

27 92 III. 1911.



TECHNISCHE SELBST-

UNTERRICHTS-BRIEFE

GES. GESCH.



Städtische Wasserversorgung

von

Dipl.-Ing. Arne Jansen



Herausgegeben vom
Rustinschen Lehrinstitut



Verlag von Bonnez & Hachfeld / Potsdam und Leipzig

Brief



141 832

0599/114

Städtische Wasserversorgung

Brief 3

Siebente Stunde

A. Vortrag

c) Fassung von Grundwasser durch Brunnenreihen

1. Allgemeines

66. In den vorstehenden Abschnitten ist die Wirkungsweise einzelner Brunnen besprochen worden. Zur Fassung von großen Wassermengen für die städtische Wasserversorgung sind aber mehrere Brunnen (Brunnenreihen) erforderlich. Früher wurden in der Hauptsache Schachtbrunnen verwendet. Wie im Abs. 55 erwähnt, ist aber der Durchmesser nur von geringem Einfluß auf

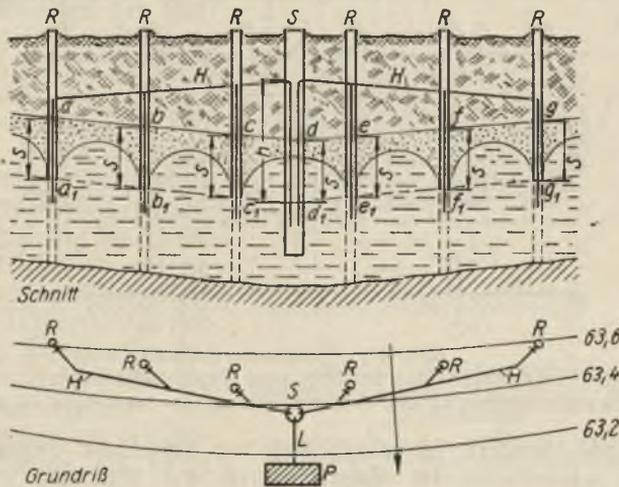


Abb. 40. Grundwasserfassung

Grundwasserströme geneigt zur Brunnenrichtung

R = Rohrbrunnen, H = Heberleitung, S = Sammelbrunnen, L = Saugleitung, P = Pumpanlage

die Ergiebigkeit eines Brunnens; man verwendet deshalb heute bei der Fassung durch Brunnenreihen immer Rohrbrunnen. Das in den Brunnen gewonnene Wasser wird mittels Pumpen dem Versorgungsgebiet zugeführt. Man kann die einzelnen Brunnen direkt durch Saugleitungen mit den Pumpen verbinden. Bei größeren Anlagen wird aber in der Regel

zwischen der Brunnen- und Pumpenanlage ein Sammelbrunnen eingeschaltet, aus dem die Pumpen mittels Saugleitungen das Wasser entnehmen, während die einzelnen Brunnen mit dem Sammelbrunnen gewöhnlich durch Heberleitungen verbunden sind.

67. In der Regel wird die Fassungsanlage ungefähr senkrecht auf die Bewegungsrichtung des Grundwasserstromes angelegt. Man wird aber gewöhnlich versuchen, von dem Senkrechten so weit abzuweichen, daß das natürliche Gefälle des Grundwassers in Richtung der Heberleitungen etwa dem Gefälleverlust entspricht, der zur Förderung des Wassers in der Heberleitung erforderlich ist. In der Abb. 40 ist eine solche Grundwasserfassung dargestellt. Sie besteht aus 6 Rohrbrunnen R und einem Sammelbrunnen S. Der im Grundriß eingetragene Pfeil (senkrecht zu den Höhenlinien) gibt die Richtung des Grundwasserstromes an. Die Rohrbrunnen sind symmetrisch zum Sammelbrunnen längs zweier Heberleitungen H angeordnet, durch die sie mit dem Sammelbrunnen in Verbindung stehen. Die Heberleitungen sind nicht genau senkrecht zur Strömungsrichtung des Grundwassers (vgl.

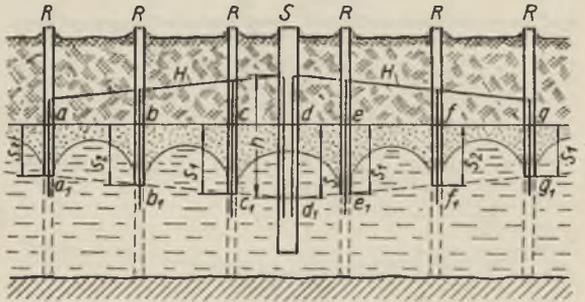


Abb. 41. Grundwasserfassung
Fassungsanlage senkrecht zum Grundwasserstrom

R = Rohrbrunnen, H = Heberleitung, S = Sammelbrunnen, L = Saugleitung, P = Pumpenanlage

Grundriß), sondern so gelegt, daß der natürliche Grundwasserspiegel *a b c d e f g* im Schnitt durch die Brunnen von dem Sammelbrunnen aus nach beiden Seiten aufsteigt. Ist nun die Anordnung getroffen, daß der Höhenunterschied zwischen den Grundwasserständen im Sammelbrunnen und in den Rohrbrunnen dem Gefälleverlust in den Heberleitungen genau entspricht, so wird bei einer Absenkung *s* im Sammelbrunnen die nutzbare Absenkung in den Rohrbrunnen ebenfalls gleich *s* sein.

68. In der Abb. 41 ist ein Schnitt durch eine Fassungsanlage dargestellt, die genau senkrecht zur Strömungsrichtung des Grundwassers angelegt ist, so daß der Grundwasserspiegel *a b c d e f g* als eine waagerechte Linie erscheint. In diesem Fall

stellt sich beim Betrieb der Anlage der Grundwasserspiegel in den verschiedenen Brunnen auf die Höhe $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1$, so daß die Neigung der Linien a_1, d_1 und g_1, d_1 dem Gefällverlust in den Heberleitungen entspricht. Bei einer Absenkung s im Sammelbrunnen werden demnach die nutzbaren Absenkungen s_1, s_2 und s_3 in den Rohrbrunnen mit der Entfernung vom Sammelbrunnen abnehmen, so daß die Wirkung der von dem Sammelbrunnen entfernter liegenden Brunnen entsprechend geringer wird.

69. Hat man die Linie bestimmt, in der die Brunnen einer Fassung liegen sollen, so wird man die Brunnen am zweckmäßigsten nicht nach vorausbestimmter Entfernung einen nach dem anderen anbohren, sondern man wird oft besser jeweils einige Brunnen der Fassungsline überspringen und nach den Ergebnissen der jeweils ausgeführten Brunnenbohrung zu entscheiden suchen, welches die endgültige Entfernung der Brunnen bleiben muß. Die Entfernung der Brunnen richtet sich im wesentlichen nach der Beschaffenheit des Untergrundes und nach dem Durchmesser des Brunnenquerschnittes. Da die Beschaffenheit des Untergrundes an verschiedenen Stellen oft höchst verschieden sein kann, so wird man oft in einer und derselben Fassung verschiedene Entfernungen der Brunnen verwenden müssen. Die tatsächlichen Entfernungen der Brunnen schwanken in der Regel etwa zwischen 10 und 50 m. Man wird die Brunnen meistens in der Weise anlegen, daß die Entnahmegrenzen sich annähernd berühren. In Abb. 42 sind die Entnahmegrenzen der 4 Rohrbrunnen R_1, R_2, R_3, R_4 einer annähernd senkrecht zur Grundwasserstromrichtung angeordneten Fassungsanlage eingezeichnet. Jeder Brunnen entwässert ein Profil von der Länge l .

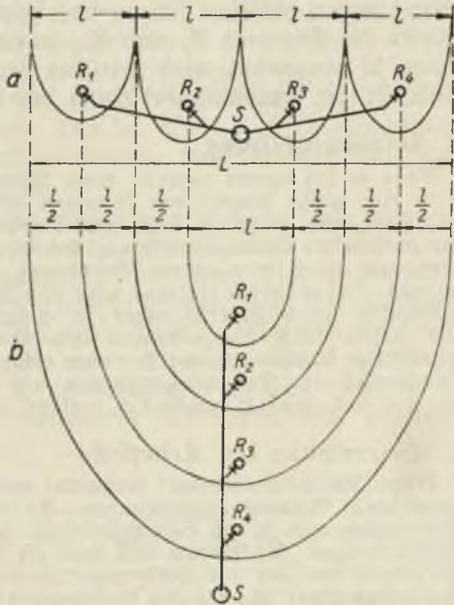


Abb. 42. Grundwasserfassung
Fassungsanlage in Richtung des Grundwasserstroms

a = Grundwasserentwässerung in Richtung des Grundwasserstroms, b = Grundwasserentwässerung senkrecht zum Grundwasserstrom

70. Im Abs. 67 wurde erwähnt, daß die Fassungsanlage gewöhnlich annähernd senkrecht zur Strömungsrichtung des Grundwassers gelegt wird. Es ist aber damit nicht gesagt, daß man nicht auch durch eine andere Anordnung die vollständige Ausnutzung des Grundwasserprofils erzielen kann. In Abb. 42 sind die oben gezeichneten 4 Rohrbrunnen parallel zur Strömungsrichtung des Grundwassers angeordnet. In diesem Falle entwässert der Brunnen R_1 , wie oben, ein Profil von der Länge l . Der Brunnen R_2 entwässert eine Profillänge von zweimal l , und diese Längen schließen sich an das Profil l an. In gleicher Weise wirken die Brunnen R_3 und R_4 , so daß schließlich dieselbe Profillänge L ausgenutzt wird wie bei der Anordnung der Brunnen senkrecht zur Strömungsrichtung des Grundwassers¹⁾.

