2792 III Nr.

Politechnika Śląska BIBLIOTEKA

BIBLIOTEKA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

TECHNISCHE SELBST-UNTERRICHTS-BRIEFE

SYSTEM KARNACK-HACHFELD

GES. GESCH.

Städtische Wasserversorgung

von

Dipl.-Ing. Arne Jansen

Herausgegeben vom
Rustinschen Lehrinstitut.

Mitarbeiter des Systems Karnack-Hachfeld

Becher, Architekt / **Becker**, Dr. / **Behr**, Ing. / **Bessert**, Obering. / **Biegler**, Ing. / **Bischoff**, Dr. / **Björneberg**, Dipl.-Ing. / **Blankenstein**, Dr. / **Bouché**, Dipl.-Ing. / **Brusch**, Dipl.-Ing. / **Buneß**, Dipl.-Ing. / **Büsselberg**, Dr. / **Cremer**, Ing. / **Daiber**, Dr.-Ing. / **Erkens**, Dipl.-Ing. / **Falk**, Dipl.-Ing. / **Fichtbauer**, Dipl.-Ing. / **Finger**, Dipl.-Ing. / **Freund**, Regierungsbaumeister / **Gebauer**, Ing. / **Glatzel**, Dr. / **Göpper**, Dipl.-Ing. / **Hacker**, Geh. Baurat / **Hänchen**, Dipl.-Ing. / **Happach**, Obering. / **Heinrich**, Ing. / **Hoch**, Prof. / **Holm**, Dr.-Ing. / **Jansen**, Dipl.-Ing. / **Jöllenbeck**, Ing. / **Karraß**, Dr.-Ing. / **Kaschny**, Ing. / **Klatte**, Architekt und Studienrat / **Kniehahn**, Dr.-Ing. / **Köpke**, Gewerbeschuldirektor / **Kirchner**, Dr. / **Kook**, Regierungsbaumeister / **Loewer**, Prof. / **Mangels**, Ing. / **Mirow**, Dipl.-Ing. / **Moeller**, Dr.-Ing, / **Mühlbrett**, Dr.-Ing. / **Neddersen**, Regierungsbaumeister / **Ohlhans**, Ing. / **Over**, Bergassessor / **Pahl**, Dipl.-Ing. / **Pfeiffer**, Dipl.-Ing. / **Pohl**, Ing. / **Pretzsch**, Dipl.-Ing. / **Probst**, Ing. / **Prölß**, Oberlehrer / **Rahm**, Prokurist / **Ramisch**, Prof. / **Reinglaß**, Ing. / **Reinhardt**, Dipl.-Ing. / **Röder**, Ing. / **Rohr**, Architekt / **Roll**, Dr.-Ing. / **Rothmeister**, Dipl.-Ing. / **Seibt**, Fachlehrer / **Schmidt**, Ing. / **Schmidtke**, Ing. / **Schönrock**, Dipl.-Ing. / **Schulz-Schwieder**, Dipl.-Handelslehrer / **Schuppert**, Dipl.-Ing. / **Schutte**, Regierungsbaumeister / **Schwarz**, Architekt / **Springer**, Dipl.-Ing. / **Steger**, Dipl.-Ing. / **Straube**, Dr.-Ing. / **Warnatsch**, Architekt / **Warschko**, Obering. / **Wiechert**, Dekorations- und Kunstmaler / **Willecke**, Ing.

Lieferung 2

Alle Rechte vorbehalten

Verlag von Bonneß & Hachfeld / Potsdam und Leipzig

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
w Gliwicach
141 832
D591/24

4 VII
p 302

System Karnack-Rackfeld
TECHNISCHE SELBSTUNTERRICHTS-BRIEFE
GES. GESCH

Städtische Wasserversorgung

Brief 2

Vierte Stunde

A. Vortrag

3. Schachtbrunnen

34. Unter Schachtbrunnen oder Kesselbrunnen versteht man Brunnen von großem Durchmesser, etwa 1 bis 4 m und mehr, die in der Regel durch Baggerung abgeteuft werden. Schachtbrunnen sind zweckmäßig, wenn große Wassermengen mit einem einzigen Brunnen gewonnen werden sollen oder können, oder wenn der Brunnen aus betriebstechnischen Gründen zugänglich sein muß, oder wenn Pumpen, Saug- oder Heberleitungen im Brunnen untergebracht werden sollen (vgl. Absatz 75, Sammelbrunnen). Bei größeren Fassungen mit sogenannten Brunnenreihen werden meistens Rohrbrunnen gewählt. Die einfachste Form eines Schachtbrunnens ist der sogenannte Lochbrunnen, eine in einfachster Weise gegen Einsturz gesicherte Grube. In der Regel werden die Schachtbrunnen gemauert, oft werden sie aber auch aus gußeisernen Rohren oder aus Betonringen zusammengesetzt. Bei kleineren Anlagen zieht man an Stelle der Ausmauerung eine Auszimmerung in Holz vor. Solche Brunnen sind aber, wenn das Wasser für den menschlichen Gebrauch entnommen wird, nicht zu empfehlen, weil das Holz leicht verfault und die Entwicklung von Kleinlebewesen begünstigt. Holz darf überhaupt nur dann verwendet werden, wenn es ständig unter Wasser bleibt.

35. An der Stelle, an der ein Brunnen errichtet werden soll, ist eine Probebohrung erforderlich. Die Erfahrung lehrt, daß die Untergrundverhältnisse an zwei unmittelbar benachbarten Orten sehr verschieden sein können. Die Benutzung von Bohrungen, die 10 bis 20 m von der Baustelle abliegen, führen deshalb manchmal zu schweren Irrtümern.

36. Ein Schachtbrunnen wird in der Weise hergestellt, daß zunächst die Baugrube mit Böschungen, soweit wie es im Trockenen möglich ist, ausgehoben wird, dann der Brunnenmantel auf einem sogenannten Brunnenrost bis auf eine gewisse Höhe über der Erdoberfläche fertig gemauert wird. Nachdem das Mauerwerk mit einem äußeren und inneren Verputz fertiggestellt und abgebunden ist, wird der Boden innerhalb des Brunnenmantels von einem auf diesem angebrachten Arbeitspodium aus ausgehoben oder ausgebaggert. Die Brunnenwand sinkt dann allmählich durch ihr eigenes Gewicht ein. Am besten ist es, wenn

man den Brunnen gleich so hoch fertigstellt, wie er unter Grundwasser abgesenkt werden soll; dann vermeidet man eine Unterbrechung der Baggerung. Bei größeren Tiefen läßt sich dies aber nicht machen, und die Aufmauerung muß dann mit der Absenkung gleichen Schritt halten. Reicht das Eigengewicht des Brunnens nicht aus, um beim Absenken die Reibung an den Brunnenwänden zu überwinden, so muß der Brunnen entsprechend belastet werden. Dazu verwendet man in der Regel alte Schienen, die auf dem Arbeitspodium untergebracht werden, so daß sie während der Absenkung auf ihrem Platze verbleiben. Die Baggerung erfolgt häufig mittels eines Stielbaggers. Bei diesem ist ein Baggergefäß, sei es eine Schaufel oder eine Baggerschraube, an einem Stiel befestigt. Abb. 21 zeigt eine

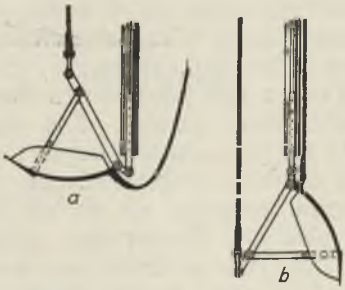

Abb. 21. Baggerschaufel

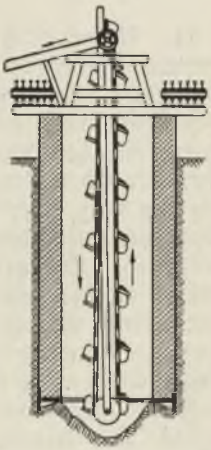

Abb. 22. Vertikaleimerbagger

sogenannte indische Baggerschaufel. Die Stielbagger eignen sich nur für geringe Tiefen. In der neueren Zeit verwendet man meistens sogenannte Vertikaleimerbagger (Abb. 22). Diese haben die Form einer endlosen Kette, die vertikal in den Brunnen heruntergelassen wird und in bestimmten Abständen eine Anzahl von Bechern oder Eimern trägt. Die Becher oder Eimer besitzen an den Schneiden feste oder auslösbare Stahlmesser. Sie nehmen den Boden in der Mitte des Brunnens auf und bringen allmählich den den Brunnenrost tragenden Boden zum Nachrutschen, wobei eine Absenkung des Brunnens herbeigeführt wird. Wenn die Aufmauerung mit der Absenkung gleichen Schritt hält, so wird die Eimerkette entsprechend der zunehmenden Tiefe verlängert.

37. Der Brunnenrost kann bei kleinen Anlagen aus Holz bestehen. Um das Mauerwerk mit dem Brunnenrost zu verbinden und es beim Absenken gewissermaßen zu einem Ganzen zusammenzufügen, werden in gewissen Abständen (2,5 bis 3,0 m) in das Brunnenmauerwerk Brunnenkränze eingelegt, die untereinander und mit dem Brunnenrost verbunden werden. Bei

kleineren Ausführungen können auch die Brunnenkränze aus Holz hergestellt werden. Abb. 23 zeigt den unteren Teil eines Brunnens, der mit einem hölzernen Rost und hölzernen Kränzen ausgestattet ist. Der Rost ist in diesem Falle mit einer eisernen Schneide versehen, um das Absenken des Brunnens zu erleichtern. Bei größeren Anlagen werden Rost und Kränze aus Stahl hergestellt. Muß mit einem Schachtbrunnen eine stärkere Ton- oder Lettenschicht durchfahren werden, so kann es vorkommen, daß sich das Mauerwerk in dieser Schicht aufhängt und nur durch eine große Belastung zum Sinken veranlaßt werden kann. Um ein solches Hängenbleiben zu vermeiden, wird der Brunnenrost um etwa 4 bis 8 cm weiter gemacht als der Brunnenmantel und der entstehende Zwischenraum hinter dem Mauerwerk sofort mit Kies hinterfüllt. Um die Absenkung des Brunnens zu erleichtern, wird unter Umständen, besonders bei größerem Durchmesser, der Brunnenmantel leicht konisch ausgebildet.

