x^2$

c und c_1 sind Konstante.

Diese Gleichung stellt eine Parabel vor, deren Achse lotrecht verläuft. Der Scheitel dieser Parabel hat die Koordinaten (siehe Abb. 153):

$$AB = -\frac{c}{2c_1}, \quad BC = -\frac{c^2}{4c_1}$$

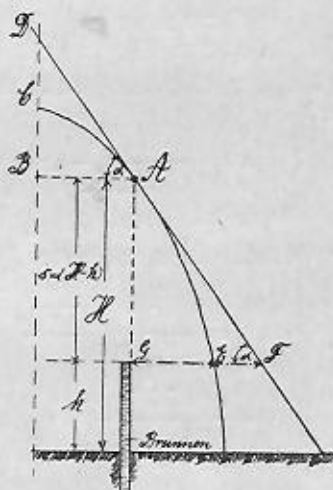


Abb. 153

Man findet diese Koordinaten dadurch, daß die Tangente im Punkt C wagrecht liegt, ihr Neigungswinkel

gegen die Waagrechte ist also Null

$$\tan \alpha_1 = \frac{dy}{dx} = c - 2 c_1 x = 0$$

Der Koordinatenanfangspunkt A liegt im höchsten, ungespannten Wasserspiegel in der verlängerten Brunnenwand (Abb. 154). Legt man in A eine Tangente an die Parabel, so wird

$$\overline{DB} = \frac{c_2}{2c_1} = 2 \overline{BC}, \text{ also } \tan \alpha = \frac{\overline{BD}}{\overline{AB}} = c.$$

Verlängert man den abgesenkten Wasserspiegel, so schneidet dieser die Parabel in E, die Tangente in F. Aus Dreieck AGF folgt:

$$\overline{GF} = \frac{H-h}{\tan \alpha} = \frac{H-h}{c}$$

Der Wert $Q = \frac{H-h}{c}$ entspricht aber der Menge, die von einem Brunnen ohne Durchgangswiderstand geliefert wird, die Strecke \overline{GF} stellt diese Menge also

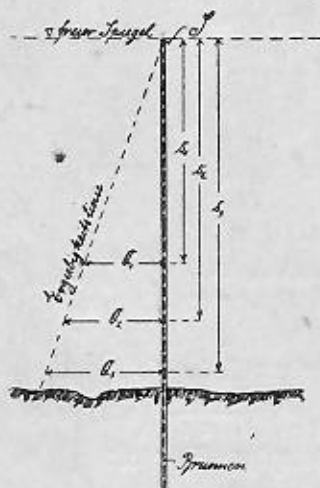


Abb. 154

bildlich dar. Dagegen stellt GE die tatsächliche Menge bei derselben Absenkung mit Durchgangswiderstand dar. Liegen also bei einem Brunnen verschiedene Messungen Q und die entsprechenden Absenkungen $s = H-h$ vor, so kann man sie folgendermaßen auftragen:

Ist die Ergiebigkeitslinie, wie gezeichnet, eine Gerade, so liegt gespannter Spiegel vor. Die Verlängerung der Ergiebigkeitslinie bis zum Schnitt S mit der verlängerten Brunnenachse gibt den annähernd freien Spiegel.

Saben diese Messungen zu einer Parabel geführt, so läßt sich durch Zeichnung der Tangente im Koordinatenanfangspunkt A (Abb. 154) zu jeder beliebigen Absenkung $(H-h)$ in der Strecke \overline{EF} die Menge finden, die infolge Eintrittswiderstände dem Brunnen verloren geht. Durch eine Erweiterung des Brunnens oder durch Anlage eines zweiten in der Nachbarschaft ist diese Menge \overline{EF} schließlich noch zuzugewinnen.

Das abgeleitete Darcysche Ergiebigkeitsgesetz liefert für gespannte Spiegel praktisch brauchbare Werte, wie A. Thiem durch tatsächliche Beobachtung nachgewiesen hat.

Beispielsweise zeigt folgende Tabelle die Beobachtungs- und Rechnungswerte eines Versuchsbrunnens der Leipziger Wasserversorgung:

Versuchsbrunnen I

Ergiebigkeit l/sec	Absenkung in m	
	beobachtet	berechnet
0	0,00	0,00
34	2,75	2,72
54	4,30	4,32
70	5,60	5,60

Ähnlich gute Übereinstimmungen bei Brunnen mit gespanntem Spiegel fanden A. Thiem und E. Prinz bei anderen Versuchsbrunnen.

Übergang vom gespannten zum freien Spiegel.

Bei großer Entnahme tritt oft der Fall ein, daß in der Nachbarschaft des Brunnens der Spiegel sich von der undurchlässigen Deckschicht trennt und frei wird. Das zeigt sich an dem Übergang der geradlinigen Beobachtungen in parabolische. Diese Tatsache ist wichtig, wenn der gespannte Spiegel unter Flur liegt, da bei einer fertigen Brunnenanlage man oft im Zweifel darüber sein kann, ob der Wasserspiegel frei oder gespannt ist. Darüber wird also unter Umständen das abgeleitete Darcysche Ergiebigkeitsgesetz Aufschluß geben.

Das Thiem'sche Verfahren

zur Bestimmung von „k“ oder der Einheitsergiebigkeit e.

In den abgeleiteten Brunnen-ergiebigkeitsformeln spielte der Durchlässigkeitsbeiwert k die Hauptrolle. Denn von seiner richtigen Wahl oder Bestimmung hängt die Genauigkeit der mit Hilfe der Formeln durchgeführten Berechnungen ab. Darcy bestimmte k durch Laboratoriumsversuch, indem er Wasser durch ungewaschenen Filtersand hindurchgehen ließ und dabei die schon erwähnte Formel genau genug bestätigt fand:

$$\frac{Q}{F} = pv = k \frac{h}{l} \quad (\text{Darcysches Gesetz})$$

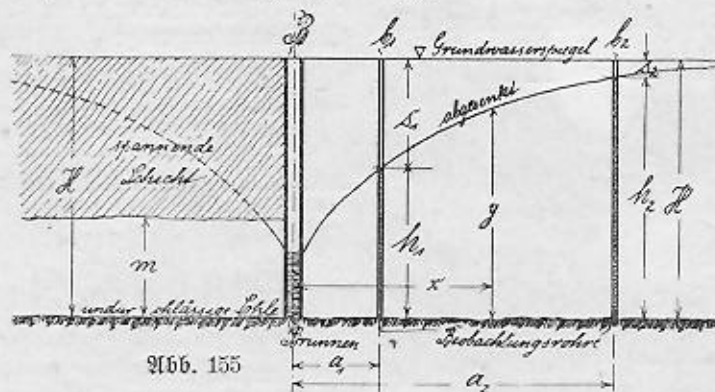
Bei der Bestimmung von Grundwassermengen ist die Ermittlung des

durch die Entnahme der Menge Q aus dem Rohrbrunnen B (Abb. 155).

In der Entfernung a_1 und a_2 sind die Beobachtungsrohre b_1 und b_2 niedergebacht. Während der Entnahme Q im Rohrbrunnen B werden die Wasserstände h_1 und h_2 in den Beobachtungsrohren festgestellt, wenn es sich um freien oder gespannten Grundwasserspiegel handelt. Diese Wasserstände h werden dadurch gefunden, daß man von der Höhe H die Absenkung s abzieht, also:

$$h_1 = H - s_1 \qquad h_2 = H - s_2$$

Die Absenkungskurve, die durch die Spiegelstände in B, b_1 und b_2 bestimmt ist, hat die Gleichung:



Durchlässigkeitsbeiwerts k im natürlich gelagerten Untergrund am besten. Diese Bestimmung ist durch den Bau und Betrieb von Versuchsbrunnen am zuverlässigsten. Die dafür aufzuwendenden Kosten sind allerdings groß. Durch das Thiem'sche Verfahren, auch ϵ -Verfahren genannt (ϵ = griech. Buchstabe epsilon) wird der teure Versuchsbrunnenbetrieb in manchen Fällen vermieden. A. Thiem entwickelte dieses Verfahren erstmalig bei den Vorarbeiten zur Wasserversorgung von Leipzig und Prag.