B. Zusammenfassung

Wenn es sich darum handelt, große Mengen von Grundwasser zu fassen, wird eine große Anzahl von Brunnen nötig. In der Regel werden die Brunnen dann so gelegt, daß ihre Verbindungslinie annähernd senkrecht zur natürlichen Strömungsrichtung des Grundwassers verläuft. Man kann aber auch durch eine andere Anordnung der Brunnen dieselbe Wirkung erzielen. Bei größeren Anlagen wird das Wasser von den Fassungsbrunnen gewöhnlich durch Heberleitungen in einen Sammelbrunnen geleitet und aus diesem durch Saugleitungen dem Versorgungsgebiet zugeführt. Die gegenseitige Entfernung der Brunnen richtet sich im wesentlichen nach dem Durchmesser des Brunnenquerschnitts und der Beschaffenheit des Untergrundes und schwankt gewöhnlich zwischen 10 und 50 m.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Welche Brunnenart verwendet man bei der Fassung durch Brunnenreihen? **Antwort:** Rohrbrunnen. **F.:** Wie wird das Wasser von den Fassungsbrunnen in den Sammelbrunnen geleitet? **A.:** In der Regel durch Heberleitungen. **F.:** Warum läßt man oft die Verbindungslinie der Brunnen etwas von der zur Strömungsrichtung des Grundwassers senkrechten Linie abweichen? **A.:** Um den Gefällverlust in der Heberleitung aufzuheben, so daß die nutzbare Absenkung des Grundwassers in den Fassungsbrunnen gleich der Absenkung im Sammelbrunnen bleibt. **F.:** Wie kann man am besten die richtige Entfernung der Fassungsbrunnen festlegen? **A.:** Man bohrt zunächst in großer Entfernung einige Brunnen an und bestimmt nach den Ergebnissen dieser Bohrungen die richtige Entfernung. **F.:** Wie groß wählt man in der Regel die gegenseitige Entfernung der Fassungsbrunnen? **A.:** Etwa 10 bis 50 m.

A. Vortrag

2. Heberleitungen

71. Die Heberleitungen werden gewöhnlich so angeordnet, daß sie in Richtung nach dem Sammelbrunnen hin ansteigen, also ihren höchsten Punkt im Sammelbrunnen haben. Der Abstand von dem abgesenkten Wasserspiegel im Sammelbrunnen bis zum Heberscheitel nennt man die **Saugspannung der Heber-**

¹⁾ Sonreker: Wasserversorgung der Städte 1914.

Leitung. Die Saugspannung, die in Abb. 40 mit h bezeichnet ist, soll mit Rücksicht auf eine sichere Heberwirkung 7,0 m nicht überschreiten. Am höchsten Punkt der Heberleitung (Heberscheitel) muß eine Entlüftung vorgesehen werden. Jedes Grundwasser enthält nämlich Gase, in der Hauptsache Kohlensäure, Luft und Schwefelwasserstoff, die sich bei der Gewinnung ausscheiden und den Betrieb des Hebers störend beeinflussen können. Für die Bemessung der Entlüftungsanlage muß auch die Luft berücksichtigt werden, die durch undichte Muffenverbindungen in die Heberleitung eindringt. Je länger die Heberleitung und je größer die Saugspannung ist und je mehr Wasser in die Zeiteinheit durch die Heberleitung fließen soll, um so leistungsfähiger muß die Entlüftungsanlage sein. Nach Prinz²⁾ kann man rechnen, daß bei 6 bis 7 m Saugspannung und 1000 m³ täglicher Wasserförderung rund 0,8 bis 1,0 l Luft in der Sekunde abzusaugen ist.

72. Die Steigung der Heberleitung nach dem Brunnen hin wird so groß gewählt, wie es die Verhältnisse erlauben, um einen möglichst raschen Abzug der Luft nach dem Heberscheitel zu ermöglichen. Bei kurzen Heberleitungen kann die Steigung 1 : 100 gewählt werden. Bei sehr langen Heberleitungen muß man sich dagegen häufig mit einer Steigung von 1 : 1000 bis 1 : 2000 begnügen, damit die Heberleitung an den Flügeln der Brunnenreihe nicht zu tief unter der Bodenoberfläche zu liegen kommt.

73. Die Heberleitungen werden gewöhnlich aus gußeisernen Muffenrohren zusammengesetzt und durch Teerstrick und Blei oder mit sogenannten Gummischnurringen gedichtet. Sie werden nach der Fertigstellung auf Luftdichtigkeit geprüft. Die Dichtigkeitsprobe von Heberleitungen erfolgt nicht wie bei Druckleitungen durch Wasserdruck, sondern man erzeugt in der Heberleitung ein Vakuum, das sich längere Zeit unverändert halten muß, wenn die Heberleitung dicht ist. In die Anschlußleitungen der einzelnen Fassungsbrunnen an die Heberleitung wird zweckmäßig eine Abschlußvorrichtung eingebaut (vgl. Abb. 40, Grundriß), so daß jeder Brunnen ausgeschaltet werden kann. Um eine bleibende Luftdichtigkeit zu erzielen, muß die Heberleitung sorgfältig verlegt werden. In einigen Fällen hat man die Heberleitungen in begehbare Stollen gelegt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß man die Leitung dauernd überwachen kann, diese Fassung wird aber teuer.

74. Der Durchmesser der Heberleitung muß so gewählt werden, daß die Geschwindigkeit des Wassers 0,60 bis 0,75 m

²⁾ Prinz, Handbuch der Hydrologie 1923.

in der Sekunde nicht überschreitet. Bei der Wahl des Durchmessers ist auch eine spätere Erweiterung der Fassungsanlage und somit die Möglichkeit einer Verlängerung der Heberleitung zu berücksichtigen. Am besten wird man deshalb die Heberleitung für die zukünftige Ausdehnung der Fassungsanlage bemessen und zunächst nur den für die erste Zeit notwendigen Teil zur Ausführung bringen. In diesem Falle wird also die Geschwindigkeit des Wassers in der Heberleitung vor Ausführung der Erweiterung verhältnismäßig gering.

3. Sammelbrunnen

75. Wie schon erwähnt, bildet der Sammelbrunnen ein Verbindungsmitglied zwischen Heberleitung und Saugleitung. Der Durchmesser der Sammelbrunnen, der 5 m und mehr betragen kann, richtet sich nach der Anzahl und Größe der in ihn mündenden Heber- und Saugleitungen. Trotz sorgfältig ausgeführter Filter der Fassungsbrunnen führt das Wasser meistens Sand mit sich durch die Heberleitung. Beim Fehlen eines Sammelbrunnens, der als Sandfang wirkt, würde dieser Sand in die Pumpen gelangen und deren schnelle Abnutzung bewirken. Der Sammelbrunnen wirkt beim Anstellen der Pumpen ausgleichend auf die in Bewegung kommenden Wassermassen und schützt somit die Fassungsbrunnen vor den schädlichen Pumpenstößen. Man sieht hieraus, daß der Sammelbrunnen verschiedene Zwecke erfüllt; bei größeren Anlagen ist er deshalb in der Regel unentbehrlich.

76. Der Sammelbrunnen wird gewöhnlich als gemauerte Kesselbrunnen ausgeführt. Früher hat man vielfach den Sammelbrunnen auch als Fassungsbrunnen benutzt, indem man ihm eine durchlässige Sohle oder einen durchlässigen Mantel gab. Dies hat sich aber als ungeeignet erwiesen, indem z. B. am ersten Naunhofer Werk der Sammelbrunnen mit der Zeit abwärts sank und dadurch Rohrbrüche entstanden (vgl. Abs. 39). Heutzutage werden die Sammelbrunnen deshalb mit dichtem Mantel und dichter Sohle ausgeführt. Die Sohle muß so stark sein, daß sie, für den Fall des Leerpumpens des Sammelbrunnens zum Zweck der Reinigung, den Wasserdruck von unten widerstehen kann. Sie wird gewöhnlich aus Beton hergestellt und unter Umständen durch eingelegte Eisen verstärkt.

77. Um in der Wasserfassung Reserven zu schaffen, wird der Sammelbrunnen, wie erwähnt, in der Regel in der Mitte der Fassung angeordnet (vgl. Abb. 40), so daß bei Unterbrechung der einen Heberleitung wenigstens die Hälfte der Wasserfassung in Betrieb gehalten werden kann. Bei größeren Anlagen werden vorsichtshalber oft zwei Sammelbrunnen angeordnet, da unter Umständen die Notwendigkeit vorliegt, auch den Sammelbrunnen

aus dem Betrieb auszuschalten. Ist nur ein Sammelbrunnen vorhanden, so pflegt man sogenannte *Umgangsleitungen* anzuordnen. In Abb. 43 ist eine solche Anordnung im Grundriß schematisch dargestellt. Es bedeuten H_1 und H_2 die beiden Heberleitungen, die in den Sammelbrunnen S münden, S_1 und S_2 die beiden Saugleitungen, die das Wasser aus dem Sammelbrunnen entnehmen. Die Umgangsleitungen U_1 und U_2 verbinden je eine Heberleitung mit einer Saugleitung. Durch entsprechende Umstellung der Schieber kann man dann den Sammelbrunnen ausschalten und die Saugleitungen unmittelbar aus den Heberleitungen schöpfen lassen. Zur größeren Sicherheit kann man auch die beiden Saugleitungen durch die Leitung V verbinden.