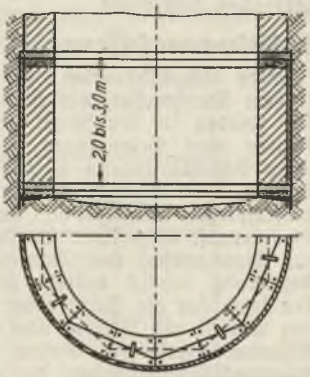

Abb. 23. Schnitt und Draufsicht eines undurchlässigen Schachtbrunnens

38. Die Absenkung der Schachtbrunnen auf größere Tiefen kann vorteilhaft mittels Preßluft erfolgen. Der Mensch kann nach den mit der Taucherglocke gemachten Erfahrungen in einer Luft, die zwei- bis dreimal so starke Pressung hat wie die normale atmosphärische Luft, noch arbeiten, ohne seine Gesundheit zu schädigen. Da es aber möglich ist, mit 2 bis 3 Atmosphären Überdruck einer Wassersäule von nahezu 20 bis 30 m Höhe das Gleichgewicht zu halten, so wird auch bis zu dieser Tiefe Wasser aus einem, mit dichtem Mantel versehenen Brunnen verdrückt werden. Der untere Teil des Brunnens, in dem die Luft eingepreßt wird, wird in diesem Falle als Kammer ausgebildet.

39. Die Schachtbrunnen können entweder mit durchlässigem oder mit undurchlässigem Mantel ausgeführt werden. Bei Brunnen mit undurchlässigem Mantel muß alles in den Brunnenkessel eintretende Wasser durch die Sohle gehen. Die Entnahmemenge aus einem solchen Brunnen ist somit sehr beschränkt, weil bei bestimmtem Material des Grundwasserträgers eine bestimmte Grenzgeschwindigkeit nicht überschritten werden darf. Bei deren Überschreitung tritt zwar noch Wasser ein, aber gleichzeitig auch das Material des Grundwasserträgers, wodurch eine Versandung und unter Umständen noch eine Verschiebung (ein tieferes Einsinken) des Brunnens entsteht. Schachtbrunnen für größere Entnahmen

werden mit durchlässigem Mantel hergestellt. Soll die Sohle für den Eintritt des Wassers mit hinzugezogen werden, so wird man, zur Verhütung des Eintritts von Sand in den Brunnen, auf der Sohle mehrere Kieslagen von allmählich zunehmender Korngröße anbringen. Das Mundstück des Saugrohres darf nicht zu nahe über der Sohle angebracht werden, weil sonst ein Aufwühlen des Sohlengrundes eintritt. Der Abstand des Mundstücks von der Sohle, der unter gewöhnlichen Umständen nicht unter 1 m betragen sollte, wird am besten durch Versuche während des Probebetriebes bestimmt.

B. Zusammenfassung

Unter Schachtbrunnen oder Kesselbrunnen versteht man Brunnen von großem Durchmesser, die in der Regel durch Baggerung versenkt werden. Sie werden in der Regel gemauert, können aber auch aus gußeisernen Rohren oder Betonringen zusammengesetzt werden. Vor der Errichtung eines Schachtbrunnens wird eine Probebohrung vorgenommen. Zur Herstellung eines Schachtbrunnens wird zunächst die Baugrube bis auf Grundwasserspiegel ausgehoben, dann wird der Brunnenmantel auf einem Brunnenrost aufgeführt und durch Baggerung zum Sinken gebracht. Wenn das Eigengewicht des Mantels nicht ausreicht, wird dieser belastet. Die Baggerung erfolgt mittels eines Stielbaggers oder Vertikaleimerbaggers. Der letzte hat die Form einer endlosen Kette, die in bestimmten Abständen eine Anzahl von Bechern oder Eimern trägt. Um den Brunnenmantel beim Absenken abzusteifen, werden in bestimmten Abständen, etwa 2 bis 3 m, Brunnenkränze eingelegt, die untereinander und mit dem Brunnenrost verbunden werden. Bei größeren Tiefen wird vorteilhaft mittels des Preßluftverfahrens abgesenkt. Bei kleineren Anlagen tritt das Wasser unter Umständen nur durch die Sohle ein; Brunnen für größere Entnahmemengen haben aber meistens einen durchlässigen Brunnenmantel.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter einem Schachtbrunnen? **Antwort:** Einen Brunnen von großem Durchmesser, der meistens durch Baggerung abgeteuft wird. **F.:** Warum soll man den Brunnenmantel nicht aus Holz ausführen? **A.:** Weil das Holz leicht verfault und die Entwicklung von Kleinlebewesen begünstigt. **F.:** Wie erfolgt die Absenkung eines Schachtbrunnens? **A.:** Es wird zunächst die Baugrube mit Böschungen bis auf Grundwasserspiegel ausgehoben. Dann wird der Brunnenmantel auf einem Brunnenrost aufgeführt und durch Baggerung, mit oder ohne Belastung, zum Sinken gebracht. **F.:** Welche Geräte werden für die Baggerung benutzt? **A.:** Stielbagger und Vertikaleimerbagger. **F.:** Aus welchem Material werden Brunnenrost und Brunnenkränze hergestellt? **A.:** Bei kleinen Anlagen aus Holz, bei größeren aus Stahl. **F.:** Wie werden gemauerte Brunnen beim Absenken abgesteift? **A.:** Es werden in bestimmten Abständen im Mauerwerk Brunnenkränze eingelegt, die untereinander und mit dem Brunnenrost verbunden werden. **F.:** Wann werden Schachtbrunnen mit undurchlässigen Brunnenmantel ausgeführt? **A.:** Wenn die zu entnehmende Wassermenge gering ist.

A. Vortrag

II. Gemauerte und eiserne Schachtbrunnen

40. Die Wanddicke des gemauerten Brunnens richtet sich nach dessen Durchmesser und Tiefe sowie danach, ob der Brunnen-

mantel durchlässig ist oder nicht. Bei gelochter Wandung wird der Brunnenmantel bedeutend geschwächt. Im allgemeinen soll man den Mantel nicht weniger als 1 Stein dick machen. Bei Ziegelmauerwerk ist für die Wanddicke ungelochter Brunnenmäntel folgende Formel üblich:

$$s = 0{,}1\,D + 0{,}1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Hier bedeuten:

s die Wanddicke in m und

D der innere lichte Durchmesser in m.

Das Ergebnis wird auf Ziegelmaß nach oben abgerundet. Bei 15 bis 20 m Tiefe können für vollwandige Brunnen folgende Maße als praktisch erprobt gelten (Tafel 1). In der dritten Spalte ist die Wanddicke nach der Formel 1 ausgerechnet.

Tafel 1

Brunnenweite in m	Praktisch erprobte Wanddicke in m	s = 0,1 D + 0,1 + Zuschlag
1,0	0,25	0,20 + 0,05
1,5	0,25	0,25
2,0	0,38	0,30 + 0,08
2,5	0,38	0,35 + 0,03
3,0	0,51	0,40 + 0,11
3,5	0,51	0,45 + 0,06
4,0	0,64	0,50 + 0,14
5,0	0,64	0,60 + 0,04

41. Bei dem Eintritt des Wassers von der Seite wird die Wandung meistens nur soweit durchlässig angeordnet, daß selbst bei der größten Saugwirkung der Pumpen der durchlässige Teil des Mantels noch vom Wasser bedeckt bleibt. Die Durchlässigkeit gemauerter Schachtbrunnen wird am einfachsten durch offene Stoßfugen erzielt. Das Mauerwerk selbst ist mit settem Zementmörtel auszuführen. Sogenanntes Trockenmauerwerk ist unbedingt zu verwerfen, ebenso das Stopfen der Fugen mit Moos, das die Entwicklung von Kleinlebewesen begünstigt. Die Durchlässigkeit des Brunnenmantels läßt sich auch durch Einmauern von Eisen- oder Drainrohren, oder durch besondere Lochsteine, mit und ohne Gitter, erreichen. Abb. 24 zeigt einen Schachtbrunnen mit besonderen Eintrittsgittern.

42. Statt aus Mauerwerk können Schachtbrunnen aus Beton, Eisenbeton oder Eisen ausgeführt werden. Solche aus Beton werden gewöhnlich aus einzelnen Ringen zusammengesetzt, die mit Nut und Feder ineinandergreifen und mit wenig Mörtel vermauert sehr dicht schließen. Diejenigen Ringe, die in der wasserführenden Schicht liegen, erhalten Schlitze für den Wasserdurchfluß. Unter Umständen wird der untere durchlässige Teil gemauert und auf

diesem die billigen Betonringe aufgesetzt (Abb. 25). Eisenbeton empfiehlt sich meistens nur bei recht großen Durchmessern, wie sie die Sammelbrunnen aufweisen (Absatz 75). Bei kleineren Durchmessern sind sie auf Grund der großen Kosten für die Verschalung meistens unrentabel. Eiserne Schachtbrunnen werden aus gußeisernen Ringen bis zu etwa 4 m Weite hergestellt und haben in der letzten Zeit eine ausgedehnte Verwendung gefunden. Sie haben vor den gemauerten Brunnen den Vorteil, daß sich die Schlitze für den Wasserzufluß dicht nebeneinander anbringen lassen. Der Durchmesser der Brunnen kann deshalb bei einer bestimmten Leistung kleiner gewählt werden. Auf Grund des kleinen