Der Versuchsbrunnenbetrieb ist ein Pumpversuchen im großen. Das Thiem'sche Verfahren begnügt sich mit einem solchen im kleinen. Es geschieht

bei freiem Spiegel:

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \log_{\text{nat}} x + C$$

bei gespanntem Spiegel:

$$y = \frac{Q}{2 \pi k m} \log_{\text{nat}} x + C$$

für x und y werden die beobachteten Werte a_1 und h_1 , a_2 und h_2 eingeführt.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k wird durch e ersetzt, das als Einheitsergiebigkeit bezeichnet werden soll. Sie wird folgendermaßen gedeutet:

Nach Darcy ist:

$$\frac{Q}{F} = k \frac{h}{l}$$

$$k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}$$

Für $F = 1$ und $\frac{h}{l} = 1$ wird $k = Q = e$.

Die Einheitsergiebigkeit e ist also die sekundliche Durchflußmenge in m^3 durch die Fläche von $1 m^2$ bei dem Gefälle $\frac{h}{l} = 1$.

Für freie Spiegel ergibt sich nach Einsetzen dieser Werte:

$$h_2^2 = \frac{Q}{\pi e} \lognat a_2 + C$$

$$h_1^2 = \frac{Q}{\pi e} \lognat a_1 + C$$

$$h_2^2 - h_1^2 = \frac{Q}{\pi e} (\lognat a_2 - \lognat a_1)$$

$$e = \frac{Q (\lognat a_2 - \lognat a_1)}{\pi (h_2^2 - h_1^2)}$$

$$h_2^2 - h_1^2 = (h_2 - h_1)(h_2 + h_1) = (h_2 + h_1)(s_1 - s_2)$$

$$e = \frac{Q (\lognat a_2 - \lognat a_1)}{\pi (h_2 + h_1)(s_1 - s_2)}$$

Für gespannte Spiegel folgt:

$$h_2 = \frac{Q}{2\pi e m} \lognat a_2 + C$$

$$h_1 = \frac{Q}{2\pi e m} \lognat a_1 + C$$

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi e m} (\lognat a_2 - \lognat a_1)$$

$$e = \frac{Q (\lognat a_2 - \lognat a_1)}{2\pi m (h_2 - h_1)}$$

$$h_2 - h_1 = s_1 - s_2$$

$$e = \frac{Q (\lognat a_2 - \lognat a_1)}{2\pi m (s_1 - s_2)}$$

Die so ermittelten Einheitsergiebigkeiten e gelten als Mittelwerte für einen Querschnitt f zu beiden Seiten der Versuchsstelle. Die in diesem Querschnitt zu gewinnende Grundwassermenge beträgt:

$$q = e \cdot f \cdot i.$$

i = dem ermittelten örtlichen Grundwasserspiegelgefälle.

Praktische Winke zur Aus- führung des Thienschen Verfahrens.

Für die Berechnung der Querschnittsfläche f gilt, daß sie senkrecht zur Fließrichtung des Grundwasserstromes liegt. Diese Stromrichtung muß also zuerst gesucht werden. Das geschieht folgendermaßen:

An jeder Versuchsstelle werden zu-

nächst drei Bohrungen zu Spiegelbeobachtungen hergestellt. Sie bilden ungefähr die Figur eines gleichseitigen Dreiecks im Grundriß. Die Länge der Dreiecksseite soll höchstens 50—100 m betragen. Die Entfernung der Bohrlochgruppen (s. Abb. 156) soll bei regel-

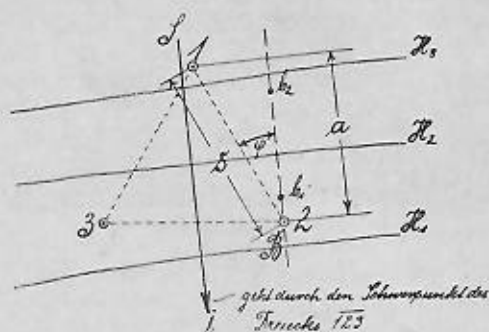


Abb. 156

mäßig gebauten Grundwasserträgern rund 500—800 m betragen, bei solchen von Untergrundstörungen 150—200 m nicht überschreiten. Man wird versuchen, die eine Seite des Dreiecks 123, z. B. 12, in die Richtung des Grundwasserspiegels zu legen. Das örtliche Spiegelgefälle i beträgt dann:

Höhenunterschied zwischen Bohrloch 1 u. 2

Entfernung 12

Für gewöhnlich aben wird die Stromrichtung mit der Seite 12 den Winkel φ einschließen. Bezeichnen h_1 und h_2 die beobachteten Spiegelhöhen in den Bohrlochern 1 u. 2, a ihre in Richtung des Gefälles gemessene Entfernung, diejenige der Bohrlöcher 1 und 2 = s , so folgt:

$$i = \frac{h_2 - h_1}{s \cdot \cos \varphi} \quad (\text{Siehe Abb. 156})$$

Die Stromrichtung $i = S$ findet man auf die bekannte Weise mit Hilfe der Grundwasserhorizontalen oder Tiefenlinien H . Sie sind das Ergebnis der einzelnen Bohrlochgruppen I, II, III usw. (s. Abb. 156.) Die Stromrichtungen S selbst stehen senkrecht auf den Tiefenlinien H .

Ist das Gefälle i innerhalb einer Bohrgruppe bestimmt, so baut man eine der Bohrungen als Rohrbrunnen aus,

z. B. 2, und bringt die beiden Beobachtungsrohre b_1 und b_2 stromaufwärts von Rohrbrunnen 2 in der Entfernung a_1 und a_2 nieder. (Abb. 156.)

Liegt die Bohrung 1 günstig zur Stromrichtung, so kann sie an Stelle des Beobachtungsrohres b_2 treten. Rohrbrunnen und Beobachtungsrohre müssen so angelegt werden, daß eine Abjüngung von mindestens 2 m möglich ist. Am genauesten ist es, die Filter bis zur undurchlässigen Sohle reichen zu lassen; dies wird jedoch teuer. Reichen die Brunnen nicht bis zur undurchlässigen Sohle, so erhält man zu kleine Mengen,

zeigt. Man erkennt die „Spiegelfechtheit“ daran, daß man mittels Handpumpe das Beobachtungsrohr kurz, aber kräftig abpumpt und dann beobachtet, ob sich der alte Spiegel rasch wieder einstellt.

Die richtige und scharfe Bestimmung des Grundwassergefälles ist außerordentlich wichtig, denn es ist ein sehr kleiner Wert. Die Entfernungen a_1 und a_2 der Beobachtungsrohre (Abb. 156) sollten daher so gewählt werden, daß i mit größter Genauigkeit gemessen werden kann. Es empfiehlt sich für $a_1 = 5$ bis 10 m, während a_2 zwischen 20 bzw. 60 und 100 m lang sein kann. Es darf

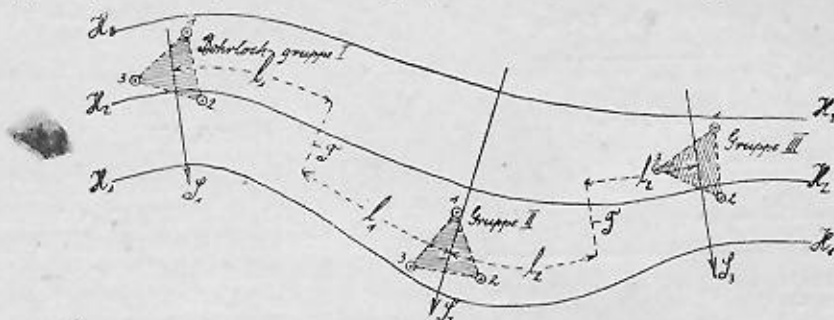


Abb. 157.

also vorsichtige Werte. Das Abpumpen des Rohrbrunnens muß bis zum möglichen Beharrungszustand dauern. Das Pumpen selbst soll möglichst gleichmäßig geschehen. Während desselben sind bei kleinen Entnahmemengen alle 15–20 Minuten Wassermessungen vorzunehmen, bei größeren Versuchszeiten genügen 1–2 Stunden, wenn nicht mittels Ueberfalls dauernd gemessen wird.