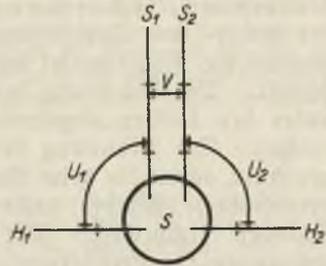


Abb. 43. Umgangsleitungen an einem Sammelbrunnen

78. Die Sammelbrunnen müssen mindestens etwa 8 bis 10 m von dem Maschinengebäude abliegen, damit dessen Fundamente gesichert werden. Unmittelbar über dem Sammelbrunnen Ma-

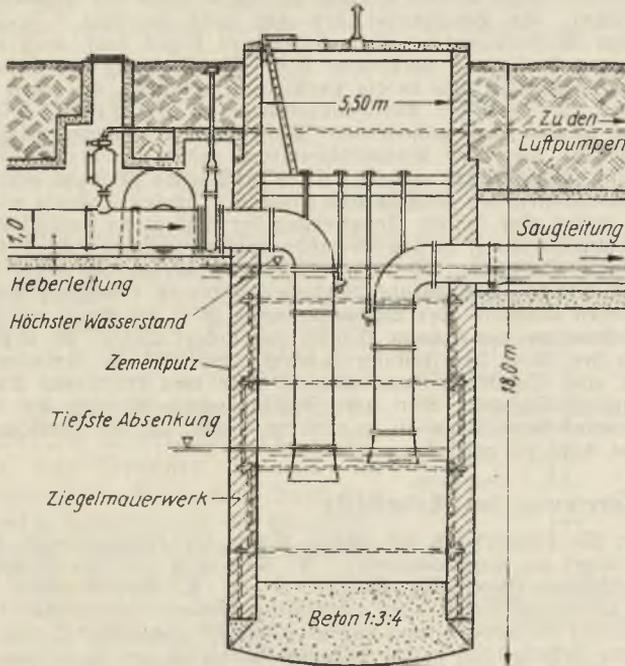


Abb. 44. Sammelbrunnen des Kölner Wasserwerkes bei Hochkirchen

schinen aufzubauen, ist auch bei kleinen Anlagen wegen der verminderten Zugänglichkeit des Brunnens nicht zu empfehlen.

79. Über den Rohren befindet sich gewöhnlich im Sammelbrunnen ein Bedienungspodest, in dem die Saugschenkel der Heber- und Saugleitungen aufgehängt werden. Neuerdings werden die Rohrschenkel auch vielfach auf der dichten Sohle aufgestellt. Die Mündung der Heberleitung muß mindestens 1 m unter den tiefsten abgesetzten Wasserspiegel im Sammelbrunnen reichen. Die Mündung der Saugleitung wird etwas höher angeordnet, damit die beim Austreten des Heberwassers im Brunnen verursachten Wirbel nicht störend auf die Saugtätigkeit der Pumpen einwirken. Der Sammelbrunnen erhält noch Vorrichtungen für Entlüftung, Beleuchtung und Wasserstandsanzeige. Es ist stets zweckmäßig, den Sammelbrunnen leicht zugänglich zu machen, um etwaige Verbesserungen ausführen und Schieber u. dgl. bedienen zu können. Als Beispiel ist in Abb. 44 der Sammelbrunnen des Kölner Wasserwerkes bei Hochkirchen dargestellt.

B. Zusammenfassung

Die Heberleitungen werden so angelegt, daß sie gegen den Sammelbrunnen hin ansteigen. Am Heberscheitel, der nicht mehr als etwa 7 m über den abgesetzten Wasserspiegel im Sammelbrunnen liegen darf, muß eine Anordnung zur Entlüftung vorhanden sein. Die Steigung der Heberleitung wird so groß gewählt, wie es die Verhältnisse erlauben, um einen schnellen Abzug der Luft nach der Entlüftungsanlage zu ermöglichen. Die Heberleitungen werden aus gußeisernen Muffenrohren zusammengesetzt, durch Teerstrich und Blei oder Gummischnurringe gedichtet und nach der Verlegung auf Luftdichtigkeit geprüft. Der Durchmesser ist so zu wählen, daß die Geschwindigkeit des Wassers 0,60 bis 0,75 m in der Sekunde nicht überschreitet, wobei eine spätere Erweiterung der Anlage zu berücksichtigen ist.

Der Sammelbrunnen ist das Verbindungsglied zwischen Heberleitung und Saugleitung. Außerdem soll er als Sandfang wirken und beim Anstellen der Pumpen eine ausgleichende Wirkung auf die in Bewegung kommenden Wassermassen ausüben. Der Sammelbrunnen ist in der Regel ein gemauertes Kesselbrunnen mit dichtem Mantel und dichter Sohle. Er wird in der Regel in der Mitte der Fassung angelegt. Bei größeren Anlagen werden entweder zwei Sammelbrunnen angelegt oder man trifft eine Anordnung mit Umgangsleitungen. Von dem Maschinengebäude muß der Sammelbrunnen mindestens 8 bis 10 m entfernt liegen, um die Fundamente des Gebäudes nicht zu gefährden.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Wo befindet sich der höchste Punkt der Heberleitung? **Antwort:** In der Regel im Sammelbrunnen. **F.:** Wie groß darf die Saughöhe des Hebers höchstens sein? **A.:** Höchstens 7 m. **F.:** Wonach richtet sich die nötige Leistungsfähigkeit der Entlüftungsanlage einer Heberleitung? **A.:** Je länger die Heberleitung und je größer die Saughöhe ist, und je mehr Wasser die Heberleitung in der Sekunde führen soll, um so leistungsfähiger muß die Entlüftungsanlage sein. **F.:** Aus welchem Baustoff wird die Heberleitung hergestellt? **A.:** Aus gußeisernen Rohren, die durch Teerstrich und

Blei oder mit Gummischnurringen gedichtet werden. **F.:** Wie groß muß der Durchmesser der Heberleitung sein? **A.:** So groß, daß die Geschwindigkeit des Wassers 0,6 bis 0,75 m in der Sekunde nicht überschreitet. **F.:** Wonach richtet sich der Durchmesser des Sammelbrunnens? **A.:** Nach der Anzahl und Größe der in ihn mündenden Heber- und Saugleitungen. **F.:** Welche nachteilige Folgen hat man bei Sammelbrunnen mit offener Sohle festgestellt? **A.:** Das Material des Untergrundes kann durch die Bewegung des Wassers ausgespült werden; dadurch sinkt der Brunnen abwärts und kann Rohrbrüche verursachen. **F.:** Wie tief muß die Mündung der Heberleitung reichen? **A.:** Mindestens etwa 1 m unter dem tiefsten abgesetzten Wasserspiegel im Brunnen.

D. Zur Wiederholung

52. Aus welchen Hauptteilen besteht eine Brunnenfassung? 53. Wie werden die Brunnen einer Fassung in der Regel angelegt? 54. Wonach richtet sich die Entfernung der Fassungsbrunnen? 55. Was versteht man unter der größten Saugspannung einer Heberleitung? 56. Wo wird die Entlüftung der Heberleitung angeordnet? 57. Wie groß wählt man die Steigung der Heberleitung? 58. Welche Vorteile hat die Verlegung der Heberleitung in begehbare Stollen? 59. Was muß bei der Bemessung der Heberleitung besonders berücksichtigt werden? 60. Welches Brunnen-system wird für Sammelbrunnen verwendet? 61. An welcher Stelle wird der Sammelbrunnen angelegt? 62. In welchem Abstand von dem Maschinengebäude wird der Sammelbrunnen angeordnet?

E. Aufgaben

14. Wie wird die Dichtigkeitsprobe der Heberleitungen durchgeführt?
15. Welchen verschiedenen Zwecken dient der Sammelbrunnen?

Achte Stunde

A. Vortrag

d) Untersuchung des Rückganges der Ergiebigkeit von Brunnen

80. Bei der Bewegung des Wassers im Untergrund treten Widerstände auf, ebenso beim Eintritt des Grundwassers in den Fassungskörper. Der Widerstand im Untergrund ist als unänderlich anzusehen; den Eintrittswiderstand in die Fassung kann man dagegen durch richtige Wahl der Bauweise auf ein Mindestmaß beschränken. Bei der Ermittlung der Ergiebigkeit von Brunnen wurden die Widerstände im Untergrund durch den Beiwert k berücksichtigt, der Eintrittswiderstand wurde dagegen vernachlässigt (vgl. Absatz 53).