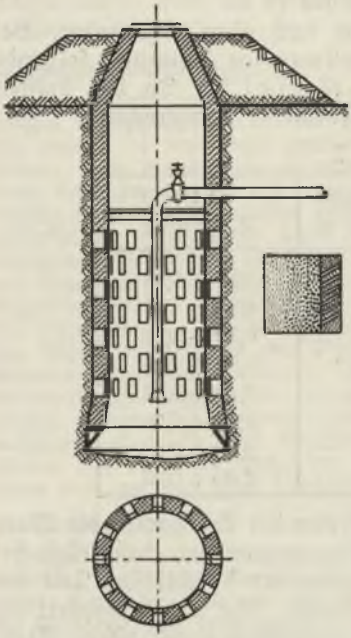

Abb. 24. Schachtbrunnen mit Eintrittsgittern

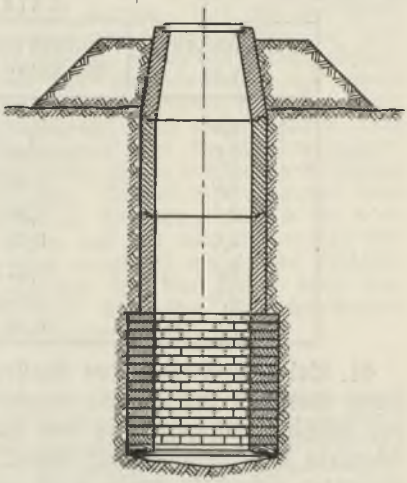

Abb. 25. Sammelbrunnen aus Betonringen auf Mauerwerk

Durchmessers und der geringen Wanddicke wird das Absenken bedeutend erleichtert. Da außerdem die Brunnenkränze und die Verankerungen fortfallen, stellen sich die Preise der eisernen Brunnen nicht höher als die der gemauerten Brunnen. Ein Nachteil besteht in der Bildung von Rost, der jedoch bei der Entnahme großer Wassermengen nicht ins Gewicht fällt. Die Absenkung erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den gemauerten Brunnen. Der in der Abb. 26 dargestellte eiserne Schachtbrunnen von 1,2 m Lichtweite ist aus 4,0 m langen Rohren zusammengesetzt (Wasserwerk in Krefeld). Die beiden untersten Rohre, die das Wasser aus einer Schicht von grobem Kies entnehmen, haben 10 cm lange und 8 mm breite Schlitze erhalten. Die Rohre wurden bis 21 m Tiefe durch Preßwirkung hinuntergebracht. Zur Erleichterung des Ein-

pressens war am unteren Ende ein gußeiserner Schuh angebracht, dessen geschärfter Rand sich bis auf 1,6 m erweitert. Die Erweiterung hatte den Zweck, eine Umhüllungsschicht von Kies aufzunehmen, die mit dem Tieferrücken der Rohre nachgefüllt wurde. Diese Schicht sollte weniger als Filter dienen, vielmehr den Brunnenmantel vor der Berührung mit tonigen Schichten schützen und somit ein Hängenbleiben in diesen zu verhindern (vgl. Absatz 37). Gleichzeitig mit der Anwendung der Preßwirkung wurde der Boden im Innern des Schachtes ausgehoben.

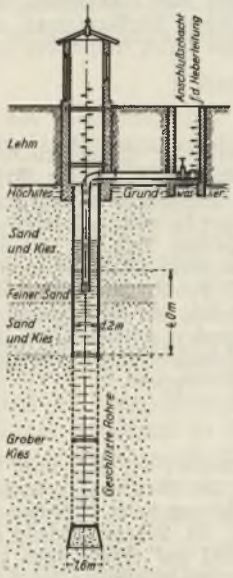

Abb. 26. Eiserner Schachtbrunnen

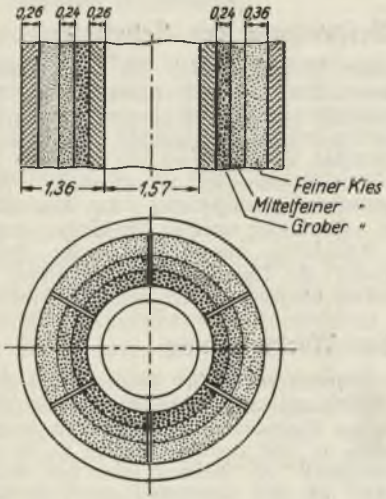

Abb. 27. Filterbrunnen der Berliner Wasserwerke. (Alte Tegeler Anlage)

43. Bei sehr feinkörnigem Untergrund muß man bisweilen auch die Schachtbrunnen gegen das Eindringen von Sand in das Brunneninnere schützen. Wie bei Rohrbrunnen (Absatz 28) wird der Brunnenmantel mit einem Kiesfilter umgeben, dessen Korngröße von innen nach außen abnimmt. Abb. 27 stellt einen solchen Filterbrunnen von dem alten Tegeler Wasserwerk, Berlin, dar. Er hat einen Doppelmantel, in dessen Zwischenraum die Filterschicht eingebracht ist. Während der Ausführung wurden, wie im Grundriß angedeutet, radiale Bretter und zwischen diesen gebogene Bleche eingesetzt, um die einzelnen Schichten zu scheiden. Die Bretterstücke und Bleche wurden nach der Fertigstellung wieder beseitigt.

B. Zusammenfassung

Die Wanddicke gemauerter Schachtbrunnen richtet sich nach deren Durchmesser und Tiefe, sowie danach, ob der Brunnenmantel durchlässig ist oder nicht. Die Wanddicke ungelochter Brunnenmäntel aus Ziegelmauerwerk

wird nach der Formel $s = 0{,}1\,D + 0{,}1$ berechnet und auf Ziegelmaß nach oben abgerundet. Die Durchlässigkeit gemauerter Brunnen wird durch offene Stoßfugen oder durch Einmauern von Eisenrohren, Drainrohren oder Lochsteinen erzielt. Brunnenmäntel aus Beton werden aus einzelnen Ringen zusammengesetzt, die mit Nut und Feder ineinandergreifen. Eisenbeton ist nur bei großen Durchmessern zu empfehlen. Eiserne Schachtbrunnen haben bei derselben Lichtweite eine größere Leistung als die gemauerten, weil die Eintrittsöffnungen für das Wasser dicht aneinander angeordnet werden können. Sie sind leichter abzusenken, sind nicht teuerer als die gemauerten Brunnen und werden deshalb in der letzten Zeit sehr viel angewendet. Die Bildung von Rost ist bei der Entnahme von großen Wassermengen unbedeutend. Bei sehr feinkörnigem Untergrund werden unter Umständen auch Schachtbrunnen mit einem Kiesfilter umgeben.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Wonach richtet sich die Wanddicke gemauerter Schachtbrunnen? **Antwort:** Nach deren Durchmesser und Tiefe, sowie danach, ob der Brunnenmantel durchlässig ist oder nicht. **F.:** Wie weit wird die Wandung eines Brunnens durchlässig gemacht? **A.:** In der Regel nur so weit, daß selbst bei der größten Saugwirkung der Pumpen der durchlässige Teil des Mantels noch vom Grundwasser bedeckt bleibt. **F.:** Aus welchem Material werden Schachtbrunnen hergestellt? **A.:** Aus Mauerwerk, Beton, Eisenbeton oder Eisen. **F.:** Unter welchen Umständen empfiehlt es sich, die Schachtbrunnen aus Eisenbeton auszuführen? **A.:** Bei recht großen Durchmessern der Brunnen. **F.:** Unter welchen Umständen werden Schachtbrunnen mit einem Kiesfilter umgeben? **A.:** Bei sehr feinkörnigem Untergrund.

D. Zur Wiederholung

26. Woraus besteht der Mantel eines Schachtbrunnens? 27. Was muß vor der Errichtung eines Schachtbrunnens geschehen? 28. Was muß geschehen, wenn das Eigengewicht des Brunnens nicht ausreicht, um beim Absenken die Reibung an den Brunnenwänden zu überwinden? 29. Woraus besteht ein Stielbagger? 30. Warum wird der Brunnenmantel auf einem Rost aufgestellt? 31. Wie verhindert man eine Versandung des Brunnens durch die Sohle? 32. Nach welcher Formel wird die Wanddicke ungelochter Brunnenmäntel aus Ziegelstein berechnet? 33. Wie wird die Durchlässigkeit gemauerter Brunnenwände erzielt? 34. Wie werden Schachtbrunnen aus Beton hergestellt? 35. Welche Vorteile haben die eisernen Schachtbrunnen vor den gemauerten?

E. Aufgaben

6. Es ist die Baggerung mittels eines Vertikaleimerbaggers zu erläutern.
7. Wie verhindert man beim Durchsenken einer stärkeren Tonschicht ein Hängenbleiben des Brunnenmantels?
8. Wie groß muß die Wanddicke eines undurchlässigen, gemauerten Schachtbrunnens aus Ziegeln sein, wenn der lichte Durchmesser $D = 3{,}5$ m beträgt?

Fünfte Stunde

A. Vortrag

a) Wirkungsweise der Brunnen

44. Bei der Untersuchung der Wirkungsweise von Brunnen werden nachstehende Voraussetzungen gemacht:

1. Das Grundwasser sei in der Breite und Länge unbegrenzt.
2. Die Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schicht sei in allen in Betracht kommenden Punkten gleich.
3. Der Grundwasserspiegel sei eben und parallel zur undurchlässigen (grundwassertragenden) Sohle, die bei Grundwasserbecken waagerecht, bei Grundwasserströmen geneigt sei.

Zunächst soll die Wirkungsweise eines Brunnens in ruhendem Grundwasser und dann die Wirkungsweise desselben Brunnens in einem Grundwasserstrom untersucht werden.

1. Brunnen in ruhendem Grundwasser

45. Ein ruhendes Grundwasser, d. h. ein Grundwasserbecken mit freiem waagerechtem Spiegel, ist der einfachste denkbare Zustand, die Wirkungsweise eines Brunnens zu untersuchen. Läßt man einen solchen Brunnen in Ruhe, so stellt sich das Wasser im Brunneninnern auf die Höhe des Grundwasserspiegels ein. Wird aber dem Brunnen Wasser entnommen, so wird der Spiegel im Brunnen gesenkt. Da der Brunnen an seiner Mantelfläche durchlässig gedacht ist, so wird durch die Entnahme das umgebende, sonst ruhende Grundwasser in Bewegung gesetzt, und zwar von allen Seiten nach der Mitte des Brunnens zu. Diese Bewegung erfaßt zuerst die dem Brunnen zunächst befindlichen Wasserteilchen und pflanzt sich dann in ähnlicher Weise fort, wie die Wellenkreise in einem ruhenden Wasserspiegel, wenn man einen Gegenstand einwirft. Die Einwirkung der Entnahme erstreckt sich theoretisch ins Unendliche. Sämtliche Wasserteilchen strömen radial nach der Brunnenmitte hin und müssen ihren Weg im Brunnen beenden. Die Geschwindigkeit nimmt nach dem Brunnen hin zu und erreicht an der Eintrittsstelle im Brunnen ihren Höchstwert. Ebenso wird die durch die Wasserentnahme bewirkte Absenkung des Grundwasserspiegels an dem Brunnen am größten sein und mit der Entfernung von ihm abnehmen.