Der Filterstutzen der Beobachtungsrohre soll mindestens 1 m lang sein. Zweckes zuverlässigen Spiegelangaben sind die Bohrröhre selbst nicht als Beobachtungsrohre zu verwenden, sondern besondere $\frac{1}{2}$ zöllige Beobachtungsrohre einzusetzen. Sie sind über die ganze Grundwasserhöhe zu schlüzen. Zwischen Bohr- und Beobachtungsrohr ist Kies einzufüllen und dann das Bohrröhr zu ziehen. Die Spiegel der Beobachtungsrohre sind auf „Echtheit“ zu prüfen, ob das Röhr wirklich auch die tatsächliche Grundwasserhöhe an-

nicht zu groß werden, da sonst nicht mit Sicherheit auf konstantes Gefälle geschlossen werden kann. Sonst gelten die kleineren Entfernungen bei a_2 für die größeren Gefälle.

Bestimmung
der Querschnittslänge der einzelnen Bohrlochgruppen.

Wie schon erwähnt, werden aus sämtlichen Bohrungen für die untersuchte Strecke die Grundwasserhorizontalen H gezeichnet, wie Abb. 157 zeigt:

Durch den Schwerpunkt der einzelnen Bohrlochdreiecke I, II usw. zieht man die örtlichen Stromrichtungen S_1, S_2 usw. Sie stehen senkrecht auf H_1, H_2 usw. Durch die Schwerpunkte der Bohrlochdreiecke zieht man die Grundwasserhorizontalen l_1, l_2 usw. Durch die Strömungsrichtungslinien T werden die Längen l zwischen zwei benachbarten Bohrlochdreiecken in gleiche Teile geteilt. Die T stehen wieder senkrecht auf den zugehörigen H und l . Auf diese

Weise erhält man für jede Bohrlochgruppe die zugehörige Querschnittslänge. Beispielsweise beträgt diejenige für Gruppe II

$$L_2 = l_1 + l_2.$$

Wie man sieht, kann der Unterschied zwischen der tatsächlichen Entfernung und der Entfernung L zweier Bohrlochgruppen recht groß sein.

Der Wert von e ändert sich von Ort zu Ort. Er ist aber unabhängig von der Zeit. Dasselbe gilt von der Querschnittslänge L. Bei freiem Spiegel schwankt die Durchflußhöhe mit dem Auf und Nieder der Spiegelfläche. Bei

gespanntem Spiegel ist dagegen die Durchflußhöhe unabhängig von den Spiegelschwankungen. Die größten Schwankungen zeigt das Spiegelgefälle i, besonders in der Nähe von Flüssen.

Als praktisches Beispiel der Ermittlung von Grundwassermengen mit Hilfe dieses Verfahrens verweise ich auf die Untersuchung des rechten Muldetales bei Caniz, ausgeführt und näher beschrieben durch M. Thiem. Folgende Tabelle soll ein Beispiel für die Auswertung von e und für die Berechnung von q für die einzelnen Bohrlochgruppen geben:

1. Auswertung von e für die Bohrlochgruppen bei . . .

für freien Spiegel:

$$e = \frac{Q (\log nat a_2 - \log nat a_1)}{\pi (n_1 + n_2) (s_1 - s_2)}$$

für gespannten Spiegel:

$$e = \frac{Q (\log nat a_2 - \log nat a_1)}{2 \pi m (s_1 - s_2)}$$

Nr.	Gruppe n. Spiegel- zustand	Förder- menge Q m ³ /sec	Abstand d. Bohrung a ₂ m	a ₁ m	log nat a ₂	log nat a ₁	log nat a ₂ — log nat a ₁	Stärke der wasser- führenden Schicht m	h ₂ m	h ¹ m	h ₂ + h ₁ m	s ₁ m	s ₂ m	$\frac{s_1 - s_2}{m}$	Einheits- ergiebig- keit e
1	35—36 gespannt	0,00414	80	10	4,3820	2,3026	2,0794	2,85	—	—	—	0,796	0,632	0,164	0,00293
20	53—54 frei	0,00329	20	10	2,9957	2,3026	0,6931	8,10	8,044	8,041	16,085	—	—	0,003	0,0151

Die Werte e aus der letzten Spalte ergeben sich aus folgenden Zahlen-

gleichungen: für Nr. 1: $e = \frac{0,00414 \cdot 2,0794}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,85 \cdot 0,164} = 0,00293$; für Nr. 2: $e = \frac{0,00329 \cdot 0,6931}{3,14 \cdot 16,085 \cdot 0,003} = 0,0151$

2. Berechnung von q für die Bohrlochgruppen bei . . .

$$q = e \cdot f \cdot i$$

Nr.	Gruppe mit Spiegel- zustand	Einheits- ergiebig- keit e	Mittl. Gefälle zwischen 2 Bohrungen i ₁	Unterschied zwischen gemessener und größer Gefällrichtung	cos φ	$i = \frac{i_1}{\cos \varphi}$	Profil- länge l ₁ + l ₂ m	Mächtigkeit der wasser- führenden Schicht m	Profil- fläche m ²	Er- giebig- keit qm ² /sec
1	35—36 gespannt	0,00293	0,0001	0°	1,000	0,0001	0	2,85	0,00	0,00
2	53—54 frei	0,0151	0,0005	30°	0,8660	0,0006	560	8,10	4536	0,0411

Die Werte q der letzten Spalte ergeben sich z. B. für Nr. 2 aus folgender

$$q = 0,0151 \cdot 4536 \cdot 0,0006 = 0,0411 \text{ m}^2/\text{sec.}$$

Die folgende Zusammenstellung zeigt einige Erfahrungswerte von e . Nach A. Thiem, dem Erfinder des Verfahrens, ist $e = 0,002$ 1/sec als günstig zu bezeichnen.

Versuchsfeld	Wert von e 1/sec.		
	kleinster	größter	mittlerer
Leipzig (linkes Muldenufer) . .	0,00032	0,00705	0,0020
Leipzig (rechtes Muldenufer) . .	0,00082	0,0301	0,0106
Prag (freier Spiegel)	—	—	0 00342
Prag (gespannter Spiegel)	—	—	0,0035
M.-Glabbad	0,00096	0,00603	0,00349
Charlottenburg	0,0007	0,0030	0,0019
Düsseldorf	0,00065	0,0163	0,0085
Württemberg. Landeswasser- versorgung	0,00035	0,01793	0,00664

Anwendbarkeit des Thiem'schen Verfahrens.

Bei Grundwasserträgern von großer Mächtigkeit und regelmäßigem Aufbau kann das Verfahren gute Dienste leisten. In ausnahmsweise günstigen Fällen kann es sogar die Ergebnisse eines Versuchsbrunnenbetriebes ersetzen.

Die Fehlerquellen des Verfahrens sind rechnerischer und praktischer Art. Bei der Ableitung der Formeln ist Parallelismus zwischen Wasserpiegel und undurchlässiger Sohle, sowie gleichmäßige Durchlässigkeit angenommen worden. Praktisch gelingt es schwer, Annäherung an den Beharrungszustand zu erreichen, ferner ist es oft infolge der kurzen Beobachtungszeit unmöglich, das tatsächliche Grundwassergerinne hinreichend genau zu bestimmen, besonders bei gespannten Spiegeln.

Kap. 27.

Entfernung und Tiefe von Brunnen

In den Kapiteln über Wirkungsweise, Entnahme- und Einwirkungsbereich von Brunnen, ihre Berechnung ist gezeigt worden, daß die gegenseitige Entfernung von Brunnen abhängt von der Ergiebigkeit des Wasserträgers, seiner Mächtigkeit, von der Absenkung und Entnahmemenge und schließlich vom Brunnendurchmesser.

Praktisch ist es nicht möglich, die Brunnen so zu setzen, daß sich ihre Entnahmegrenzen dauernd berühren, denn Absenkung, Entnahmemenge und Stromergiebigkeit sind schwankend. Bei großer Stromergiebigkeit können die Brunnenabstände größer gewählt werden als die größten Entnahmbreiten. Sind diese durch die bekannten Vorarbeiten nicht sicher festzustellen, so empfiehlt sich der Einbau von Abzweigen an die Sammelleitung, an die dann nach Bedarf Zwischenbrunnen angeschlossen werden können.

In folgender Zusammenstellung gibt

Prinzip die Entfernung der Fassungsbrunnen von verschiedenen Anlagen:

A) Rohrbrunnen.