81. Unter dem Eintrittswiderstand eines Brunnen versteht man das Maß h in Abb. 45, d. h. den Höhenunterschied zwischen

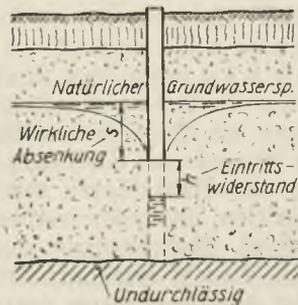


Abb. 45. Eintrittswiderstand bei Rohrbrunnen

dem abgesenkten Wasserspiegel im Brunnen und dem abgesenkten Grundwasserspiegel an dessen äußeren Rand. Das Messen des Eintrittswiderstandes geschieht am besten mit Hilfe von Beobachtungsröhren im Brunnen und am äußeren Rand. Ist außerhalb des Brunnens kein geeignetes Beobachtungrohr vorhanden, so kann man den Eintrittswiderstand in folgender Weise annähernd bestimmen. Nach längerer, dauernder Entnahme wird sie plötzlich unterbrochen. Der Wasserspiegel im Brunnen steigt dann verhältnismäßig schnell auf die Höhe des äußeren Grundwasserspiegels, von da ab aber langsamer. Wird nun die Höhe bestimmt, bei der das langsamere Aufsteigen des Wasserspiegels anfängt, so ergibt der Unterschied zwischen dieser Höhe und der Höhe des Wasserspiegels bei vollem Betrieb annähernd den Eintrittswiderstand.

82. Geht die Ergiebigkeit eines Rohrbrunnens im Laufe der Jahre zurück, so ist es von großer Wichtigkeit zu erforschen, ob dieser Rückgang der Ergiebigkeit auf eine Abnahme der Grundwassermenge im Boden oder auf eine Verstopfung des Filters zurückzuführen ist. Der Rückgang der Ergiebigkeit macht sich dadurch bemerkbar, daß eine größere Absenkung erforderlich ist, um die gleiche Wassermenge entnehmen zu können. Bleibt nun die genannte Höhe h bei dieser größeren Absenkung unverändert, so ist eine Erstopfung des Grundwassers eingetreten, weil die Entnahme aus dem Brunnen größer war als der Zufluß. Ist dagegen das Maß h wesentlich größer als früher, dann ist eine Verstopfung des Brunnenfilters die Ursache der geringeren Ergiebigkeit. Es ist daher in jedem Fall äußerst wichtig, bei den Brunnen nicht nur die zu einer bestimmten Entnahme gehörende Absenkung, sondern auch den Eintrittswiderstand h zu beobachten.

e) Die Lebensdauer von Grundwasserfassungen

83. Die Lebensdauer von Grundwasserfassungen hängt ab von den verwendeten Baustoffen und von der Beschaffenheit des Grundwassers und des Untergrundes. Am widerstandsfähigsten gegen die Angriffe des Grundwassers und der Bodensäuren sind die Bauteile aus Steinzeug und Mauerwerk. Fast alle Metalle werden von Bodensäuren und kohlen säurehaltigen Grundwässern angegriffen, und zwar werden Schmiedeeisen und Zink am schnellsten zerstört. Rohrbrunnen aus Kupfer und Gußeisen haben sich, wie schon einmal erwähnt, am besten bewährt. Besonders gefährlich wird die Lage, wenn unter Zutritt von Bodensäuren galvanische Ströme entstehen. Solche Ströme können da auftreten, wo Bauteile aus verschiedenen Metallen zusammengesetzt sind.

84. Die Brunnenfilter können durch mechanische und chemische Vorgänge verstopft werden. Durch den Betrieb eines Brunnens wird, wie erwähnt, eine künstliche Geschwindigkeit des Grundwassers nach dem Brunnen hin erzeugt. Durch diese vergrößerte Grundwassergeschwindigkeit wird der feine Sand des Untergrundes in Bewegung gesetzt und wandert dem Brunnenfilter zu. Die Hohlräume des Filters werden somit allmählich mit Sand ausgefüllt und die Ergiebigkeit des Brunnens verringert. Die chemische Verstopfung des Filters geschieht dadurch, daß sich aus dem Grundwasser verschiedene Stoffe ausscheiden. Die Auscheidungen sind hauptsächlich Eisen, kohlensaurer Kalk und andere kohlensauren Salze. Durch diese Stoffe können die Ein-

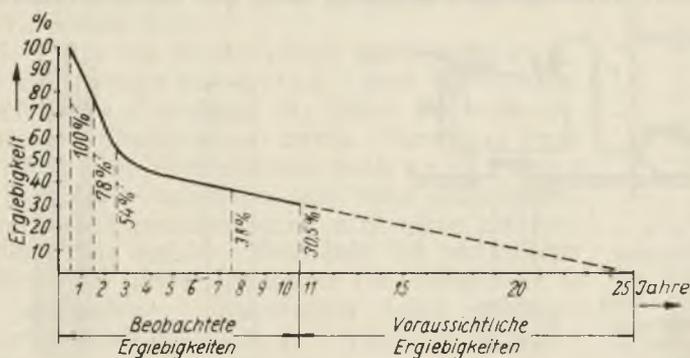


Abb. 46. Vorausbestimmung der Ergiebigkeit bei Rohrbrunnen (nach Prinz)

trittsöffnungen des Brunnens teilweise oder auch ganz verstopft werden.

85. Wenn die Ergiebigkeitsabnahme im Laufe von mehreren Jahren zeichnerisch dargestellt wird, so kann man die Zeit vorausbestimmen, zu der die Ergiebigkeit eines Brunnens annähernd auf Null sinkt. Als Beispiel wird folgender Fall von Prinz gebracht: Die Ergiebigkeitsabnahme der Wasserfassung einer Stadt zeigte folgende Zahlen:

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

Werden diese Ergebnisse zeichnerisch dargestellt, wie es die Abb. 46 zeigt, so sieht man, daß die Abnahme der Ergiebigkeit etwa vom 5. Jahr an annähernd geradlinig verläuft. Verlängert man diese geradlinige Ergiebigkeitslinie bis zum Schnitt mit der Waagerechten, so findet man, daß die Ergiebigkeit der Fassung in

etwa 25 Jahren auf Null herabsinken würde, wenn sie sich selbst überlassen bliebe.

f) Verlängerung der Lebensdauer von Wasserfassungen

86. Die Lebensdauer von Wasserfassungen kann wesentlich verlängert werden in der Hauptsache durch

1. fachgemäße Bauausführung,
2. fachgemäße Unterhaltung.

Über Punkt 1 ist schon in früheren Abschnitten gesprochen worden, es soll deshalb hier nur einiges zu Punkt 2 gesagt werden.

87. Sand, der sich etwa auf der Brunnensohle abgelagert, kann entweder durch Pumpen abgepült oder mit einem Ventilbohrer

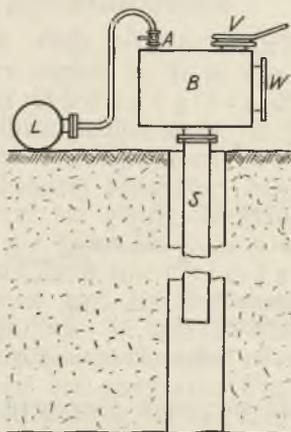


Abb. 47. Geräte zur Reinigung von Rohrbrunnen

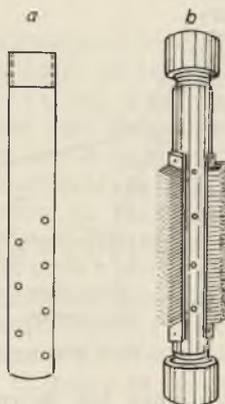


Abb. 48. Geräte zur Reinigung des Rohrbrunnens
a = Spritzrohre, b = Stahlbürste

(vgl. Absatz 31) ausgehoben werden. Liegt eine mechanische Verstopfung des Brunnenfilters durch Sand vor, so versucht man die Sandverfäzungen durch Wasser-spülung zu beseitigen. Notwendig ist es, daß die Spülung stoßweise erfolgt. Zu diesem Zweck kann man einen Apparat, wie es Abb. 47 darstellt, verwenden. Der Behälter B wird auf das Brunnenaugrohr S luftdicht aufgeschraubt. Er erhält ein Wasserstandsrohr W, eine Verschlussklappe V und einen Anschlußstutzen A. Mittels A und einer Schlauchleitung wird der Behälter an die Saugleitung L angeschlossen. Durch Öffnen des Hahnes bei A wird B aus dem Brunnen mit Wasser gefüllt. Schließt man dann den Hahn und öffnet die Verschlussklappe V, so fließt die gesamte Wassermenge des Behälters plötzlich in den Brunnen zurück. Der dadurch entstandene Stoß verpflanzt sich dann auf das Filter. Wirksame Stöße können auch durch die Auf- und Abbewegung eines Kol-

bens im Brunnen erreicht werden. Das letzte Verfahren nennt man Stöpfeln des Brunnens. Ferner kann man die Stoßwirkung durch Einführung von Dampf oder Druckluft erzielen. Die Wirkung wird noch erhöht, wenn das Wasser, der Dampf oder die Druckluft nicht auf die ganze Innenfläche des Brunnens, sondern nur auf einen Teil derselben wirkt. Zu diesem Zweck benutzt man besondere Spritzrohre (Abb. 48 a), deren Wirkung bisweilen durch Stahlbürsten (Abb. 48 h) verstärkt wird. Man kann einen Doppelkolben nach Abb. 49 benutzen. Dieser schließt mit den beiden Kolbenscheiben einen kleinen Raum ab, so daß die in diesen Raum eingeführte Kraft (Wasser, Dampf Druckluft) nur auf eine kleine Fläche des Brunnens innern verteilt wird.

88. Wenn das Brunnenfilter durch wasserunlösliche Sinterungen von Eisen- oder Kalkverbindungen verstopft ist, helfen die bisher beschriebenen Anordnungen wenig. Man kann dann versuchen, diese Verbindungen durch verdünnte Salzsäure aufzulösen und dann auszuspülen. Durch die Brunnenreinigung wird selten ein dauernder Erfolg erzielt. Meist stellt sich der schlechte Zustand nach kurzer Zeit wieder ein. Deshalb ist es oft zweckmäßiger, grundsätzlich falsch angelegte Brunnen durch neue gute zu ersetzen, als sie immer wieder zu reinigen.