46. Bei ununterbrochener gleichmäßiger Entnahme wird sich nach einiger Zeit ein Gleichgewichtszustand einstellen, bei dem ebensoviel Grundwasser in den Brunnen eintritt, als aus ihm entnommen wird. Diesen Zustand nennt man den Beharrungszustand bei der bestimmten Entnahmemenge. Die trichterförmige Oberfläche des abgesenkten Grundwasserspiegels im Beharrungszustande nennt man Absenkungs- oder Depressionsfläche, den Schnitt dieser Fläche mit einer durch die vertikale Brunnenachse gelegten Ebene die Absenkungs- oder Depressionskurve. In Abb. 28 ist die Absenkungskurve eines Brunnens im ruhenden Grundwasser dargestellt.

47. Legt man in gleichen Höhenabständen waagerechte Schnittebenen E_1, E_2, E_3 usw. durch die Depressionsfläche, so erhält man Schnittlinien, die im Grundriß als konzentrische Kreise K_1, K_2, K_3

usw. erscheinen, deren Mittelpunkt mit der Brunnenmitte zusammenfällt. Diese Kreise stellen gewissermaßen eine einfache Form von Grundwasserhöhenlinien dar (vgl. Einführung Absatz 61 und 76).

2. Brunnen im Grundwasserstrom

48. Ein Grundwasserstrom ist dadurch gekennzeichnet, daß die undurchlässige Sohle geneigt ist und sich das Grundwasser infolgedessen in Bewegung befindet. Nach unseren Voraussetzungen muß in jedem Punkt des Grundwasserstromes die gleiche Geschwindigkeit herrschen. Die einzelnen Wasserfäden laufen weiter ein-

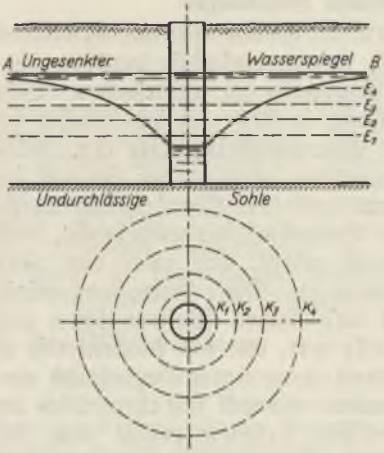

Abb. 28. Absenkung des Grundwasserspiegels bei einem Brunnen in unbewegtem Grundwasser

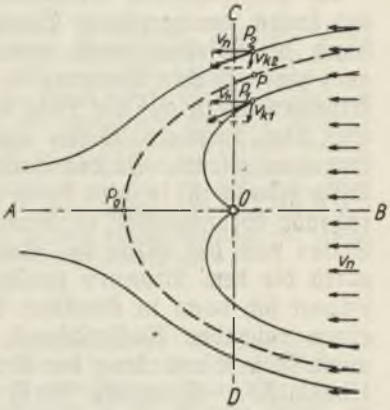

Abb. 29. Absenkung des Grundwasserspiegels bei einem Brunnen in strömendem Grundwasser

ander parallel. Die Höhenlinien dieses Grundwasserspiegels bestehen aus Parallelen mit gleichem Abstand, die senkrecht zur Bewegungsrichtung stehen.

49. Wird nun in einem solchen Grundwasserstrom von unbeschränkter Ausdehnung bei O ein Brunnen eingebracht (Abb. 29), aus dem gleichmäßig Wasser entnommen wird, so wird eine k ü n s t l i c h e Geschwindigkeit des Grundwassers nach der Brunnenmitte zu erzeugt. Es bildet sich auch in diesem Falle nach dem Eintritt des Beharrungszustandes ein Absenkungstrichter, dessen tiefster Punkt im Brunnen liegt. Legt man durch die Brunnenachse zwei rechtwinklig zueinander liegende Schnitte, von denen der eine in der Bewegungsrichtung **AB** des Grundwassers liegt, der andere senkrecht dazu **CD**, so erhält man Absenkungskurven, wie sie die Abb. 30 und 31 darstellen.

50. In der Schnittebene **CD** ist die Komponente der n a t ü r l i c h e n Geschwindigkeit v_n in der Richtung nach dem Brunnenmittelpunkt gleich Null, weil die Geschwindigkeit v_n eine Senk-

rechte zu dieser Richtung ist. Die Absenkungskurve in der Ebene **CD** ist somit unabhängig von der natürlichen Geschwindigkeit des Grundwassers. Sie ist für einen Grundwasserstrom dieselbe wie für ruhendes Grundwasser. In der Schnittebene **AB** fallen natürliche und künstliche Geschwindigkeiten zusammen. Vor dem Brunnen werden sich die natürliche und künstliche Geschwindigkeit summieren, hinter dem Brunnen gegenseitig teilweise aufheben. In dem Punkt P_0 ist die natürliche Geschwindigkeit gleich der künstlichen. Ein dort befindliches Wasserteilchen ist demnach in der Gleichgewichtslage und befindet sich auf der Wasserscheide zwischen dem Speisegebiet des Brunnens und dem talwärts abfließenden Grundwasserstrom. Man pflegt den Punkt P_0 als u n t e r e

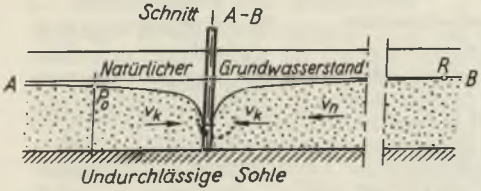

Abb. 30. Absenkungskurve

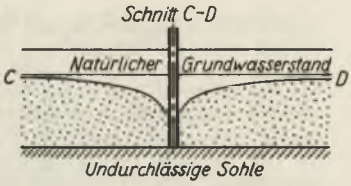

Abb. 31. Absenkungskurve

K u l m i n a t i o n der Absenkungskurve zu bezeichnen. Im Gegensatz hierzu kann man einen Punkt **R** auf der Linie **AB** als obere Kulmination bezeichnen, bei welcher die Einwirkung des Brunnens eben noch merkbar ist. Theoretisch liegt dieser Punkt **R** im Unendlichen, praktisch ist er selten über etwa 500 m vom Brunnen entfernt.

51. Die bisherigen Betrachtungen gelten für die beiden Hauptschnitte **AB** und **CD.** Um die tatsächliche Strömungsrichtung an jeder Stelle des Absenkungstrichters zu finden, wollen wir zwei Wasserteilchen P_1 und P_2 betrachten. Auf das Wasserteilchen P_1 (Abb. 29) wirken die natürliche Geschwindigkeit v_n und die künstliche, nach dem Brunnenmittelpunkt gerichtete Geschwindigkeit v_k. Das Wasserteilchen wird sich in der Richtung der Resultierenden dieser beiden Geschwindigkeiten bewegen und auf der in der Abbildung angegebenen Bahn in den Brunnen gelangen. Das Wasserteilchen P_2 wird infolge der radialen Geschwindigkeit v_k von seiner ursprünglichen der Stromrichtung parallelen Bahn in der Richtung nach dem Brunnen abgelenkt und wird die in der Abbildung bezeichnete Bahn beschreiben. Es wird aber nicht in den Brunnen eintreten, sondern stromabwärts abfließen.

52. Zwischen den in den Brunnen eintretenden und an ihm vorbeifließenden Wasserteilchen muß es nun ein Wasserteilchen **P** geben, das weder zu den ersten, noch zu den letzten gehört, sich also neutral verhält. Die Bahnlinie des Punktes **P** stellt also eine Art Wasserscheide dar. Innerhalb dieser fließt das

gesamte Grundwasser dem Brunnen zu, außerhalb wird das Grundwasser zwar in seiner Bewegungsrichtung beeinflußt, es ist aber für den Brunnen verloren. Diese Grenzlinie, die in Abb. 29 durch die gestrichelte Linie dargestellt ist, nennt man die Entnahmegrenze, das von dieser begrenzte Gebiet das Entnahmegebiet des betreffenden Brunnens bei der Entnahme einer bestimmten Wassermenge. Die Entnahmegrenze geht durch die untere Kulmination P_0 und steht senkrecht zu den Höhenlinien des abgesenkten Grundwasserspiegels. Die Kenntnis von der Lage der unteren Kulmination ist deshalb bei der Ermittelung der Entnahmegrenze unbedingt erforderlich. Man findet sie mit hinreichender Genauigkeit durch Grundwasserspiegelaufnahmen. Diese bestehen darin, daß man um den Brunnen herum in einer Anzahl von Bohrlöchern die Wasserspiegelabsenkung beobachtet und mit Hilfe dieser Beobachtungen die Höhenlinien zeichnet. Ein Längsschnitt ergibt mit genügender Genauigkeit die untere Kulmination. Zieht man von dieser ausgehend stromaufwärts Linien senkrecht zu den Höhenlinien, so erhält man die Entnahmegrenze. Wie aus dem praktischen Beispiel Abb. 32 deutlich zu erkennen ist, wird die Entnahmegrenze um so geradliniger, je mehr sie sich stromaufwärts von dem Brunnen entfernt. Schließlich wird die Richtung parallel der natürlichen Stromrichtung.