Wasserfassung	Brunnen-	
	Entfernung	Durchmesser
	m	m
Kiel	20	0,25
Leipzig	21	0,18
Salzwedel, Stendal	21	0,18
Berlin-Müggelsee 25 (Mittel)		0,15
Hannover-Elze	29	0,15
Prag	21—44	0,18
Kopenhagen	50	0,13
Frankfurt a. M.	66	0,60
Baku	106	1,00

B) Schachtbrunnen.

Frankfurt a. M. (Wertheim)	100	2,65
-------------------------------	-----	------

Bisweilen muß man mit den Brunnen in große Tiefen hinabgehen, wenn der Wasserträger sehr tief liegt oder wenn

er aus mehreren Stockwerken besteht. Dann erschließt man die tieferen, wenn deren Wasser besser und ihre Ergiebigkeit größer als die der oberen Stockwerke ist.

Fassungswiderstände.

Bei der Bewegung des Wassers im Untergrund treten Widerstände auf, ebenso beim Eintritt des Grundwassers in den Fassungskörper. Den Widerstand im Untergrund muß man als gegeben und unabänderlich in den Kauf nehmen, während man den Eintritts-

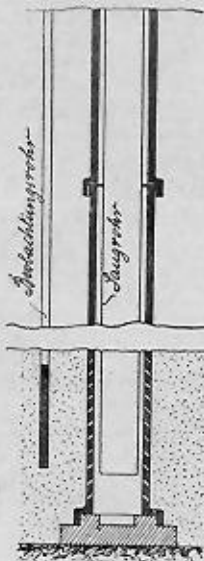


Abb. 158.

widerstand in die Fassung durch geeignete Bauweise auf ein Mindestmaß beschränken kann. Beispielsweise sind die Brunnenergiebigkeitsformeln unter der Voraussetzung verschwindend kleiner Eintrittswiderstände abgeleitet worden.

Das Messen der Eintrittswiderstände geschieht am besten mit Hilfe von Beobachtungsrohren, die unmittelbar an der äußeren Fassungswand angebracht werden, z. B. wie Abb. 158 zeigt:

Ohne solche bestimmt man annähernd den Eintrittswiderstand bei Brunnen mit freiem Spiegel nach folgendem Verfahren:

Das Abpumpen des Brunnens wird plötzlich unterbrochen. Dadurch wird der Brunnenspiegel schnell bis auf die

Höhe des äußeren Grundwasserspiegels steigen. Von hier aus steigt das Wasser langsamer, da es zugleich auch die (in Abb. 159 schraffierten) Hohlräume des Absenkungstrichters füllen muß.

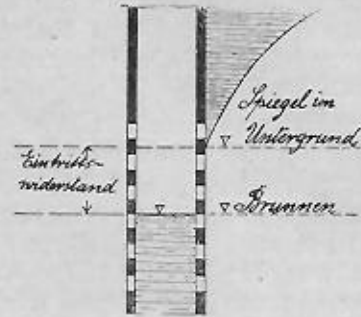


Abb. 159.

Man erhält angenähert das Maß des Eintrittswiderstandes, wenn man den Spiegelunterschied kurz vor und nach dem Stillsetzen des Brunnens mißt (siehe Abb. 159).

Mit Hilfe der früher entwickelten Brunnenergiebigkeitslinien läßt sich der Eintrittswiderstand für eine beliebige Absenkung zeichnerisch ermitteln, wenn für eine Absenkung Menge und Widerstand bestimmt worden sind. Abbildung 160 zeigt das Diagramm für Brunnen mit gespanntem Spiegel

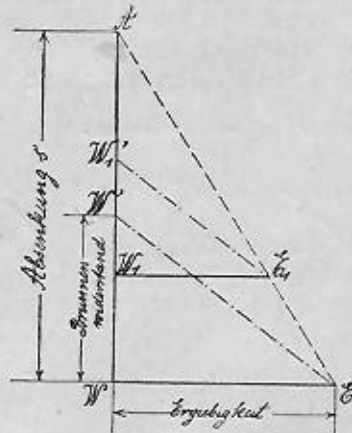


Abb. 160.

unter der Voraussetzung, daß der Eintrittswiderstand proportional der Menge ist, d. h., daß bei doppelter Entnahmemenge der Eintrittswiderstand der doppelte ist:

Es seien gemessen worden:

- A W = Absenkung,
- W E = Ergiebigkeit,
- W W' = Eintrittswiderstand.

Eine andere Absenkung $A W_1$ habe die Menge $W_1 E_1$ ergeben. Den zugehörigen Eintrittswiderstand $W_1 W_1'$ findet man, indem man die Linie $E_1 W_1'$ parallel zieht zu $E W'$.

Bei freiem Spiegel tritt an Stelle der Geraden $A E_1 E$ eine Parabel.

N. Thiem hat gezeigt, daß die Eintrittswiderstände mit der Menge stark zunehmen, weil infolge der wachsenden Absenkung die Eintrittsfläche für das Wasser abnimmt. Bei den Vorarbeiten für Nürnberg hat er folgende Abhängigkeit zwischen Menge und Eintrittswiderstand festgestellt:

Geförderte Wassermenge:	Brunnenwiderstand:
1,76 l/sec	130 cm
2,83 "	360 "
3,50 "	780 "
4,21 "	900 "

Diese Brunnenwiderstände spielen bisweilen eine wichtige Rolle bei der Wahl der Fassungsanlage, ob Rohrbrunnen, Schachtbrunnen oder Sammelkanal bei gegebenen Untergrundverhältnissen.

Beispielsweise hat E. Prinz bei dem Versuchsbunnenbetrieb für die Stadt Waja folgende Brunnenwiderstände festgestellt, wie Abb. 161 zeigt:

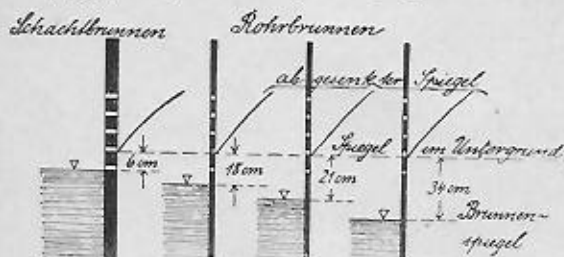


Abb. 161

Bei den Rohrbrunnen wurde eine stetige Zunahme der Eintrittswiderstände festgestellt infolge Verstopfung des Brunnenmantels. Trotz wiederholter Reinigung trat Verstopfen immer wieder auf, und zwar infolge des feinen, scharfkantigen Sandes im

Untergrund, der in die Maschen des Brunnengewebes wie Nadeln eindrang. Die Sandbewegung und Verstopfung suchte man durch Einlegen großer Eintrittsflächen und Erzeugen kleiner Wassergeschwindigkeiten am Brunnenmantel zu verhindern, und zwar durch Ersatz der engen Rohrbrunnen durch gemauerte Schachtbrunnen. Wie Abb. 161 deutlich zeigt, war der Betrieb der letzteren den Rohrbrunnen weit überlegen.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß die Eintrittswiderstände sich nicht nur auf den Brunnenmantel beschränken, sondern im Laufe der Zeit durch Verstopfen auch auf die Brunnenumgebung übergreifen. Diese wachsenden Widerstände können bis zum völligen Verstopfen führen.

Untersuchung von unergiebig gewordenen Brunnen.

Ueber solche für die Praxis wichtigen Untersuchungen ist in der Literatur bisher wenig gebracht worden. Außer N. Thiem und Huber hat E. Prinz in seinem Werk über Hydrologie folgendes Verfahren angegeben:

Es gründet sich wieder auf dem abgeleiteten Gesetz über die Brunnen-ergiebigkeit.

Für eine gute Lösung ist die Kenntnis der ursprünglichen Eigenschaften der zu untersuchenden Brunnen von großer Wichtigkeit. Deshalb sollte bei jeder Neuanlage darauf gesehen werden, solche Eigenschaften aktenmäßig für die Zukunft festzulegen, z. B. über Absenkung und Menge, Beschaffung des Fassungslandes und der Fassung selbst. Um die späteren Ergiebigkeitszustände festzustellen, muß der Spiegel zugänglich und der einzelne Brunnen gegen die anderen absperrbar sein, wenn es sich z. B. um eine Reihe gekuppelter Rohrbrunnen handelt. Diese Rohrbrunnen mögen in einem Grundwasserstrom mit gespanntem Spiegel stehen. Ergiebigkeit und Absenkung mögen trotz der vorhandenen Eintrittswiderstände annähernd geradlinig zu einander stehen.