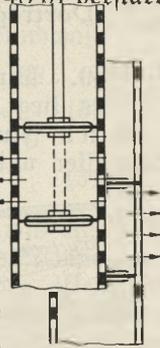


Abb. 49
Doppelkolben
zur Abgrenzung der Reinigungsfläche im Brunnen-saugrohr

B. Zusammenfassung

Der Eintrittswiderstand eines Brunnens ist durch den Höhenunterschied h zwischen dem abgesenkten Wasserspiegel im Brunnen und dem abgesenkten Grundwasserspiegel am äußeren Rand des Brunnens bestimmt. Wenn die Ergiebigkeit des Brunnens mit der Zeit zurückgeht, während das Maß h unverändert bleibt, so ist eine Erschöpfung des Grundwassers eingetreten. Ist aber das Maß h wesentlich größer geworden, so ist eine Verstopfung des Brunnenfilters der Grund der geringen Ergiebigkeit. Die ersten Bedingungen zur Erzielung einer großen Lebensdauer eines Brunnens sind richtige Wahl der Baustoffe und sorgfältige Bauausführung. Rohrbrunnen aus Kupfer und Gußeisen haben sich am besten bewährt. Die Verstopfung des Brunnenfilters kann dadurch erfolgen, daß der feine Sand beim Betrieb des Brunnens aus dem Untergrund ausgewaschen wird und allmählich die Hohlräume des Filters ausfüllt. Eine solche Verstopfung kann durch Spülung mit Wasser, Dampf oder Druckluft zum Teil beseitigt werden. Gefährlicher ist es, wenn die Verstopfung die Folge einer Ausscheidung fester Stoffe aus dem Grundwasser, z. B. Eisen- oder Kalkverbindungen, ist. Man versucht dann die festen Stoffe mit verdünnter Salzsäure aufzulösen und dann auszuspülen.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter dem Eintrittswiderstand bei einem Rohrbrunnen? **Antwort:** Der Eintrittswiderstand ist der Höhenunterschied

zwischen dem Wasserspiegel im Brunnen bei vollem Betrieb und dem Grundwasserspiegel am äußeren Rand des Brunnens. **F.:** Wie erkennt man, daß eine Erschöpfung des Grundwassers eingetreten ist? **A.:** Wenn die Ergiebigkeit eines Brunnens mit der Zeit zurückgeht, während der Eintrittswiderstand unverändert bleibt, ist eine Erschöpfung des Grundwassers eingetreten. **F.:** Wie kann man die Lebensdauer einer Wasserfassung verlängern? **A.:** Durch sachgemäße Bauausführung und Unterhaltung. **F.:** Wie muß die Spülung eines Rohrbrunnens erfolgen, wenn eine Verstopfung des Brunnenfilters eingetreten ist? **A.:** Die Spülung muß stoßweise erfolgen. **F.:** Wie erfolgt das Stößeln eines Brunnens? **A.:** Durch die Auf- und Abbewegung eines Kolbens im Brunnen.

A. Vortrag

g) Natürliche Uferfiltration

89. Wird einem Brunnen, der in der Nähe eines Flusses oder Sees liegt, dauernd eine größere Wassermenge entnommen, so kann Fluß- oder Seewasser in den Brunnen gelangen. Das Wasser wird beim Durchfluß durch den natürlichen Boden des

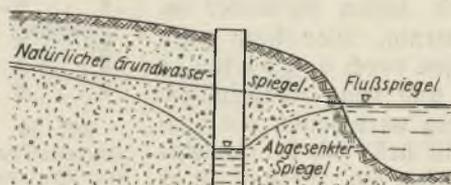


Abb. 50. Grundwasserspiegel-Abenkung bei natürlicher Uferfiltration

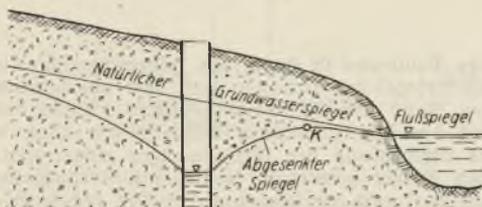


Abb. 51. Grundwasserspiegel-Abenkung bei Entnahme von echtem Grundwasser
K = Kulminationspunkt

Ufers mehr oder weniger gut gereinigt; man nennt daher den Vorgang „natürliche Uferfiltration“.

90. Der Laie, der die Beziehungen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser nicht kennt, sieht in der Regel das gesamte in einem Flußtal vorhandene Grundwasser als dem Fluß entstammend an und ist deshalb geneigt, ohne weiteres anzunehmen, daß man an den Ufern von Flüssen und Seen unter allen Umständen natürliches flüßiges und Seewasser

gewinnen kann. Das ist aber durchaus nicht immer der Fall. Eine solche Gewinnung erfordert zunächst ein durchlässiges, filtrierendes Flußbett. Weiter muß der durch die Entnahme abgesenkte Grundwasserspiegel vom Fluß bis zum Brunnen überall Gefälle gegen diesen zeigen (Abb. 50). Hat dagegen der abgesenkte Grundwasserspiegel zwischen Fluß und Brunnen einen Kulminationspunkt K (Abb. 51), so daß der Spiegel sowohl zum Brunnen als auch zum Fluß abfällt, so gelangt nur echtes Grundwasser und kein Flußwasser in den Brunnen.

91. Der Anteil des Flußwassers an der aus dem Brunnen beförderten Wassermenge läßt sich nicht aus den Spiegelabstufungen berechnen. Näherungsweise ist aber eine solche Bestimmung aus dem Vergleich der Temperaturen des gefördertten Wassers mit den Temperaturen des Grundwassers und Flußwassers möglich. Bezeichnet man mit Q die geförderte Wassermenge, mit q_1 das darin enthaltene Flußwasser, mit q_2 das darin enthaltene Grundwasser und mit t, t_1, t_2 die zugehörige Temperaturen, so ist:

$$Q = q_1 + q_2$$
$$Q \cdot t = q_1 \cdot t_1 + q_2 \cdot t_2.$$

Daraus berechnen sich die Anteile des Fluß- und Grundwassers an der Förderung zu:

$$q_1 = Q \frac{t - t_2}{t_1 - t_2} \dots \dots \dots (34 a)$$

und

$$q_2 = Q \frac{t_1 - t}{t_1 - t_2} \dots \dots \dots (34 b)$$

Durch die Bewegung des Flußwassers im Untergrund bis an die Brunnenwandung ändert sich seine Temperatur. Als Temperatur t_1 des Flußwassers wird daher nicht diejenige des offenen Wasserlaufes, sondern die Temperatur des aus einem Bohrloch zwischen dem Brunnen und dem Fluß entnommenen Wassers zu nehmen sein.

92. Wenn das Grundwasser und das Flußwasser verschiedene Härten zeigen, kann man auch durch Vergleich der Härtegrade den Anteil des Flußwassers berechnen. An Stelle der Temperatur oder Härte können unter Umständen andere mineralische Bestandteile, z. B. der Chlorgehalt, treten. Nun wird es aber oft der Fall sein, daß das aus dem Brunnen entnommene Wasser bei Hochwasser im Fluß wesentlich aus Flußwasser, bei Niedrigwasser wesentlich aus echtem Grundwasser besteht. Um sich deshalb eine Übersicht über den Anteil des Flußwassers während eines längeren Zeitraumes zu schaffen, muß man die Temperaturen, bzw. Härtegrade oder Chlorgehalt, dauernd überwachen und die Ergebnisse zeichnerisch auftragen.

93. Ob durch die natürliche Uferfiltration dauernd oder nur zeitweise genügend reines und bakterienfreies Wasser genommen werden kann, hängt von dem Reinheitsgrad des Flußwassers, der Beschaffenheit des filtrierenden Bodens, dem Abstand des Brunnens vom Fluß und der Geschwindigkeit ab, mit der das Flußwasser durch den Boden dringt. Anlagen zur Gewinnung von natürlichem filtriertem Flußwasser sollten nur dort errichtet werden, wo das benachbarte Flußwasser verhältnismäßig wenig verunreinigt ist. Die Einleitung von Abwässern von Fabriken und Städten in den Fluß oberhalb der Fassung ist am besten zu verbieten; auf jeden Fall ist eine weitgehende Reinigung der Abwässer

zu verlangen. Bei den älteren Anlagen für die natürliche Uferfiltration wurde in der Regel der Fehler gemacht, daß die Brunnen zu nahe an den Fluß angelegt wurden. Die Folge hiervon war eine schnelle Verstopfung des Filterbodens mit Schlamm und ein nicht genügend filtriertes Wasser im Brunnen. Die Entfernung der Brunnen vom Fluß sollte daher mindestens 50 m betragen; bei dieser Entfernung sollte der Wasserspiegel im Brunnen nicht tiefer als etwa 2 m unter dem Flußwasserspiegel abgesenkt werden. Bei größerer Entfernung der Brunnen vom Fluß kann die Absenkung entsprechend größer sein.