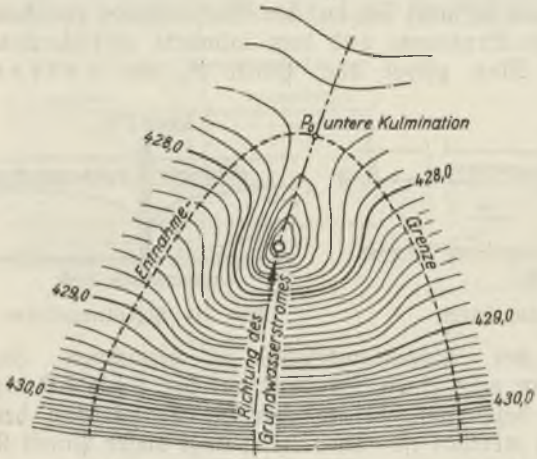

Abb. 32. Entnahmegrenze eines Brunnens in einem Grundwasserstrom

B. Zusammenfassung

Bei der Untersuchung der Wirkungsweise von Brunnen werden folgende Voraussetzungen gemacht: Das Grundwasser sei in der Breite und Länge unbegrenzt. Die Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schicht sei in allen in Betracht kommenden Punkten gleich. Der Grundwasserspiegel sei eben und parallel zur undurchlässigen Sohle. Wird einem in ruhendem Grundwasser befindlichen Brunnen Wasser entnommen, so wird der Wasserspiegel im Brunnen gesenkt. Zwischen dem abgesenkten Spiegel im Brunnen und dem Spiegel des umliegenden Grundwassers entsteht Gefälle und der Spiegel des Grundwassers bildet nach dem Eintreten des Beharrungszustandes eine trichterförmige Absenkungsfläche. Den Schnitt dieser Fläche

mit einer durch die vertikale Brunnenachse gelegte Ebene nennt man die Absenkungskurve. Bei einem Grundwasserstrom sind die Verhältnisse ähnlich, nur hat die Absenkungsfläche eine andere Form. Die Absenkungskurve in einem Schnitt durch die Brunnenachse senkrecht zur Bewegungsrichtung des Grundwassers ist dieselbe wie für ruhendes Grundwasser. Die Absenkungskurve in einem Schnitt durch die Brunnenachse in der Bewegungsrichtung des Grundwassers hat eine untere Kulmination; unterhalb dieser tritt kein Wasser mehr in den Brunnen, sondern fließt stromabwärts ab. Zwischen den in den Brunnen eintretenden und den an ihm vorbeifließenden Wasserteilchen gibt es eines, das sich neutral verhält. Die Bahn dieses Wasserteilchens, die durch die untere Kulmination geht und senkrecht zu den Höhenlinien des abgesenkten Grundwasserspiegels verläuft, nennt man die Entnahmegrenze, das von dieser begrenzte Gebiet das Entnahmegebiet des betreffenden Brunnens bei der Entnahme einer bestimmten Wassermenge.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Welche Voraussetzung wird bei der Untersuchung der Wirkungsweise von Brunnen für die Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schicht gemacht? **Antwort:** Es wird angenommen, sie sei in allen in Betracht kommenden Punkten gleich. **F.:** Was versteht man unter der Absenkungsfläche eines Brunnens? **A.:** Die trichterförmige Oberfläche des abgesenkten Grundwasserspiegels im Beharrungszustande. **F.:** An welcher Stelle der Absenkungsfläche ist die Absenkung des Grundwasserspiegels am größten? **A.:** An dem Brunnenmantel. **F.:** Wie verhält sich die Absenkungskurve im Grundwasserstrom in einer Schnittebene durch die Brunnenachse senkrecht zur Strömungsrichtung des Grundwassers? **A.:** Sie ist dieselbe wie für ruhendes Grundwasser. **F.:** Was versteht man unter dem Entnahmegebiet eines Brunnens? **A.:** Das Gebiet, innerhalb dessen das gesamte Grundwasser dem Brunnen zufließt.

A. Vortrag

b) Rechnerische Ermittelung der Ergiebigkeit eines Brunnens

1. Brunnen in ruhendem Grundwasser

53. Wenn im Folgenden scheinbar schwierige Formeln gebracht werden, so aus dem Grund, weil man durch Anwendung dieser Formeln mittels des Thiemschen Verfahrens (vgl. Absatz 60) in vielen Fällen den teueren Bau und Betrieb von Versuchsbrunnen umgehen kann.

Als einfachsten Fall betrachten wir wieder einen Brunnen in einem Grundwasserbecken, für den die Vorbedingungen in Absatz 44 gelten. Der Brunnen ruht auf der undurchlässigen Sohle **CD** und hat einen durchlässigen Mantel. Abb. 33 stellt die Absenkungskurve nach Eintreten des Beharrungszustandes dar. Es bedeuten:

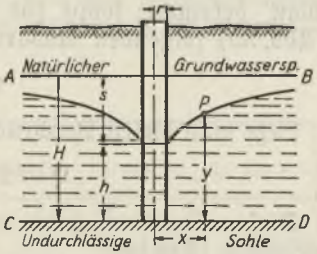

Abb. 33. Brunnen in ruhendem Grundwasser

Q die Wassermenge, die dem Brunnen in der Zeiteinheit entnommen wird,

H die Mächtigkeit der wasserführenden Schicht (der Grundwasserspiegel AB ist parallel zur undurchlässigen Sohle CD),
h der Wasserstand über der undurchlässigen Sohle im Brunnen bei gleichmäßiger Entnahme einer Wassermenge Q,
r der Halbmesser des Brunnens und
s die bei gleichmäßiger Entnahme entstehende Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen, wobei jedoch die Widerstände beim Eintritt des Wassers in den Brunnen vernachlässigt werden sollen.

Infolge der Vorbedingungen muß der Zufluß zum Brunnen von allen Seiten gleich groß sein. Im Abstand x von der Brunnenmitte durchfließt die Wassermenge Q eine gedachte Zylinderfläche mit dem Halbmesser x und der Höhe y. Die Größe dieser Fläche ist:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Bezeichnen wir mit v_x die Geschwindigkeit, mit der die Wassermenge **Q** die gedachte Zylinderfläche durchfließt, so kann der Zufluß durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y \cdot v_x \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Angenähert wächst die Geschwindigkeit des Grundwassers im gleichen Verhältnis mit dem Spiegelgefälle. Ist die Gefällhöhe auf einer Länge **l** gleich **h**, so wird das spezifische Gefälle:

$$J = \frac{h}{l} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Die Geschwindigkeit des Grundwassers kann dann durch die Formel

$$v = k \cdot J = k \cdot \frac{h}{l} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

ausgedrückt werden. Hierin bedeutet **k** ein Beiwert, der von der Durchlässigkeit des Bodens abhängig ist. **k** ist immer ein sehr kleiner Wert, etwa zwischen 0,001 und 0,01. Das Gefälle in einem Punkt, d. h. auf einer unendlich kleinen Strecke, kann man dadurch ausdrücken, daß man in Formel 4 statt **h** die unendlich kleine Höhe $\mathbf{d_y}$ und statt **l** die unendlich kleine Länge $\mathbf{d_x}$ einführt. Man bekommt somit für die Geschwindigkeit $\mathbf{v_x}$ im Punkt **P** (Abb. 33) folgenden Ausdruck

$$\mathbf{v_x = k \cdot \frac{d_y}{d_x}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Setzt man diesen Ausdruck in die Formel 3 ein, so bekommt man

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y \cdot k \cdot \frac{d_y}{d_x} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Diesen Ausdruck kann man in der Form einer Differentialgleichung schreiben:

$$y \cdot d_y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k} \cdot \frac{d_x}{x} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

Durch Integration dieser Gleichung folgt

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k} \ln x + C \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (9)$$

An der Mantelfläche des Brunnens ist $x = r$ und $y = h$. Die Konstante C berechnet sich durch Einsetzung dieser Werte in die Formel 9 zu

$$C = \frac{h^2}{2} - \frac{Q \cdot \ln \cdot r}{2 \cdot \pi \cdot k} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Dieser Wert in die Integrationsformel 9 eingesetzt gibt

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q \cdot \ln \cdot x}{2 \cdot \pi \cdot k} + \frac{h^2}{2} - \frac{Q \cdot \ln \cdot r}{2 \cdot \pi \cdot k} \text{ oder}$$

$$y^2 = h^2 + \frac{Q}{\pi \cdot k} (\ln \cdot x - \ln \cdot r) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

nun ist $\ln x - \ln r = \ln \frac{x}{r}$, also

$$y^2 = h^2 + \frac{Q}{\pi \cdot k} \ln \cdot \frac{x}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Diese Gleichung für die Absenkung wurde zum ersten Mal im Jahre 1870 von Thiem entwickelt und stellt eine Rotationsfläche dar, deren Achse mit der Brunnenachse zusammenfällt. Aus der Formel 12 ergibt sich die Wassermenge zu

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (y^2 - h^2)}{\ln \frac{x}{r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Bezeichnet man mit **R** die Entfernung, bei der **y** praktisch die Höhe nahezu erreicht, welche dem Wasserstand **H** vor dem Beginn der Entnahme im Brunnen entspricht, so sind auch **R** und **H** zusammenhängende Werte für **x** und **y**. Setzt man diese Grenzwerte in die Formel 13 ein, so erhält man:

$$Q = \frac{\pi \cdot k \, (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Die Wassertiefe **h** im Brunnen bei gegebenem Brunnendurchmesser wird durch die zulässige Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers bestimmt. Diese Geschwindigkeit muß zur Vermeidung von Versandung sehr klein sein.

Nachfolgende Tafel 2 gibt nach Thiem den Zusammenhang zwischen der Korngröße des Kieses und derjenigen Geschwindigkeit, bei der das Korn eben schwebt.

Tafel 2

Korngröße in mm . . .	0 bis 0,25	0,25 bis 0,50	0,50 bis 1,0	1,0 bis 2,0	2,0 bis 3,0
Geschwindigkeit in mm/sek	0 „ 2,9	3,5 „ 69	75 „ 96	110 „ 170	179 „ 820

Die Eintrittsgeschwindigkeiten in den Brunnen müssen demnach noch erheblich kleiner sein. Die Größe **H** ist durch Messungen zu ermitteln.

54. Streng genommen müßte sich die durch die Entnahme hervorgerufene Absenkung des Grundwasserspiegels bis ins Unendliche fühlbar machen. Statt dessen haben wir für $y = H$ den endlichen Wert **R** eingeführt. Der Wert **R** liegt bei flachem Grundwasserspiegel in der Regel zwischen 250 und 500 m, bei stark geneigtem Grundwasser kann er aber auch erheblich kleiner sein. Innerhalb mäßiger Absenkungen bleibt **R** ziemlich unverändert. Unter dieser Annahme ergibt sich aus der Formel 14 für zwei Absenkungszustände:

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{H^2 - h^2}{H^2_1 - h^2_1} = \frac{(H + h)(H - h)}{(H + h_1)(H - h_1)} = \frac{H + h}{H + h_1} \cdot \frac{s}{s_1} \qquad (15)$$

wenn s und s_1 die Absenkungen bezeichnen. Bei größerer Dicke der grundwasserführenden Schicht ist $\frac{H + h}{H + h_1}$ annähernd gleich 1, so daß die Ergiebigkeit des Brunnens in solchen Fällen annähernd in direktem Verhältnis mit der Absenkung zunimmt.