Der zu untersuchende Brunnen wird abgesperrt, während die übrigen beansprucht bleiben. Bei einem gleichmäßigen Betrieb der anderen wird in dem abgesperrten Brunnen sich nach einiger Zeit eine ruhende Spiegellage einstellen, die sogenannte „eingestellte

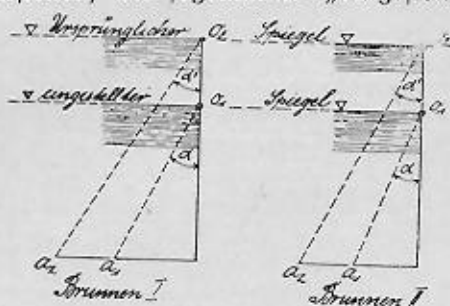


Abb. 162

Spiegellage“. In dieser wird der Brunnen mit einer Baupumpe zwei- oder dreimal mit verschiedenen Entnahmemengen abgepumpt. Aus diesen Absenkungen und Mengen wird für jeden Brunnen der Reihe nach die Ergiebigkeitslinie $o_1 a_1$ gezeichnet, wie Abb. 162 zeigt.

Die Geraden $o_1 a_1$ entsprechen den zur Zeit herrschenden Ergiebigkeitszuständen. Wird die Entnahme verstärkt, so ändern sich nur die Höhenlagen der Nullpunkte o_1 , nicht aber die Winkel α . Natürlich sind diese Winkel α für die einzelnen Brunnen verschieden, da diese Brunnen unter verschiedenen Verhältnissen arbeiten. Liegen aus der Bauzeit Beobachtungen über Mengen und Absenkungen vor, so kann man die ursprünglichen Ergiebigkeitslinien $o_2 a_2$ ziehen. Aus den Differenzen $a_1 a_2$ kann man über die Ergiebigkeitsrückgänge der einzelnen Brunnen schließen. Aus der Größe des Rückganges wird festgestellt, welcher Brunnen zuerst gereinigt, gezogen oder gar erneuert werden muß.

Die Linien $o_1 a_1$ gelten für einen bestimmten Beharrungszustand der Brunnenreihe. Ändert sich dieser, so ändert sich auch die Spiegellage $o_1 - o_2$ und damit die Wassermenge. Ist z. B. bei einseitiger Brunnenbeanspruchung die Menge $q = 1 \text{ l/sec}$ bei einer Absenkung $s = 1 \text{ m}$ und wird dann der Brunnenbetrieb so verstärkt, daß der Gesamtspiegel um 1 m sinkt, so ist die Ergiebigkeit des Brunnens jetzt Null, während sie bei schwächerem Betrieb sonst 1 l/sec war. Demnach ist zu unterscheiden, ob eine Spiegelsenkung durch einseitige Brunnenbeanspruchung oder durch die Einwirkung von Nebenbrunnen bewirkt wird.

Die Ergiebigkeiten bei einseitiger oder isolierter Beanspruchung nennt man die relativen Anteilswerte.

Die Ergiebigkeiten bei einer größeren Absenkung, etwa durch eine Reihe benachbarter Brunnen, heißen die absoluten Anteilswerte.

Mit Hilfe der relativen Anteilswerte und bei der Kenntnis den Ge-

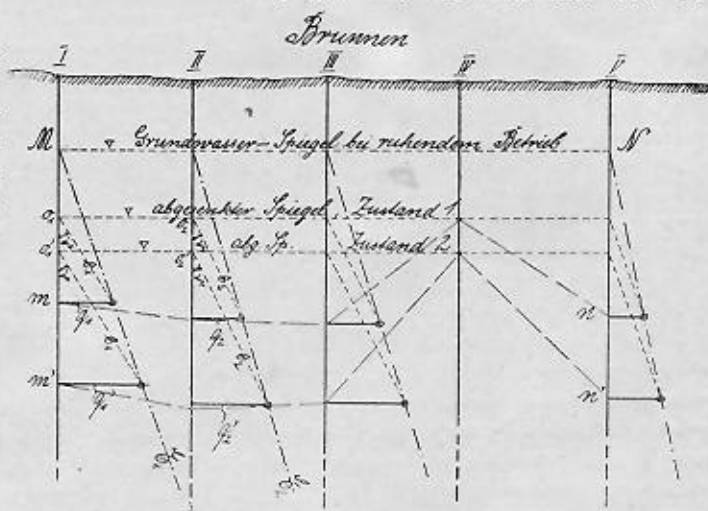


Abb. 163

samtergiebigkeit kann man auch die absoluten Anteilswerte eines jeden in der Ergiebigkeit zurückgegangenen Brunnens bei verschiedenen Betriebszuständen ermitteln. Abb. 163 zeigt die zeichnerische Ermittlung der Ergiebigkeit von fünf gekuppelten Rohrbrunnen.

Nach einer längeren Betriebspause

ermittelt man die Ruhelage der Brunnenpiegel, die durch die Linie MN gekennzeichnet ist. Dann werden sämtliche Brunnen, mit Ausnahme von Nr. IV, mit einer gleichbleibenden Menge beansprucht. Man erhält dann die Spiegellage $m'n$. Alle Brunnen zeigen eine Senkung außer dem nicht beanspruchten Brunnen Nr. IV. Zieht man durch Brunnenpiegel IV eine Parallele zu MN , so erhält man genau genug den abgesenkten Grundwasserspiegel im Fassungsgebiet für den 1. Zustand. Jeder Schnittpunkt dieser Spiegellinie mit den Brunnenachsen gibt die Lage des eingestellten Spiegel für den Zustand 1. Zieht man von diesen Schnittpunkten aus die Ergiebigkeitslinien unter den bekannten Winkeln α für jeden beobachteten Brunnen, so erhält man die absoluten Ergiebigkeiten q_1, q_2 usw. dadurch, daß man die Senkrechten auf der Brunnenachse im Schnitt mit dem abgesenkten Brunnenpiegel $m'n$ errichtet; q_1, q_2 usw. sind also die absoluten Ergiebigkeiten, die den Lagen $m'n$ entspricht.

Die Summe aller q muß gleich der Ergiebigkeit sein der Fassung während des Versuchs. Das ist die Gesamtergiebigkeit der Fassung weniger Brunnen IV.

Jetzt führt man diesen Versuch mit einer größeren Absenkung durch. Es wird der Zustand 2 folgen mit der abgesenkten Brunnenpiegellinie $m'n'$ und den daraus folgenden absoluten Ergiebigkeiten q'_1, q'_2 usw.

Bei genauer Durchführung dieser Versuche und bei einigermaßen Zutreffen der gemachten Annahmen müssen die Endpunkte von q'_1 und q'_2 , q'_2 und q'_2 usw. auf einer Geraden liegen, die die entsprechende Brunnenachse in MN trifft. Diese Linien E_1, E_2 usw. sind die Ergiebigkeitslinien des einzelnen Brunnen, wenn er gemeinschaftlich mit den andern, außer IV, betrieben wird.

e_1, e_2 usw. sind die bekannten Ergiebigkeitslinien, wenn jeder Brunnen für sich allein abgepumpt wird.

Bei Grundwasser mit freiem Spiegel ändert sich die Untersuchung insofern,

als die Ergiebigkeitslinien durch Parabeln zu ersetzen sind. Naturgemäß wird der Untersuchungsgang dadurch etwas umständlicher.

Lebensdauer von Wasserfassungen.

Sie hängt ab:

1. von den verwendeten Baustoffen,
2. von der Beschaffenheit des Grundwassers,
3. von Zustandsänderungen des Untergrundes.

Zu Punkt 1:

Am widerstandsfähigsten gegen die Angriffe des Grundwassers und der Bodensäuren sind die Bauteile aus Steinzeug und Mauerwerk. Die Zerstörungen bei diesen beschränken sich meist auf Muffendichtungen und auf die Mörtelfugen.