94. Die Erfahrung bei der natürlichen Uferfiltration zeigt, daß nach Ablauf einer gewissen Zeit eine Verstopfung der Filterfläche eingetreten ist. Durch geringe Beanspruchung der Anlage kann man zwar die Zeitdauer der Wirksamkeit verlängern und den Zustand der Verstopfung hinauszuziehen; man wird aber den Eintritt der Verstopfung nicht verhindern können. Die einzige Möglichkeit einer dauernden Wirksamkeit des Filters besteht darin, daß der Fluß von Zeit zu Zeit bei Hochwasser die Oberfläche des Filters durch Mitnahme der Schlammpartikeln wieder reinigt, oder daß die Reinigung fortdauernd geschieht, wie es bei Flüssen mit beweglicher Sohle der Fall ist. Sind nun ausnahmsweise in einem besonderen Fall die sämtlichen Vorbedingungen für eine dauernde natürliche Uferfiltration erfüllt, so muß man immer mit der Gefahr rechnen, daß sich die Verhältnisse des Flußbettes durch Hochwasser ändern und die Selbstreinigung der Filterfläche durch Ablagerungen aufhört. Ein weiterer Nachteil ist das oft plötzliche Ansteigen des Keimgehaltes des Brunnenwassers bei eintretendem Hochwasser im Fluß.

h) Künstliche Grundwassererzeugung

95. Wie früher erwähnt, besitzt das Grundwasser in der Regel Eigenschaften, die es für die städtische Wasserversorgung besonders geeignet machen. Es hat eine nahezu gleichbleibende Temperatur und chemische Zusammensetzung und ist annähernd keimfrei. Da es aber immer schwerer wird, die für große Städte erforderliche Menge an einwandfreiem Wasser durch die vorhandene Grundwasserströme zu decken, ist es verständlich, daß man seit mehreren Jahren bestrebt war, künstlich ein Wasser zu erzeugen, das annähernd dieselben Eigenschaften besitzt wie das Grundwasser. Das durch „natürliche Uferfiltration“ gewonnene Wasser besitzt diese Eigenschaften nur zum Teil oder nur zeitweise; die Ergiebigkeit solcher Anlagen geht außerdem auf Grund der Verstopfung mit der Zeit zurück.

96. Den ersten praktischen Nachweis der Möglichkeit der künstlichen Grundwassererzeugung brachte R i c h e r t im Jahre 1897 mit der Fassungsanlage für die Stadt G o t e n b u r g. Bei dieser

Anlage wird das Wasser aus dem Götafluß mittels Pumpen zu we i B e r s i c k e r u n g s g r ä b e n zugeführt und sickert hier in den Boden. Die Gräben haben eine gesamte Bodenfläche von 5600 m². Die zur Entnahme des künstlich erzeugten Grundwassers dienenden B r u n n e n liegen 150 bis 250 m von den Gräben entfernt und liefern zusammen 70 l in der Sekunde (6000 m³ täglich). Das Wasser gelangt in etwa zwei Monaten von den Gräben in die Brunnen. Die Temperatur des Flußwassers schwankt zwischen 0 und 20°, die R e i m z a h l zwischen 500 und 800 im cm³. Das durch die Brunnen geförderte Wasser zeigt dagegen das ganze Jahr eine Temperatur zwischen 8 und 11° und ist praktisch keimfrei, ist also dem Grundwasser gleichwertig.

97. Für die Infiltration (Versickerung) eignen sich am besten Gräben von 2 bis 3 m Wassertiefe. Leistungsfähigkeit und Lebensdauer kann durch Bedeckung der Sohle und Böschungen mit Kies und Sand, mit von oben nach unten abnehmender Korngröße, erhöht werden. Um die Reinigung der Gräben ohne Betriebsunterbrechung vornehmen zu können, müssen stets mehrere Gräben vorhanden sein. Wenn das Rohwasser sehr verunreinigt ist, ist zur Verhinderung einer zu schnellen Verschlammung der Gräben eine Reinigung durch Schnellfilter vorzunehmen. Eine große Anzahl deutscher Städte bezieht derartiges künstlich erzeugtes Grundwasser.

98. Wenn die Filtrationschicht von einer sehr mächtigen undurchlässigen Schicht überlagert ist, können Versickerungsgräben nicht verwendet werden. Es kommen dann B e r s i c k e r u n g s b r u n n e n zur Anwendung. Bei der Benutzung von Versickerungsbrunnen muß das Rohwasser besonders gut vorgereinigt werden.

B. Zusammenfassung

Wenn aus einem Brunnen in der Nähe eines Flußufers dauernd Wasser entnommen wird, und der durch die Entnahme abgesenkte Wasserspiegel vom Fluß bis zum Brunnen überall Gefälle gegen diesen zeigt, so gelangt bei durchlässigem Flußbett Flußwasser in den Brunnen. Der Anteil des Flußwassers an der Gesamtförderung des Brunnens läßt sich durch den Vergleich der Temperaturen, Härtegrade usw. des geförderten Wassers mit denen des Grundwassers und des Flußwassers bestimmen. Je näher der Brunnen an den Fluß angelegt und je tiefer der Wasserspiegel im Brunnen abgesenkt wird, um so schneller wird die filtrierende Schicht verstopft und um so schlechter das Wasser im Brunnen. Die Entfernung der Brunnen vom Fluß soll deshalb mindestens 50 m betragen und die Absenkung höchstens 2 m. Wenn die Filterfläche nicht durch die Strömung des Flußwassers dauernd gereinigt wird, wird sie mit der Zeit verstopft. Die Nachteile der natürlichen Uferfiltration können durch künstliche Versickerungsgräben wirksam beseitigt werden. Da das Wasser zur Durchsickerung von den Gräben bis zu den Fassungsbrunnen eine längere Zeit erfordert, nimmt es die Eigenschaften des Grundwassers an und wird diesem gleichwertig.



C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter „natürliche Uferfiltration“? **Antwort:** Wenn der Wasserpiegel in einem an einem Fluß- oder Seeufer angelegten Brunnen entsprechend abgesenkt wird, so kann Flußwasser in den Brunnen gelangen. Das Flußwasser wird bei seiner Bewegung durch die zwischen Fluß und Brunnen befindliche durchlässige Schicht filtriert und zwar wird die Filtration eine natürliche, weil sie sich von selbst, ohne künstliche Einwirkung vollzieht. Hieraus erfolgt die Bezeichnung „natürliche Uferfiltration“. **F.:** Wie muß das Flußwasser beschaffen sein, das zur natürlichen Uferfiltration dienen soll? **A.:** Es darf nicht stark verunreinigt sein. **F.:** Wie groß ist die Entfernung des Brunnens vom Fluß bei natürlicher Uferfiltration zu wählen? **A.:** Die Entfernung soll mindestens 50 m betragen. **F.:** Welche Absenkung des Wassers im Brunnen ist bei dieser Entfernung zulässig? **A.:** Eine Absenkung von höchstens 2 m. **F.:** Welche Vorteile hat die künstliche Grundwassererzeugung vor der natürlichen Uferfiltration? **A.:** Bei der künstlichen Grundwassererzeugung kann das Flußwasser durch Schnellfilter gereinigt werden, bevor es zur Versickerung gelangt. Die Versickerungsgräben können von Zeit zu Zeit außer Betrieb gesetzt und gereinigt werden. Da die Aufenthaltsdauer des Wassers im Boden, d. h. die Zeit, die das Wasser braucht, um den unterirdischen Weg von den Versickerungsgräben bis in die Brunnen zurückzulegen, sehr lang ist, nimmt das Wasser die Eigenschaften des Grundwassers an und wird diesem gleichwertig.

D. Zur Wiederholung

63. Ist der Rückgang der Ergiebigkeit eines Brunnens immer auf ein Erschöpfen des Grundwassers zurückzuführen? 64. Warum ist es so wichtig, den Eintrittswiderstand bei einem Brunnen zu beobachten? 65. Welches sind die Ursachen der Verstopfung eines Brunnenfilters? 66. Wie wird der Sand entfernt, der sich auf der Brunnensohle abgelagert? 67. Kann an jedem Flußufer natürlich filtrierte Flußwasser gewonnen werden? 68. Wie kann man den Anteil des natürlich filtrierten Flußwassers an der Gesamtförderung eines Brunnens bestimmen? 69. Welchen Fehler hat man bei den älteren Anlagen zur Gewinnung von natürlich filtriertem Flußwasser gemacht? 70. Welche Nachteile haben die Anlagen zur natürlichen Uferfiltration?

E. Aufgaben

16. Wie kann man den Eintrittswiderstand bei einem Brunnen messen?
17. Wie groß ist der Anteil des Flußwassers an der Gesamtförderung einer Fassung, wenn die Gesamtförderung $Q = 60$ l/sek, die Temperatur des geförderten Wassers $t = 12^\circ \text{C}$, die Temperatur des Flußwassers $t_1 = 17^\circ \text{C}$ und die Temperatur des Grundwassers $t_2 = 9^\circ \text{C}$?