55. Der Einfluß des Brunnendurchmessers auf die Ergiebigkeit ist nur gering. Setzt man z. B. in die Formel 14: $R = 400$ m, $H = 20$ m, $h = 18$ m und $k = 0{,}002$, findet man für

$r =$	0,20	1,0	2,0 m
$Q =$	0,0628	0,0798	0,0903 m^3/sek

Ein Brunnen von 0,40 m Weite liefert also demnach über $^2/_3$ der Wassermenge eines Brunnens von 4,0 m Weite. Dieses beweist die Überlegenheit der billigen Rohrbrunnen über die Schachtbrunnen.

B. Zusammenfassung

Zur Ermittelung der Ergiebigkeit eines Brunnens in ruhendem Grundwasser bei einer bestimmten Absenkung denkt man sich um den Brunnen herum eine Zylinderfläche mit dem Halbmesser x und der Höhe y von der undurchlässigen Sohle bis zum Schnitt P mit der Absenkungsfläche. Durch diese gedachte Zylinderfläche fließt die zu entnehmende Wassermenge Q mit der Geschwindigkeit v_x, die durch das Gefälle des abgesenkten Grundwasserspiegels im Punkt P bestimmt ist. Man bekommt für die Wassermenge Q eine Differentialgleichung. Durch Integration dieser Differentialgleichung bekommt man einen Ausdruck für Q, in dem die beiden unbekannten Werte x und y vorkommen. Durch Einsetzung der Grenzwerte für x und y kann die Ergiebigkeit Q berechnet werden. Die Ergiebigkeit nimmt annähernd in gleichem Verhältnis mit der Absenkung im Brunnen zu. Der Brunnendurchmesser ist dagegen auf die Ergiebigkeit von geringem Einfluß.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was bedeutet k in der Formel für die Geschwindigkeit des Grundwassers? **Antwort:** k ist ein Beiwert, der von der Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schicht abhängt. **F.:** Wie lautet die allgemeine Formel für die Ergiebigkeit eines Brunnens in einem Grundwasser mit freiem Spiegel? **A.:** $Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (y^2 - h^2)}{\ln \frac{x}{r}}$. **F.:** Was bedeutet h in dieser Formel? **A.:** h ist der Wasserstand über der undurchlässigen Sohle im Brunnen bei gleichmäßiger

Entnahme einer Wassermenge Q. **F.:** Wie hängt die Ergiebigkeit des Brunnens von dessen Durchmesser ab? **A.:** Die Ergiebigkeit wächst bei gleichbleibender Absenkung nur verhältnismäßig langsam mit dem Durchmesser des Brunnens.

D. Zur Wiederholung

36. Welche Voraussetzungen werden bei der Untersuchung der Wirkungsweise von Brunnen gemacht? 37. Was versteht man unter dem Beharrungszustand eines Brunnens? 38. Was versteht man unter einer Absenkungskurve bei einem Brunnen? 39. Was heißt untere Kulmination? 40. Was versteht man unter der Entnahmegrenze eines in einem Grundwasserstrom befindlichen Brunnens? 41. Was bedeutet H in der Formel für die Ergiebigkeit eines Brunnens? 42. Wie findet man die Geschwindigkeit des Grundwassers? 43. Wie groß ist der Beiwert k in der Formel für die Geschwindigkeit des Grundwassers? 44. Wodurch bestimmt sich die Höhe h des abgesenkten Wasserspiegels in einem Brunnen? 45. Wie ist die Beziehung zwischen Ergiebigkeit und Absenkung eines Brunnens?

E. Aufgaben

9. Es ist die Wirkungsweise eines Brunnens in ruhendem Grundwasser zu beschreiben.
10. Es ist die Entwicklung der Formel für die Ergiebigkeit eines Brunnens in ruhendem Grundwasser kurz zu erläutern.
11. Wie groß ist die Ergiebigkeit eines Brunnens in ruhendem Grundwasser mit freiem Spiegel, wenn: $k = 0{,}002$, $H = 40$ m, $s = 1{,}0$ m, $R = 500$ m und $r = 0{,}25$ m?

Sechste Stunde

A. Vortrag

2. Artesische Brunnen

56. Bei einem sogenannten artesischen Brunnen (vgl. Einführung Absatz 70) sind die Verhältnisse ähnlich wie in dem eben behandelten Fall. Wir nehmen an, es befinde sich ein Grundwasser unter Druck zwischen zwei waagerecht begrenzten undurchlässigen Schichten (Abb. 34). Weiter sei innerhalb des Rahmens unserer Untersuchung die Pressung vor Beginn der Entnahme in allen Punkten konstant. Nach Anbohrung des artesischen Grundwassers würde sich dann das Wasser auf eine bestimmte Höhe über der unteren undurchlässigen Sohle einstellen.

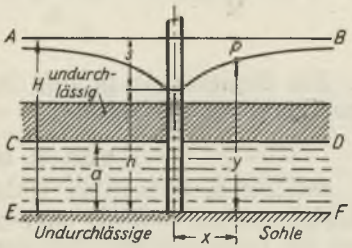

Abb. 34. Artesischer Brunnen.

Den hierdurch bestimmten freien Spiegel bezeichnen wir in der Abbildung durch die waagerechte Linie **AB**. Bei gleichmäßiger Entnahme einer Wassermenge Q bildet sich auch in diesem Falle eine Absenkungsfläche.

57. Die Größen **x**, **R**, **r**, **s** und **k** haben dieselbe Bedeutung wie früher, ebenso **H**, **y** und **h**, wenn diese von der unteren un-

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

durchlässigen Sohle **EF** ab gerechnet werden. Der Brunnen steht auf der unteren undurchlässigen Sohle auf und ist in dem, im Grundwasser liegenden Teil, an dem ganzen Umfang durchlässig.

Bezeichnen wir mit a die Dicke der grundwasserführenden Schicht, so fließt durch eine gedachte Zylinderfläche im Abstand x von der Brunnenachse eine Wassermenge (vgl. Formel 7):

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot a \cdot k \cdot \frac{d_y}{d_x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

vorausgesetzt wie oben, daß der Zufluß von allen Seiten gleich groß ist. Es wird:

$$d_y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \cdot \frac{d_x}{x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Durch Integration dieser Formel bekommt man:

$$y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \int \frac{d_x}{x} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \ln x + C \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

C wird wieder durch Einsetzung der Werte $x = r$ und $y = h$ ermittelt

$$C = h - \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \ln r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Durch Einsetzung dieses Wertes in die Formel 18 ergibt sich

$$y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \ln x + h - \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \ln r \quad . \quad . \quad . \quad (19a)$$

$$y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} (\ln x - \ln r) + h$$

$$\mathbf{y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \ln \frac{x}{r} + h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Hieraus ergibt sich die Formel für die Wassermenge:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k \, (y - h)}{\ln \frac{x}{r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

Für die Grenzwerte $\mathbf{x = R}$ und $\mathbf{y = H}$ demnach

$$\mathbf{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k \, (H - h)}{\ln \frac{R}{r}} = \mathbf{\frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k}{\ln \frac{R}{r}} \cdot s} \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Die Ergiebigkeit ist also bei einem artesischen Brunnen proportional der Absenkung.

3. Brunnen im Grundwasserstrom

58. Die mathematische Entwicklung der Formel für die Ergiebigkeit eines Brunnens im Grundwasserstrom ist etwas schwieriger als bei ruhendem Grundwasser und soll hier nicht gegeben werden. Man kommt aber auch in diesem Falle schließlich auf die Formel 14. An der Gesamtergiebigkeit wird also dadurch, daß die undurchlässige Sohle geneigt ist, nichts geändert. Dieses Ergebnis wurde zum erstenmal von Thiem im Jahre 1880 festgestellt. Durch ausführliche Betrachtungen sind später auch andere Forscher zu demselben Ergebnis gekommen.

59. Die Formel 12 ist, wie schon erwähnt, die Gleichung einer Rotationsfläche, deren Achse die Brunnenachse ist. Mit Hilfe

dieser Gleichung läßt sich die Absenkungskurve in einem Schnitt durch die Brunnenachse aufzeichnen, indem für eine Anzahl Werte von x die dazugehörigen Werte von y berechnet werden (Abb. 35). Bei einem Brunnen im Grundwasserstrom ist die Absenkungskurve in einer Schnittebene durch die Brunnenachse senkrecht zur Strömungsrichtung dieselbe wie für ruhendes Grundwasser und wird in gleicher Weise aufgezeichnet. Die Absenkungskurve in der Richtung des natürlichen Grundwasserstromes wird zeichnerisch so dargestellt (Abb. 36), daß man die Werte für y unter der Annahme eines waagerechten Grundwasserspiegels mit waagerechter undurchlässiger Sohle berechnet (Formel 12) und diese Werte dann von der geneigten, mit dem ungesenkten Grundwasserspiegel parallel anzunehmenden Linie der undurchlässigen Sohle abträgt. In dem Punkt P_0 der stromabwärts gelegenen Teile der Absenkungskurve ist die Tangente waagerecht. Dieser Punkt ist die früher erwähnte untere Kulmination, unterhalb der kein Wasser mehr in den Brunnen gelangt.