Bodensäuren und kohlenstoffhaltige Wässer greifen fast alle Metalle an, und zwar sind Schmiedeeisen und Zink am schnellsten zerstört. Am dauerhaftesten sind Gußeisen und Kupfer. Rohrbrunnen aus solchen haben sich bisher am besten bewährt, wie schon einmal erwähnt wurde. Bei verzinkten Eisenrohren wird zuerst der Zinkmantel zerstört, dann folgt das Eisen. Ebenso wird Messing infolge seines Zinkgehaltes leicht angegriffen.

Zu Punkt 2:

Besonders aggressiv wirken kohlenstoffhaltige Grundwässer. So wird über einen Fall aus Australien berichtet, wo Brunnenrohre aus weichem Stahl schon nach 9 Monaten ausgewechselt werden mußten. Besonders gefährlich wird die Lage, wenn unter Zutritt von Bodensäuren galvanische Ströme entstehen, die da auftreten, wo Bauteile aus verschiedenen Metallen zusammengefaßt sind. Man sollte daher solche Metalle, die die Bildung einer galvanischen Kette begünstigen, nicht zusammenbringen. Auch Lötstellen können bisweilen der Ausgangspunkt solcher Ströme sein. Man soll daher Bauteile aus verschiedenen Metallen, z. B. Filterkörbe, besser vernieten oder verschrauben.

Zu Punkt 3:

Wie wir gesehen haben, umhüllen Brunnen natürliche oder künstliche Schutzmäntel. Diese können nun auf mechanischem oder chemischem Wege verstopft werden.

Die mechanische Verstopfung geschieht durch Verfezung mit feinen Sanden. Durch die vergrößerte Wassergeschwindigkeit bei Brunnenentnahmen setzen sich diese feinen Sande langsam in Bewegung und wandern so allmählich auf den Fassungs-mantel zu. Seine Hohlräume werden sonach im Laufe der Zeit mehr und mehr von den feinen Sandteilchen ausgefüllt und somit die Ergiebigkeit der Brunnen verringert.

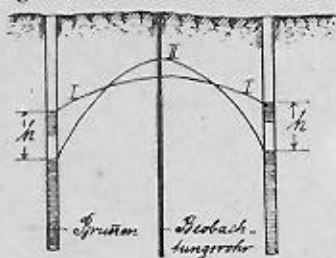


Abb. 164

Die chemische Verstopfung findet durch Neubildungen im Untergrunde statt. So kann sich Eisen aus dem Wasser ausscheiden, dann kohlensaurer Kalk oder andere kohlensauren Salze, die die Maschenöffnungen teilweise oder auch ganz zusetzen. Durch das Vorhandensein von eingespültem Sand kann es sogar zur Bildung eines Naturbetons kommen. Beispielsweise sind Filterkörbe aus einem gelochten Eisenmantel mit grobem, quadratischem Gewebe bespannt nach zwei Jahren Brunnenbetrieb absolut undurchlässig geworden. Es hatte sich um den Filterkorb ein etwa 25 cm starker Ring aus Eisen, Kalk und feinem Sand gebildet.

Ferner kann die Verstopfung die

Folge kolloidaler Vorgänge im Untergrunde sein. Organische Bestandteile des Grundwassers umhüllen und durchsetzen Fassungs-mantel oder Brunnenkörper mit schleimartigen Ueberzügen (kolloidal heißt so viel wie leimartig). Jedenfalls treten bei den Fassungsanlagen ähnliche Zustandsänderungen auf wie bei Filteranlagen. Diese „laufen sich tot“ mit fortgesetzter Beanspruchung und müssen dann gereinigt oder ersetzt werden.

Solche Zustandsänderungen bei Brunnen lassen sich am besten durch Spiegelbeobachtungen mit Beobachtungsrohren feststellen, wie Abb. 164 zeigt.

Spiegellage I zeigt den Fassungsspiegel am Beginn des Betriebes. Spiegellage II zeigt denjenigen nach Verlauf von einer Reihe von Jahren. Die Absenkung ist um das Maß h gefallen. Die daraus folgende Verringerung der Ergiebigkeit ist keine Folge von Grundwasserabnahme, sondern von ungünstigen Veränderungen des Untergrunds.

Wenn man die Ergiebigkeitsabnahmen und die zugehörigen Jahre für eine Beobachtungsreihe bildlich aufträgt, läßt sich die Zeit vorausbestimmen, wenn etwa die Ergiebigkeit einer Fassung auf Null sinkt.

Prinz bringt folgenden Fall: Die Ergiebigkeitsabnahme der Wasserversorgung einer Stadt zeigte folgende Zahlen:

Betriebsjahr	Ergiebigkeit in Prozenten
1.	100 %
2.	78 %
3.	54 %
8.	38 %
11.	30,5 %

Trägt man diese Ergebnisse bildlich auf, wie es Abbildung 165 zeigt,

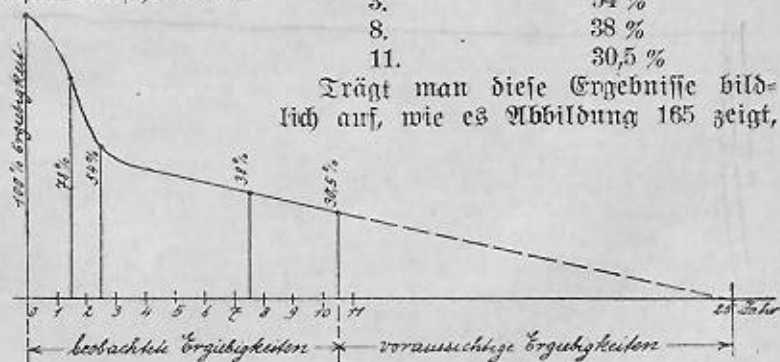


Abb. 165

so sieht man, daß die Abnahme vom 5. Jahre an nahezu gradlinig erfolgt. Verlängert man diese gradlinige Ergiebigkeitslinie bis zum Schnitt mit

der Wagrechten, so findet man, daß die Ergiebigkeit der Fassung in etwa 25 Jahren auf Null herabsinken würde, wenn sie sich selbst überlassen bliebe.

Kap. 28.

Verlängerung der Lebensdauer von Wasser-Fassungen.

Sie besteht in der Hauptsache in:

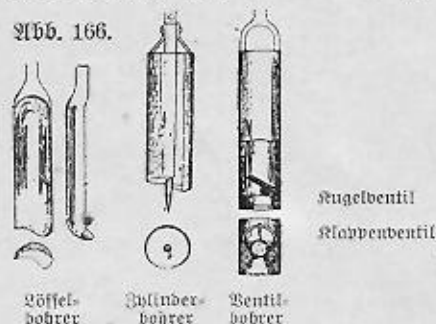
1. sachgemäßer Bauausführung,
2. sachgemäßer Unterhaltung.

Ueber Punkt 1 ist bereits ausführlich in früheren Aufsätzen gesprochen worden. Die sachgemäße Unterhaltung erfordert hauptsächlich die richtigen Maßnahmen bei den nachträglich auftretenden Zustandsänderungen.

Im Innern von Brunnen bilden sich vielleicht im Laufe der Zeit Sandanhäufungen. Diese sind sehr leicht durch Abpumpen mit Hand- oder Zen-

ten Wasserkasten W wird auf das Brunnenaugrohr S luftdicht aufgeschraubt. Es hat das Wasserstandrohr R, die Verschlusskappe V und den Anschlußstutzen A. Mittels A und einer Schlauchleitung wird der Wasserkasten an die Saugleitung L angeschlossen. Durch

Abb. 166.



trifugalpumpen zu beseitigen. Auch kann man sie mit dem Ventilbohrer herausholen. Abb. 166 zeigt einen solchen mit Klappen- und Kugelventil. Wie ersichtlich, werden sie durch Aufstoßen auf die versandete Brunnenohle gefüllt und dann hochgezogen.

Zustandsänderungen außerhalb des Brunneninnern sind nicht so einfach zu beseitigen, da sie nicht direkt zugänglich sind, sondern nur vom Brunneninnern aus. So sind Sandverfahrungen dadurch zu lockern, daß der Wasserträger bewegt und durcheinandergewirbelt wird. Am einfachsten erreicht man es dadurch, daß man vom Brunneninnern aus Dampf einbläst, gewissermaßen mit Stosswirkungen arbeitet. Die folgenden mechanischen Stossvorrichtungen kommen hauptsächlich zur Reinigung von Rohrbrunnen in Frage.