Neunte Stunde

A. Vortrag

III. Reinigung des Wassers

a) Einleitung

99. Während früher das natürlich vorkommende Wasser ohne vorherige Reinigung fast für alle Zwecke verwendet wurde, wird heute der größte Teil des für die städtische Wasserversorgung ver-

wendeten Wassers gereinigt oder verbessert. Diese Umstellung, die in den letzten Jahrzehnten erfolgte, hat zunächst ihren Grund in den erhöhten Anforderungen, die an das Versorgungswasser gestellt wurden, außerdem aber auch darin, weil zur Deckung des stark ansteigenden Wasserbedarfs vielfach solches Wasser herangezogen werden mußte, das als Trinkwasser und für gewerbliche Zwecke von Natur aus weniger geeignet ist. Ein für Trink- und Wirtschaftszwecke taugliches Wasser muß klar, farblos und geruchlos sein, erfrischenden Geschmack und angenehme Temperatur besitzen, darf keine aggressiven Eigenschaften aufweisen und keine giftigen Stoffe oder Krankheitserreger enthalten. Für die meisten gewerblichen Betriebe wie Papierfabriken, Wäschereien, Bleichereien, Zuckerfabriken usw. eignet sich weiches Wasser besser als hartes. Für solche Betriebe soll das Wasser ferner praktisch eisen- und manganfrei sein¹⁾.

100. Das in der Natur vorkommende Wasser entspricht wie gesagt nur selten allen Anforderungen und bedarf daher, je nach dem Verwendungszweck, einer entsprechenden Reinigung. Bei der Reinigung unterscheidet man:

- die Ausscheidung der ungelösten Sinkstoffe,
- die Entfärbung,
- die Entkeimung,
- die Enteisung und Entmanganung,
- die Entsäuerung (Beseitigung der aggressiven Eigenschaften) und
- die Enthärtung.

Diese vielseitigen Fälle der Wasserreinigung sollen im folgenden einzeln behandelt werden.

b) Ablagerung

101. Das Oberflächenwasser, insbesondere das Flußwasser, führt in der Regel eine größere Menge Sinkstoffe. Die Menge dieser Stoffe ist um so größer, je größer die Geschwindigkeit des Flußwassers ist und je mehr Schmutzstoffe durch Einleitung von Abwässern zugeführt werden. Einen großen Teil der Sinkstoffe kann man dem Flußwasser dadurch entziehen, daß man die Geschwindigkeit des Wassers verringert oder zeitweise ganz aufhebt. Manchmal geschieht dies durch Aufstau des Wassers, meistens aber durch besondere Ablagerungs- oder Klärbecken, deren Verbindung mit dem Fluß zum Zwecke der Reinigung aufgehoben werden kann.

102. Die Klärung des Wassers wird um so vollkommener, je größer der Inhalt des Beckens ist. Größere Seen oder Staubecken liefern deshalb oft ein nahezu klares Wasser, das unter Umständen unmittelbar, ohne Reinigung zur Versorgung dienen

¹⁾ Ausführlicher in der Einführung.

kann. Mit dem Inhalt des künstlich angelegten Klärbeckens wachsen aber auch die Anlagekosten. Man verwendet deshalb die Klärbecken nur als *Vorklä rung* zur Befreiung des Wassers von den größten Sinkstoffen und überläßt den *Fil tern* die weitere Reinigung. Ein gewisser Gehalt an Sinkstoffen ist sogar für die Bildung der *Fil terhaut* meistens erwünscht.

103. Die Klärung kann *intermittierend* erfolgen, d. h. man füllt das Klärbecken mit Flußwasser und läßt dieses lange genug ruhig stehen. In diesem Falle geht die Zeit des Füllens und Entleerens für den eigentlichen Zweck verloren, und man kann dabei nicht alles Wasser aus der obersten Schicht, in der es am

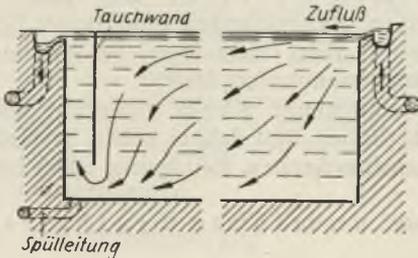


Abb. 52. Klärbecken
kontinuierlicher Betrieb

besten ist, entnehmen. Die intermittierende Klärung kann unter Umständen zweckmäßig sein, wenn das Flußwasser zu gewissen Zeiten stark verunreinigt ist. Das Wasser wird dann nur zu den Zeiten der geringeren Verunreinigung dem Fluß entnommen. Beispiele solcher Anordnungen gibt die Wasserentnahme der Städte Altona und Königsberg. In der Regel kommt aber der *kontinuierliche* Betrieb zur Anwendung, bei dem ein ständiger Zu- und Abfluß stattfindet. Die Klärbecken werden meistens offen angelegt und müssen so groß sein, daß die Durchflugeswindigkeit des Wassers 1 bis 2 mm in der Sekunde nicht übersteigt. Diese Bedingung erfordert für den Durchfluß von 1 l Wasser einen Querschnitt von 0,5 bis 1 m². Die Länge des Beckens wird so bemessen, daß sich das Wasser mindestens 4 bis 5 Stunden, besser aber noch länger, im Klärbecken aufhalten muß. Die Zu- und Abflußstellen sind so anzuordnen, daß das Wasser möglichst gleichmäßig über den Querschnitt des Beckens verteilt wird und keine lokale Strömungen bilden kann. Es empfiehlt sich deshalb, mehrere Zu- und Abflußstellen anzuordnen oder den Zu- und Abfluß in der ganzen Breite des Beckens stattfinden zu lassen. In der Abb. 52 ist die letztere Anordnung in einem Längsschnitt durch das Becken dargestellt. Auch die Anordnung von Tauchwänden ist zur Zurückhaltung von Schwimmstoffen zweckmäßig. Die Wassertiefe der Becken schwankt gewöhnlich zwischen 2 und 5 m.

104. Die Reinigung der Klärbecken erfolgt alle 1 bis 2 Jahre einmal, in der Regel durch *Spü lung*. Die Beckensohle erhält zu diesem Zweck Gefälle nach einem oder mehreren Punkten, je nach der Größe des Beckens. Bei größeren Becken werden außerdem oft *mechanische Schlammräume*

benutzt. Um den Betrieb nicht unterbrechen zu müssen, sind mindestens zwei Klärbecken erforderlich, von denen das eine entleert und gereinigt wird, während das andere dem Klärbetrieb dient. Sohle und Wandungen des Beckens sind zur Vermeidung von Wasserverlusten möglichst dicht herzustellen. Wenn der Boden nicht schon tonhaltig ist, wird er häufig mit Tonschlag oder Beton bekleidet. Seltener werden Umfassungswände und Sohle der Becken ganz aus Beton oder Mauerwerk hergestellt.

105. Zur Unterstützung der Ablagerung, sowie zur Ausscheidung der sogenannten kolloidalen Stoffe werden dem Wasser verschiedene Fällmittel zugeführt. Zu den kolloidalen Stoffen gehören organische Stoffe, Humusstoffe und Eisenoxydhydrat, also Stoffe, die dem Wasser eine mehr oder weniger starke Trübung oder Färbung verleihen. Der Zusatz von Fällmitteln dient daher auch zur Entfärbung des Wassers. Das heute gebräuchlichste Fällmittel ist schwefelsaure Tonerde, die möglichst frei von Arsen sein muß. Sie wird als 2- bis 5-prozentige Lösung dem Wasser zugeführt; die Zusatzmengen sind sehr verschieden, sie schwanken in der Regel zwischen 1 : 50 000 und 1 : 20 000. Die zweckmäßige Zusatzmenge ist in jedem einzelnen Fall durch Versuche zu ermitteln. Nach der Zumischung von schwefelsaurer Tonerde tritt bald eine Flockenbildung aus Tonerdehydraten ein, die schnell zu Boden sinken und Schwebstoffe aller Art, Algen, Gase, Farbstoffe und Bakterien mit sich reißen. Auf den chemischen Vorgang wird hier nicht näher eingegangen. Bei der Verwendung von Fällmitteln muß die Reinigung der Klärbecken mit kürzeren Zwischenräumen, etwa 2 bis 3 mal in einem Jahr, vorgenommen werden.

B. Zusammenfassung

Der größte Teil des Wassers, das heute für die städtische Wasserversorgung Verwendung finden soll, entspricht nicht den Anforderungen, die man an ein solches Wasser stellt und muß deshalb je nach dem Verwendungszweck entsprechend gereinigt werden. Man unterscheidet: Ausscheidung ungelöster Stoffe, Entfärbung, Entkeimung, Enteisung, Entmanganung, Entsäuerung und Enthärtung. Ein großer Teil der ungelösten Sinkstoffe, die das Oberflächenwasser enthält, kann durch Ablagerung dem Wasser entzogen werden, indem man es in Klärbecken einleitet, wo die Geschwindigkeit verringert oder zeitweise ganz aufgehoben wird. Klärbecken werden in der Regel nur als Vorklärung zur Befreiung des Wassers von den größten Sinkstoffen verwendet, die weitere Reinigung überläßt man den Filtern. Die Zu- und Abflußstellen sind so anzuordnen, daß das Wasser möglichst gleichmäßig über den Querschnitt des Beckens verteilt wird. Um den Betrieb bei Reinigung eines Klärbeckens nicht unterbrechen zu müssen, sind mindestens zwei Becken erforderlich. Zur Unterstützung der Ablagerung, zur Befreiung der Trübung des Wassers usw. werden verschiedene Fällmittel, in der Regel schwefelsaure Tonerde, dem Wasser zugelegt.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Welche Anforderungen stellt man an ein Wasser, das für Trink- und Wirtschaftszwecke benutzt werden soll? **Antwort:** Es muß klar, farblos

und geruchlos sein, erfrischenden Geschmack und angenehme Temperatur besitzen, darf keine aggressiven Eigenschaften aufweisen und keine giftigen Stoffe oder Krankheitserreger enthalten. **F.:** Für welchen Zweck werden Klärbecken verwendet? **A.:** Klärbecken verwendet man als Vorklärung zur Befreiung des Wassers von den größten Sinkstoffen. **F.:** Welche Nachteile hat die intermittierende Klärung? **A.:** Bei der intermittierenden Klärung geht die Zeit des Füllens und Entleerens für den eigentlichen Zweck der Klärung verloren, und man kann dabei nicht alles Wasser aus der obersten Schicht, in der es am besten ist, entnehmen. **F.:** Wie oft müssen die Klärbecken gereinigt werden? **A.:** Ohne Anwendung von Fällmitteln alle 1 bis 2 Jahre einmal, mit Anwendung von Fällmitteln etwa 2 bis 3 mal in einem Jahr. **F.:** Für welchen Zweck werden dem Rohwasser im Klärbecken Fällmittel zugeführt? **A.:** Zur Unterstützung der Ablagerung und zur Auscheidung der kolloidalen Farbstoffe.