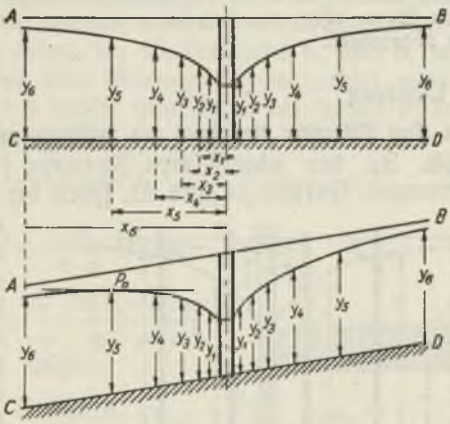

Abb. 35

Abb. 36

Konstruktion der Absenkungskurve

Abb. 35. Bei stehendem Grundwasser
Abb. 36. Bei einem Grundwasserstrom

B. Zusammenfassung

Wird in einem artesischen Grundwasser ein Brunnen abgesenkt, so steigt das Wasser im Brunnen bis auf die Höhe des freien Spiegels. Die Ermittelung der Formel für die Ergiebigkeit eines artesischen Brunnens erfolgt in ähnlicher Weise wie bei einem Brunnen in ruhendem Grundwasser. Die Ergiebigkeit ist in diesem Fall direkt proportional der Absenkung. Bei einem Brunnen im Grundwasserstrom ist die Formel für die Ergiebigkeit dieselbe wie bei ruhendem Grundwasser. Aus der Gleichung für die Absenkungsfläche eines Brunnens läßt sich die Absenkungskurve in einer Schnittebene durch die Brunnenachse aufzeichnen, indem man für eine Anzahl Werte von x die dazugehörigen Werte für y berechnet. Bei einem Brunnen im Grundwasserstrom wird die Absenkungskurve in der Stromrichtung in der Weise gezeichnet, daß man die Werte für y unter der Annahme einer waagerechten undurchlässigen Sohle berechnet und diese Werte dann von der geneigten Sohle abträgt.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was bedeutet a in der Formel für die Ergiebigkeit eines artesischen Brunnens? **Antwort:** a ist die Mächtigkeit der grundwasserführenden

Schicht. **F.:** Wie ist die Beziehung zwischen Ergiebigkeit und Absenkung bei einem artesischen Brunnen? **A.:** Die Ergiebigkeit ist proportional der Absenkung. **F.:** Wie groß ist die Ergiebigkeit eines Brunnens in einem Grundwasserstrom? **A.:** Die Ergiebigkeit ist bei gleicher Absenkung ebenso groß wie bei einem Brunnen in ruhendem Grundwasser von derselben Mächtigkeit. **F.:** Wie wird bei einem Brunnen im Grundwasserstrom die Absenkungskurve in der Stromrichtung gezeichnet? **A.:** Mit Hilfe der Gleichung für die Absenkungsfläche in ruhendem Grundwasser, indem man für eine Anzahl Werte von x die dazugehörigen Werte für y berechnet. Die berechneten Werte für y werden dann von der geneigten undurchlässigen Sohle aus abgetragen.

A. Vortrag

4. Das Thiemsche Verfahren zur Bestimmung von Grundwassermengen

60. In den abgeleiteten Formeln für die Ergiebigkeit eines Brunnens, Formel 14 und 22, spielt der Durchlässigkeitsbeiwert **k** eine große Rolle. Von der richtigen Wahl dieses Beiwerts hängt die Genauigkeit der mit Hilfe der genannten Formeln durchgeführten Berechnungen ab. Das im Folgenden beschriebene sogenannte „Thiemsche Verfahren" ist auf die früher entwickelten Formeln für die Absenkung aufgebaut. Diese lauten für freie Spiegel (vgl. Formel 18):

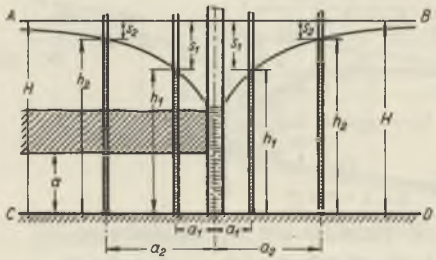

Abb. 37. Artesischer Brunnen mit gespanntem (links) und mit freiem (rechts) Spiegel

$$y^2 = \frac{Q}{\pi \cdot k} \ln x + C$$

für gespannte Spiegel (vgl. Formel 18):

$$y = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot k} \ln x + C.$$

Diese Formeln gelten, wie erwähnt, sowohl für bewegtes als auch für ruhiges Grundwasser.

61. Der Durchlässigkeitsbeiwert **k** wird durch **e** ersetzt, das als Einheitsergiebigkeit bezeichnet wird. Sie wird folgendermaßen gedeutet. Für die Grundwassergeschwindigkeit gilt die Formel (vgl. Formel 3 und 5):

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

oder

$$k = \frac{Q}{F \cdot J} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

Setzt man in diese Formel $F = 1\ m^2$ und $J = 1$, so wird

$$k = Q = e \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

Die Einheitsergiebigkeit ist also die sekundliche Durchflußmenge in m^3 durch die Flächeneinheit ($F = 1{,}0\ m^2$) für die Einheit des Gefälles.

62. In Abb. 37 stellt die linke Seite einen artesischen Brunnen (mit gespanntem Spiegel), die rechte Hälfte einen solchen mit freiem Spiegel dar. Oberhalb des Brunnens in den Entfernungen a_1 und a_2 von der Brunnenachse werden zwei Beobachtungsrohre B_1 und B_2 niedergebracht, in denen die Wasserstände h_1 und h_2 während der Entnahme q aus dem Brunnen B beobachtet werden. Mit q statt Q und e statt k erhält man dann bei freiem Spiegel für die beiden Beobachtungsrohre:

$$h_1^2 = \frac{q}{\pi \cdot e} \ln a_1 + C \text{ und } h_2^2 = \frac{q}{\pi \cdot e} \ln a_2 + C \quad . \quad (25)$$

woraus

$$h_2^2 - h_1^2 = \frac{q}{\pi \cdot e} (\ln a_2 - \ln a_1)$$

oder

$$e = \frac{q}{\pi} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{h_2^2 - h_1^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Für gespannte Spiegel folgt:

$$h_1 = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot e} \ln a_1 + C \text{ und } h_2 = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot e} \ln a_2 + C \quad (27)$$

woraus

$$h_2 - h_1 = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot e} (\ln a_2 - \ln a_1)$$

oder

$$e = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{h_2 - h_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

Durch Einführung der Absenkungen s_1 und s_2 (vgl. Abb. 37) bekommt man, indem $h_2 - h_1 = s_1 - s_2$,

für freie Spiegel:

$$e = \frac{q}{\pi} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{(h_2 + h_1)(h_2 - h_1)} = \frac{q}{\pi} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{(h_2 + h_1)(s_1 - s_2)} \quad . \quad . \quad (29)$$

für gespannte Spiegel:

$$e = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{s_1 - s_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

Betrachtet man nun die Länge L eines Grundwasserquerschnitts, für den der Wert e gilt, so ist:

für freie Spiegel: $F = H \cdot L$

für gespannte Spiegel: $F = a \cdot L$

Es folgen somit für die Ergiebigkeit Q eines Grundwasserstromes von der Breite L (vgl. Formel 23)

für freie Spiegel:

$$Q = e \cdot F \cdot J = \frac{q}{\pi} \cdot \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{(h_2 + h_1)(s_1 - s_2)} \cdot H \cdot L \cdot J \quad . \quad . \quad (31)$$

für gespannte Spiegel:

$$Q = e \cdot F \cdot J = \frac{q}{2\pi} \; \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{s_1 - s_2} \cdot L \cdot J \quad . \; . \; . \quad (32)$$

Ist nun die Einheitsergiebigkeit e für verschiedene Stellen des zukünftigen Fassungsgeländes bestimmt, so kann man durch Anwendung der Formeln 31 und 32 die gesamte zu erwartende Wassermenge des Fassungsgeländes berechnen.

5. Praktische Winke bei Anwendung des Thiemschen Verfahrens

63. Wie in dem Absatz 62 erwähnt, werden die beiden Beobachtungsrohre $\mathbf{B_1}$ und $\mathbf{B_2}$ stromaufwärts des Brunnens niedergebracht. Es ist deshalb erforderlich, zunächst die Stromrichtung sowie das Gefälle des Grundwassers festzustellen. Zu diesem Zweck

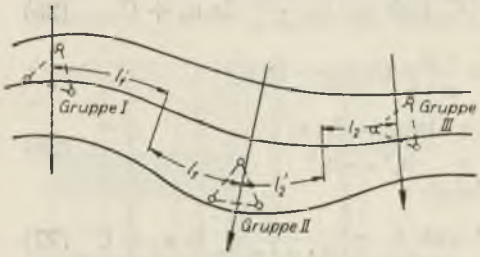

Abb. 38. Zusammenfassung der Bohrlöcher zu Gruppen

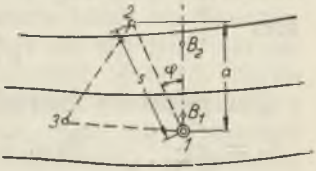

Abb. 39. Bohrlochgruppe

werden in der voraussichtlichen Fassungslinie in nicht zu großen gegenseitigen Abständen eine Anzahl Bohrlochgruppen angelegt (Abb. 38). Der Abstand kann bei regelmäßigen Untergrundverhältnissen etwa 500 m betragen. Jede Bohrlochgruppe besteht aus 3 Bohrungen 1, 2 und 3, die ungefähr auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegen (Abb. 39). Man sucht dabei die eine Seite des Dreiecks möglichst in der Stromrichtung zu legen. Ergibt sich nun nach den Beobachtungen des Grundwasserspiegels in den 3 Bohrlöchern, daß das Grundwassergefälle **J** mit der Richtung 1⁄2 den Winkel φ bildet, so ist das genaue Gefälle an dieser Stelle:

$$J = \frac{H_2 - H_1}{a} = \frac{H_2 - H_1}{s \cdot \cos\varphi} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (33)$$

Hierin bedeuten s die Länge der Strecke 1 ⁄ 2, H_1 und H_2 die in den Bohrlöchern 1 und 2 beobachteten Spiegelhöhen.

64. Ist das Gefälle bestimmt und die Richtung des Grundwasserstromes, so wird das Bohrloch 1 als Rohrbrunnen ausgebildet und die beiden Beobachtungsrohre $\mathbf{B_1}$ und $\mathbf{B_2}$ in den Entfernungen a_1 und a_2 stromaufwärts vom Brunnen niedergebracht. Der Brunnen sowie die Beobachtungsrohre müssen so tief angelegt sein, daß eine Absenkung von mindestens 2,0 m möglich ist. Am

genauesten ist es, den Brunnen bis zur undurchlässigen Sohle hinab reichen zu lassen. Dies ist jedoch unter Umständen sehr teuer und man erhält, wenn der Brunnen nicht bis zur undurchlässigen Sohle reicht, zu kleine, also vorsichtige Werte. Die Apparate zur Feststellung der Spiegelhöhe in Beobachtungsrohren und Brunnen sind in der Einführung Absatz 77 beschrieben. Das Pumpen muß möglichst gleichmäßig geschehen und die Wassermenge dauernd gemessen werden. Thiem entnahm dem Untergrund nur etwa 5 Liter in der Sekunde, bei den späteren Vorarbeiten für verschiedene Fassungsanlagen sind jedoch oft erheblich größere Mengen, 30 bis 60 Sekundliter, entnommen worden. Es ist aber zu bemerken, daß die Kosten bei kleinen Entnahmemengen erheblich verringert werden.