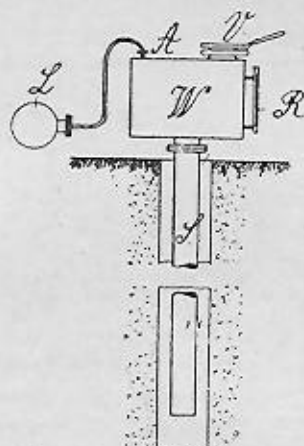


Abb. 167.

Desfuen des Hahnes bei A wird W aus dem Brunnen voll Wasser gefüllt. Dann wird der Hahn bei A geschlossen, die Verschlusskappe V plötzlich geöffnet.

Die gesamte Wassermasse des Kastens W stürzt somit plötzlich stoßartig in das Brunneninnere zurück. Der auf den Brunnenpiegel ausgeübte Stoß pflanzt sich von hier auf das Brunnenäußere fort.

Die Abb. 168 zeigt eine „Stöpselvorrichtung“ für Brunnen.

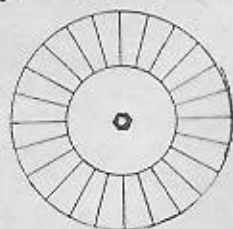
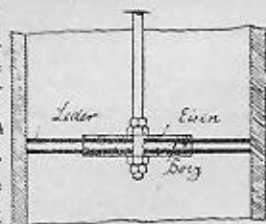


Abb. 168.

Sie besteht in der Hauptsache aus einem Kolben mit oder ohne Dichtungs-vorrichtung. Durch Auf- und Abbewegen dieses Kolbens im Brunnen wird ein entsprechendes Heben und Senken des Brunnenspiegels erzielt. Auf diese Weise lassen sich äußerst wirksame Stöße auf Brunneninneres und -äußeres erzeugen. Man nennt es das „Stöpfeln“ von Brunnen.

Abb. 169 zeigt ein Spritzrohr zum Brunnenreinigen.



Abb. 169.

Es dient zum Beseitigen von Ansätzen im Brunneninnern. Und zwar wird unter hohem Druck durch die Öffnungen Wasser gegen die verknüpfeten Stellen der Brunnenwand gespritzt. Seitlich der Spritzlöcher werden zur Verstärkung der Wirkung bisweilen noch Stahlbürsten angebracht.

Sind alle diese Reinigungsversuche nutzlos, so bleibt als letztes Mittel nur das Ziehen der Rohrbrunnen übrig und ihre Reinigung über Tage.

Besondere Brunnenarten.

1. Der Versuchsbrunnen.

Wie schon der Name sagt, besteht sein Zweck darin, die auf Grund von hydrologischen Vorarbeiten und Berechnungen gefundene Erkenntnis, daß ein Gebiet zur dauernden Grundwassergewinnung geeignet ist, durch einen Pumpversuch im großen zu beweisen. Es soll daher mit dieser teuren Versuchsbrunnenanlage nur dann begonnen werden, wenn alle Vorarbeiten tatsächlich beendet sind. Maßgebend für die

Lage des Versuchsbrunnens und damit des zukünftigen Fassungsortes sind Oberflächenbeschaffenheit, Lage des Grundwasserspiegels unter der Flur und über dem Verbrauchsort, Entfernung von demselben, Art der Zufuhrstraßen und Verkehrswege, Entwässerungsmöglichkeit bei dem Versuchspumpen, Besitzverhältnisse.

Seinem Zweck nach ist der Versuchsbrunnen ein Bau von vorübergehender Dauer. Trotzdem ist es möglich, den unterirdischen Teil nach beendetem Versuchsbetrieb so auszubilden, daß er in eine dauernde Fassung umgewandelt wird.

Das bequemste und einfachste Mittel auch für Versuchsbrunnen ist der Rohrbrunnen. Er ist billig, rasch niederzubringen, äußerst anpassungsfähig an die verschiedenen Untergrundverhältnisse, leicht ziehbar und damit wieder an einer anderen Stelle verwendbar.

Nur bei geringer Mächtigkeit der wasserführenden Schicht kann gegebenenfalls an seiner Stelle eine wagerechte Fassungsanlage in Frage kommen, z. B. ein Sickerschlit.

Schachtbrunnen wendet man da an besten an, wo man nur ein Grundwasser im Untergrund hat, also keine Wasserstockwerke, wo dieser Grundwasserstrom größere Mächtigkeit hat und geringe Bewegungswiderstände im Untergrund findet. Liegt der Wasserspiegel tief, so kann man in einem Schachtbrunnen auch die Pumpe genügend tief einbauen.

Jeder einzelne Brunnenspiegel muß mit Maßeinrichtungen versehen werden. Die Rohrbrunnen erhalten entweder besondere Beobachtungsrohre, oder man mißt die Spiegellagen zwischen Brunnenwand und Saugrohr. Um gegenseitige Brunneneinwirkungen festzustellen, empfehlen sich auch Beobachtungsrohre zwischen den einzelnen Brunnen. Zur Bestimmung von Brunnenwiderständen ist es erwünscht, an einzelnen Brunnen auch an der äußeren Wand Spiegelaufdeckungen zu erhalten.

Zum Abpumpen empfehlen sich be-

sonders Zentrifugalpumpen, angetrieben durch Lokomobilen, Elektromotoren, falls elektrische Kraft in der Nähe, oder durch andere Kraftmotoren. Bei tiefliegendem Grundwasser empfiehlt sich die Anlage eines Schachtes, dessen Sohle dicht über Grundwasserspiegel liegt und zur Aufstellung der Pumpe dient. Dabei ist senkrechter Riemenantrieb von der Pumpe nach der über Tage liegenden Lokomotive zu vermeiden. Bei günstigen Geländeverhältnissen kann der Betrieb auch mit Hilfe einer Heberleitung erfolgen. Ist die Heberleitung dicht, so ist es der einfachste und billigste Versuchsbetrieb. So hat Prinz die Versuchsbrunnenanlage des Truppenübungsplatzes Weixenburg mit Heberleitung bewirtschaftet.

Bevor mit dem Versuchsbrunnenbetrieb begonnen wird, ist den natürliche Zustand des Grundwassers im Bereich des Versuchsfeldes einzumessen und aufzuzeichnen. Diese Aufzeichnungen bestehen in der bekannten Konstruktion der Grundwasserhorizontalen. Sobald durch den Betrieb Wasser entnommen wird, ändern sich naturgemäß diese Kurven.

Die zutage geförderten Wassermengen müssen fortlaufend gemessen werden, und zwar am besten in besonderen Gerinnen mit Ueberfällen, die mit selbsttätiger Aufzeichnung arbeiten. Wassermesser sind anfänglich nicht zu verwenden, da das geförderte Wasser anfangs immer Sand mitführt, der die Messer unbrauchbar macht.

Der Betrieb ist solange fortzusetzen, bis der Beharrungszustand eintritt. Zur Erreichung desselben können bisweilen Wochen und Monate vergehen. Die Anfangsergiebigkeit ist gewöhnlich am größten. Je nach der Art des Grundwasserträgers tritt dann im Laufe der Zeit ein Rückgang ein, der monatelang andauern kann. Z. B. war die Anfangsergiebigkeit des Versuchsbrunnens von Abo 36 l/sec, sie sank nach rund 12 Monaten bis zum Eintritt des Beharrungszustandes auf 16,9 l/sec.

Wann ist der Beharrungszustand erreicht? Das ist dann der Fall, wenn

bei einer gewissen Entnahme und Absenkung weder ein Fallen noch ein Steigen des natürlichen Grundwasserspiegels stattfindet, wenn also der Zufluß des Grundwassers gleich der Entnahme wird. Um diesen Spiegelzustand des Grundwassers beobachten zu können, ist es notwendig, einen Spiegelaufschluß (Beobachtungrohr) außerhalb der Entnahme- und Einwirkungsgrenze des Versuchsbrunnens anzulegen.

Nach den Ergebnissen des Beharrungszustandes wird dann die dauernde Wasserfassung angelegt. Jedensfalls folgt daraus, wie wichtig es ist, im Versuchsbrunnenbetrieb den Beharrungszustand anzustreben und abzuwarten.