65. Aus sämtlichen Bohrungen konstruiert man auf die untersuchte Strecke die Grundwasserhöhenlinien und zieht durch die Mitte jeder Bohrlochgruppe Linien parallel zu den Höhenlinien (Abb. 38). Danach macht man zwischen je zwei Gruppen die beiden Parallelstücke, z. B. l_1 und l_1', gleich lang und erhält somit z. B. für die Länge L_2:

$$L_2 = l_1 + l_2'$$

Die Größe der Länge L_1, L_2 usw. muß so gewählt werden, daß man mit genügender Sicherheit auf diesen Strecken mit konstanten Größen **e** und **J** rechnen kann. Da die Grundwassermenge **Q** dem Gefälle **J** direkt proportional ist, so ist die richtige Bestimmung der letzten außerordentlich wichtig.

B. Zusammenfassung

Die Genauigkeit der Formeln für die Ergiebigkeit eines Brunnens hängt in erster Reihe von der richtigen Wahl des Durchlässigkeitsbeiwertes k ab. Zur Bestimmung dieses Beiwertes verwendet man das Thiemsche Verfahren. In den Entfernungen a_1 und a_2 stromaufwärts von einem Versuchsbrunnen werden die Beobachtungsrohre B_1 und B_2 niedergebracht. Bei dauernder Entnahme einer Wassermenge q aus dem Brunnen werden in den Beobachtungsrohren die Wasserstände h_1 und h_2 gemessen. Durch Einsetzung der Werte a_1 und h_1 bzw. a_2 und h_2 in die Formel für die Absenkung bekommt man zwei Gleichungen, aus deren Differenz der Durchlässigkeitsbeiwert gefunden wird. Statt k verwendet man allgemein e, das als Einheitsergiebigkeit oder sekundliche Durchflußmenge durch die Flächeneinheit für die Einheit des Gefälles gedeutet wird. Um nun die Ergiebigkeit eines Grundwasserstroms von der Breite L, für die e als konstant angenommen wird, zu finden, müssen Stromrichtung und Gefälle des Grundwassers ermittelt werden. Zu diesem Zwecke werden in gewissen gegenseitigen Abständen eine Anzahl Bohrlochgruppen über das voraussichtliche Fassungsgelände verteilt. Jede Gruppe besteht aus 3 Bohrungen, die auf die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks gelegt werden. Durch Beobachtung des Grundwasserspiegels in sämtlichen Bohrlöchern werden die Grundwasserhöhenlinien gezeichnet und mit deren Hilfe Stromrichtung und Gefälle des Grundwassers gefunden. Danach wird in jeder Bohrlochgruppe ein Bohrloch als Brunnen ausgeführt und stromaufwärts von diesem wie eben erwähnt die Beobachtungsrohre niedergebracht.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Wovon ist die Genauigkeit der Formeln für die Ergiebigkeit eines Brunnens in erster Linie abhängig? **Antwort:** Von der richtigen Wahl des Durchlässigkeitsbeiwertes. **F.:** Worin besteht das Thiemsche Verfahren? **A.:** Durch das Thiemsche Verfahren wird mit Hilfe eines Versuchsbrunnens und zwei Beobachtungsrohre die Einheitsergiebigkeit eines Grundwasserträgers berechnet. **F.:** Wie lautet die Formel für die Einheitsergiebigkeit bei freiem Spiegel? **A.:** $e = \frac{q}{\pi} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{h_2^2 - h_1^2} = \frac{q}{\pi} \frac{\ln a_2 - \ln a_1}{(h_2 + h_1)(s_1 - s_2)}$. **F.:** Woraus besteht eine Bohrlochgruppe? **A.:** Aus 3 Bohrungen, die auf die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks gelegt werden.

D. Zur Wiederholung

46. Was versteht man unter einem artesischen Grundwasser? 47. Wie groß ist die Ergiebigkeit eines artesischen Brunnens bei einer bestimmten Absenkung s? 48. Wie wird die Absenkungskurve bei einem Brunnen in ruhendem Grundwasser aufgezeichnet? 49. Was versteht man unter Einheitsergiebigkeit eines Grundwasserträgers? 50. Wie lautet die Formel für die Einheitsergiebigkeit bei gespanntem Spiegel? 51. Wie werden Stromrichtung und Gefälle eines Grundwasserstromes gefunden?

E. Aufgaben

12. Es ist die Ermittelung der Einheitsergiebigkeit bei einem Brunnen kurz zu erläutern.
13. In zwei Bohrungen einer Bohrlochgruppe ist ein Höhenunterschied des Grundwasserspiegels von $H_2 - H_1 = 0{,}4$ m gemessen worden. Wie groß ist das Gefälle J des Grundwassers, wenn die Stromrichtung mit der 50 m langen Verbindungslinie der beiden Bohrungen einen Winkel von $\varphi = 30^0$ bildet?

F. Gesamtwiederholung aus dem zweiten Brief

Schachtbrunnen oder Kesselbrunnen sind Brunnen von großem Durchmesser, die in der Regel durch Baggerung versenkt werden. Die Baggerung erfolgt mittels Stielbaggers oder Vertikaleimerbaggers. Bei großen Tiefen erfolgt die Absenkung vorteilhaft mittels des Preßluftverfahrens. Schachtbrunnen werden aus Mauerwerk, Beton, Eisenbeton oder Eisen hergestellt und haben in der Regel einen durchlässigen Mantel. Die Durchlässigkeit wird bei gemauerten Brunnen durch offene Stoßfugen oder durch Einmauern von Eisenrohren, Drainrohren oder Lochsteinen erzielt.

Bei der Untersuchung der Wirkungsweise von Brunnen sowie bei der Berechnung derer Ergiebigkeit werden folgende Voraussetzungen gemacht: Das Grundwasser sei in der Breite und Länge unbegrenzt. Die Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schicht sei in allen in Betracht kommenden Punkten gleich. Der Grundwasserspiegel sei eben und parallel zur undurchlässigen Sohle. Wird einem ins Grundwasser abgesenkten Brunnen dauernd Wasser entnommen, so wird der Wasserspiegel im Brunnen abgesenkt. Das umgebende Grundwasser wird infolgedessen nach dem Brunnen zu in Bewegung gesetzt und es bildet sich nach Eintreten des Beharrungszustandes ein Absenkungstrichter. Bei einem Brunnen in ruhendem Grundwasser ist die Absenkungskurve in jeder Schnittebene durch die vertikale Brunnenachse dieselbe. Bei einem Brunnen im Grundwasserstrom ist die Absenkungskurve in einer Schnittebene durch die Brunnenachse senkrecht zur natürlichen Stromrichtung des Grundwassers dieselbe wie bei einem Brunnen in ruhendem Grundwasser. Die Absenkungskurve in einer Schnittebene in der Stromrichtung hat eine untere Kulmination, in der die Tangente waagerecht ist. Unterhalb dieser Kulmination tritt kein Wasser mehr in den Brunnen, sondern fließt stromabwärts ab. Die Grenze zwischen den in den Brunnen eintretenden und den an demselben vorbeifließenden Wasserteilchen nennt man die Entnahmegrenze, das von dieser begrenzte Gebiet, das Entnahmegebiet des Brunnens; seine Ergiebigkeit wird nach Verfahren Thiem bestimmt.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

20155

Im technischen Beruf

werden tüchtige Fachleute mit den neuesten technischen Fachkenntnissen gebraucht. Ihnen bietet sich eine bessere Existenzmöglichkeit durch Ausbildung nach den technischen Lehrbriefen des Systems Karnack-Hachfeld. Die Unterrichtsbriefe ersetzen dem im praktischen Beruf Tätigen den Besuch von Fachschulen und vermitteln ihm das notwendige Wissen neben dem Beruf.

Elektrotechnik	Elektromonteur / Elektroinstallateur / Elektromeister / Elektrotechniker / Elektroingenieur / Technisch gebildete Kaufmann der Elektrizitätsbranche / Radioinstallateur / Radioingenieur
Maschinenbau	Maschinenschlosser / Maschinenmeister / Meister im Werkzeugmaschinenbau / Maschinenzeichner / Maschinentechniker / Maschineningenieur / Betriebsingenieur / Technisch gebildete Kaufmann der Maschinenbaubranche / Kaufmännisch gebildete Ingenieur im Maschinenbau / Ingenieur für Verbrennungsmotorenbau
Hoch- und Tiefbau	Maurer in der Praxis / Polier / Maurermeister / Zimmermeister / Bautechniker / Eisenkonstrukteur / Innenarchitekt / Architekt / Schachtmeister / Tiefbautechniker / Bauingenieur / Straßenbautechniker / Straßenbauingenieur / Kultur- und Wiesenbautechniker / Vermessungstechniker / Technisch gebildete Kaufmann der Baubranche
Installation	Heizungsmonteur / Installationstechniker / Installationsingenieur / Installateur im Fernmeldewesen
Kunstgewerbe und Handwerk	Bautischler bezw. Schreiner / Kunst- und Möbeltischler / Tischlermeister bezw. Schreinermeister / Holzbildhauer / Schule des Malers / Steinmetzmeister / Schlossermeister
Kraftfahrwesen	Kraftwagenführer / Monteur in der Automobilindustrie / Meister in der Automobilindustrie / Automobiltechniker / Automobilingenieur / Technisch gebildete Kaufmann im Automobilwesen
Textilwesen	Webereitechniker
Chemieschule	Laborant / Chemotechniker / Ingenieur in der chemischen Industrie

Spezial-Prospekte und Zeitschrift „Rustin-Nachrichten" kostenlos

Rustinsches Lehrinstitut / Potsdam