Jeder Fördermenge oder jeder besonderen Absenkung entspricht auch eine besondere Breite des Entnahmegebiets. Jede Entnahmebreite hat wiederum einen besonderen wasserführenden Querschnitt. Teilt man die geförderte Menge durch diesen Querschnitt, so erhält man die natürliche Grundwassergeschwindigkeit in diesem Querschnitt. Beobachtet man bei Betriebsschwankungen den empfindlichsten Brunnen Spiegel, so kann man meistens auch auf die Lage der größten Durchlässigkeit und des größten Wasserzuflusses schließen. Nach Abschluß jedes Versuches sind nämlich die Spiegelmeßergebnisse in Tiefenlinienplänen (Grundwasserhorizontalen) festzulegen. Mit Hilfe dieser Tiefenlinien lassen sich nach bekannter Weise die Strömungsrichtungen im jeweiligen Plan bestimmen.

Besonders wichtig ist für jede Absenkung der Ort der unteren Scheitelung. Um sie genau festzulegen, können sich unter Umständen nachträgliche Bohrungen notwendig erweisen. Zieht man dann von den unteren Scheitelungen die senkrechte Begrenzungskurve auf die Tiefenlinien, so erhält man für jede Absenkung oder Entnahme die Entnahmegrenze des Versuchsbrunnens. (Siehe Entnahme und Einwirkungsgebiet von Brunnen). Kap =

Folgende Zahlentafel gibt die Ergebnisse verschiedener Versuchsbrunnenbetriebe:

Fassungskörper auf, indem er als Windkessel wirkt.

Für Erweiterungsbauten in der

Ort	Grundwassergefälle	Menge l/sec	Absenkung m	Spez. Ergiebigkeit l/sec	Beharrung trat ein in Tagen	Breite der Entnahme m	Breite der Einwirkung m
Salzwedel . .	1:380	29,2	5,00	1,92	18	600	1250
Stendal . . .	1:1000	46,4	5,10	1,75	53	—	—
Grimma i. S.	1:1000	54,0	3,50	5,60	52	—	—
Luckenwalde .	1:285	43,6	4,00	3,64	44	750	—

Schl u ß b e m e r k u n g.

Besteht der Untergrund aus regelmäßig aufgebauten Schichten, so lassen sich die Ergebnisse von Versuchsbrunnenbetrieben zur Ableitung oder Begründung hydrologischer Gesetze verwenden, soweit letztere auf Grund der Filtrationsgesetze abgeleitet worden sind.

Die Bewegung des Wassers im Untergrund wird aber sofort anders, wenn Gänge mit grobem Geröll vorhanden. Nach Ausspülen der feineren Bodenteile aus denselben bewegt sich das Wasser nach den Gesetzen, die für Kanäle gelten, soweit die Geröllgänge in Frage kommen. Da diese Kanäle ganz unregelmäßige Querschnitte aufweisen, so läßt sich eine einigermaßen zutreffende rechnerische Bestimmung der Grundwasserergiebigkeiten solcher Untergründe überhaupt nicht geben.

2. S a m m e l b r u n n e n.

Zwischen der Fassung im Quellgebiet und der Zuleitung zur Verbrauchsstelle wird als Verbindungsglied der Sammelbrunnen eingeschaltet. Konstruktiv ist es ein gemauerter Schachtbrunnen mit wasserdichter Sohle und Wänden. Trotz aller Entsandung der Wasserfassungen führt anfänglich das Wasser Sand mit sich. Beim Fehlen eines Sammelbrunnens, der als Sandfang dient, würde dieser Sand in die Pumpen mitgerissen und sie beschädigen.

Der Sammelbrunnen soll weiter beim Anstellen der Pumpen ausgleichend auf die in Bewegung kommenden Wassermassen wirken. Er fängt gewissermaßen die Pumpenstöße auf die

Fassungsanlage ist dadurch Sorge zu tragen, daß von Anfang an die erforderlichen Verbindungsstutzen für Heber- und Saugleitungen in den Brunnenmantel eingebaut werden.

Die in den Sammelbrunnen mündenden Heberleitungen sind Saugleitungen, die durch den als Windkessel wirkenden Brunnen unterbrochen sind, wie Abb. 170 zeigt.

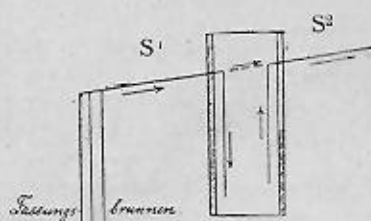


Abb. 170.

Damit die mitgerissene Luft aus dem Schenkel S1 leicht entweichen kann, wird zweckmäßig eine Verbindungsleitung nach dem Schenkel S2 eingelegt. Die Zu- und Ableitung sollen weder überhöht noch vertieft gegeneinander verlegt werden, wie Abb. 171 zeigt.

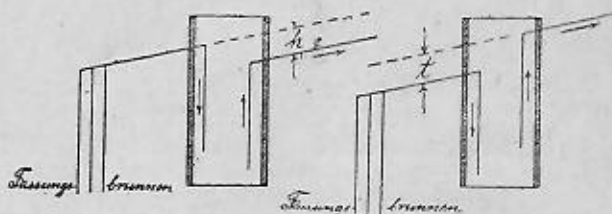


Abb. 171.

Bei der Überhöhung h wird die Entlüftung erschwert, bei der Vertiefung t die Saugleitung um dieses Maß unnützerweise zu tief verlegt.

So wie der Versuchsbrunnen als

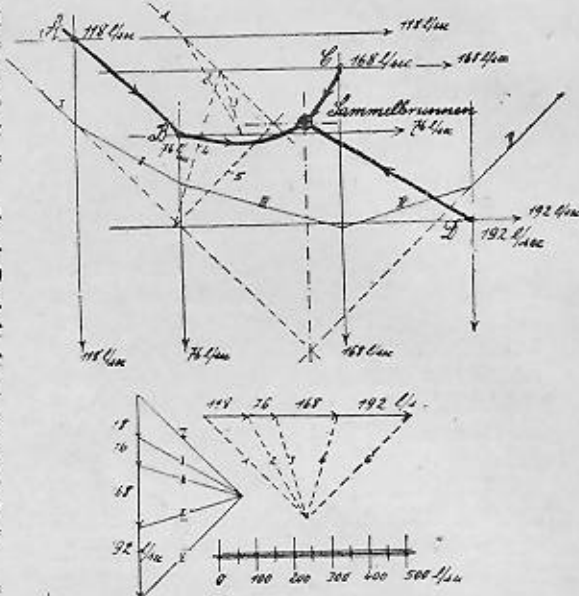
Fassungskörper gegebenenfalls ausgenutzt werden kann, wird dasselbe auch mit dem Sammelbrunnen versucht. In diesem Falle werden Wände und Sohle nicht dicht ausgeführt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß derartige Sammelbrunnen unzuweckmäßig sind. Bei starker Beanspruchung kommt der Sand unter der Sohle in Bewegung und der schwere Brunnen läuft Gefahr, abzurutschen.

Die Lage des Sammelbrunnens richtet sich nach der Betriebsanlage. Diese und die Fassungsklinie haben sich nach den Wegen, dem Besitzstand usw. zu richten. Zweigt die Druck- oder Fall-Leitung nahezu senkrecht zur Fassungsrichtung ab, so legt man meistens Sammelbrunnen und Betriebsanlage in Fassungsmitte. Liegen dagegen Druck- oder Fall-Leitung nahezu in Richtung der Fassungsanlage, so liegen Betriebsanlage und Sammelbrunnen an dem Ende der Fassung.

Setzt sich letztere aus mehreren Flügeln zusammen, so bestimmt man die Lage des Sammelbrunnens mit Hilfe von Seilecken, wie Abb. 172 zeigt.

Die Fassungen in A, B, C, D liefern 118, 76, 168 und 192 l/sec. Mit Hilfe der beiden Seilecken E₁ und E₂ bestimmt man den Schwerpunkt S des Systems,

die zweckmäßigste Lage des Sammelbrunnens. Die Lage der Fassungstränge und des Sammelbrunnens rich-



966. 172.

ten sich natürlich nach dem Gelände. Liegen an Stelle von S Geländehindernisse, wie Bergrücken, Häuser usw., so muß natürlich der Sammelbrunnen eine andere Lage erhalten.