F. Gesamtwiederholung aus dem dritten Brief

Größere Mengen von Grundwasser werden durch Brunnenreihen gewonnen. Die einzelnen Fassungsbrunnen werden durch Heberleitungen mit einem Sammelbrunnen verbunden, aus dem die Saugleitungen das Wasser entnehmen und dem Versorgungsgebiet zuführen. Der Sammelbrunnen dient außerdem als Sandfang und übt beim Anstellen der Pumpen auf die in Bewegung kommenden Wassermassen eine ausgleichende Wirkung aus. Der Rückgang der Ergiebigkeit eines Brunnens kann seinen Grund in einer Erschöpfung des Grundwassers oder in einer Verstopfung des Brunnenfilters haben. Die Verstopfung des Brunnenfilters kann in verschiedener Weise beseitigt werden, sie wird aber meistens nach einiger Zeit wiederkehren. In der Nähe von Flußufern kann bei durchlässigem Flußbett natürlich filtriertes Flußwasser gewonnen werden, wenn der abgesenkte Grundwasserspiegel zwischen dem Fluß und der Fassung überall Gefälle gegen die letztere besitzt. Durch künstliche Versickerung von Oberflächenwasser und seine Entnahme in größerer Entfernung (150 bis 250 m) von den Versickerungsgräben kann ein Wasser gewonnen werden, das annähernd dieselben guten Eigenschaften besitzt wie das Grundwasser.

Das Wasser, das heute für die städtische Wasserversorgung verwendet werden soll, muß in der Regel gereinigt werden. Ein großer Teil der Sinkstoffe, die das Oberflächenwasser enthält, kann durch Absetzenlassen beseitigt werden. Der Vorgang bei der Sandfiltration besteht im wesentlichen darin, daß das Rohwasser eine Sandschicht von einer gewissen Mächtigkeit durchläuft, wobei eine mechanische, chemische und bakteriologische Reinigung des Wassers bewirkt wird.

G. Antworten auf Wiederholungen (D)

52. Aus Fassungsbrunnen, Sammelbrunnen, Heberleitungen, Saugleitungen und Pumpen.
53. Sie werden gewöhnlich so angeordnet, daß ihre Verbindungslinie annähernd senkrecht zur natürlichen Strömungsrichtung des Grundwassers verläuft.
54. Die Entfernung der Fassungsbrunnen richtet sich im wesentlichen nach dem Brunnendurchmesser und der Beschaffenheit des Untergrundes.
55. Die größte Saugspannung einer Heberleitung ist die Höhe von dem abgesetzten Wasserspiegel im Sammelbrunnen bis zum Heberscheitel.
56. Am höchsten Punkt der Heberleitung (Heberscheitel).
57. So groß wie es die Verhältnisse erlauben, bei kurzen Heberleitungen etwa 1 : 100, bei längeren 1 : 1000 bis 1 : 2000.
58. Man kann die Leitung dauernd überwachen.
59. Eine spätere Erweiterung der Fassungsanlage.
60. Der Sammelbrunnen ist in der Regel ein gemauerter Kesselbrunnen mit dichtem Mantel und dichter Sohle.
61. Gewöhnlich in der Mitte der Fassungslinie.
62. In einem Abstand von mindestens 8 bis 10 m.
63. Nein, der Rückgang der Ergiebigkeit eines Brunnens kann auch die Folge einer Verstopfung des Brunnenfilters sein.
64. Weil man dadurch die Ursache eines etwaigen Rückganges der Ergiebigkeit des Brunnens feststellen kann.
65. Die Verstopfung des Brunnenfilters kann dadurch erfolgen, daß der feine Sand bei Beanpruchung des Brunnens aus dem Untergrund ausgewaschen wird und allmählich die Hohlräume des Brunnenfilters ausfüllt. Gefährlicher ist es, wenn das Filter durch Ausscheiden fester Stoffe aus dem Grundwasser, z. B. Eisen- und Kalkverbindungen, verstopft wird.
66. Er wird mit Pumpen ausgespült oder mit einem Ventilbohrer ausgehoben.
67. Nein, die Gewinnung von natürlich filtriertem Flußwasser erfordert zunächst ein durchlässiges, filtrierendes Flußbett; weiter muß der durch die Entnahme abgesenkte Grundwasserspiegel vom Fluß bis zum Brunnen überall Gefälle gegen den letzteren zeigen.
68. Durch Vergleich der Temperaturen, Härtegrade usw. des geförderten Wassers mit denen des Flußwassers und Grundwassers.
69. Man hat in der Regel die Fassungsanlagen zu nahe an den Fluß angelegt.
70. Die Ergiebigkeit solcher Anlagen geht in der Regel auf Grund der Verstopfung der filtrierenden Schicht mit der Zeit zurück. Bei Hochwasser im Fluß zeigt das Brunnenwasser oft eine plötzlich ansteigende Keimzahl.

H. Lösungen der Aufgaben (E)

14. Es wird in der Heberleitung ein Vakuum erzeugt, das sich bei einer dichten Leitung eine längere Zeit unverändert halten muß.
15. Der Sammelbrunnen ist das Verbindungsglied zwischen Heberleitung und Saugleitung. Er wirkt, wenn er genügend groß ist, als Sandfang und schützt dadurch die Pumpen vor raschem Verschleiß. Beim Anstellen der Pumpen wirkt er außerdem ausgleichend auf die in Bewegung geratenen Wassermassen und schützt somit die Fassungsbrunnen vor den schädlichen Pumpenstößen.
16. Der Eintrittswiderstand ist der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel im Brunnen und dem Grundwasserspiegel am äußeren Rand des Brunnens, und kann am besten mittels Beobachtungsrohren ge-

funden werden. Ohne Beobachtungsröhre kann man den Eintrittswiderstand dadurch finden, daß man die Entnahme des Brunnens plötzlich unterbricht. Das Wasser steigt dann verhältnismäßig schnell bis auf die Höhe des abgelesenen Grundwasserpiegels, von da ab aber langsamer.

17. Nach der Formel 34 a ist

$$q_1 = Q \cdot \frac{t - t_2}{t_1 - t_2}$$

Durch Einsetzen der Werte erhält man:

$$q_1 = 60 \cdot \frac{12 - 9}{17 - 9} = 60 \cdot \frac{3}{8} = 22,5 \text{ l/sek.}$$

Inhaltsverzeichnis

	Brief	Seite
I. Gewinnung des Wassers (Fortsetzung)		
f) Brunnen (Fortsetzung)		
3. Schachtbrunnen	2	29
II. Gemauerte und eiserne Schachtbrunnen		32
a) Wirkungsweise der Brunnen		36
1. Brunnen in ruhendem Grundwasser		37
2. Brunnen im Grundwasserstrom		38
b) Rechnerische Ermittlung der Ergiebigkeit eines Brunnens		41
1. Brunnen in ruhendem Grundwasser		41
2. Artesische Brunnen		45
3. Brunnen im Grundwasserstrom		46
4. Das Thiemische Verfahren zur Bestimmung von Grundwasser- wassermengen		48
5. Praktische Winke bei Anwendung des Thiemischen Ver- fahrens		50
c) Fassung von Grundwasser durch Brunnenreihen	3	53
1. Allgemeines		53
2. Heberleitungen		56
3. Sammelbrunnen		58
d) Untersuchung des Rückgangs der Ergiebigkeit von Brunnen		61
e) Die Lebensdauer von Grundwasserfassungen		62
f) Verlängerungen der Lebensdauer von Wasserfassungen		64
g) Natürliche Uferfiltration		66
h) Künstliche Grundwassererzeugung		68
III. Reinigung des Wassers		70
a) Einleitung		70
b) Ablagerung		71



SELBSTUNTERRICHT DER ABTEILUNG FÜR TECHNIK

Rechnen, Mathematische Wissenschaften, Mechanik, Graphische Statik

- Grundlegendes Rechnen, 8 Briefe.
Berufliches Rechnen im Metallgewerbe, 9 Briefe.
Algebra
Teil I, 9 Briefe.
Teil II, etwa 5 Briefe.
Planimetrie, etwa 6 Briefe.
Stereometrie, 3 Briefe.
Einführung in die analytische Geometrie, 4 Briefe.
Stabrechnen, 2 Briefe.
Mathematisch-technische Tafeln, 3 Briefe.
Sphärische Trigonometrie, 4 Briefe.
Differential- und Integralrechnung, etwa 5 Briefe.
Graphische Statik, 19 Briefe.
Mechanik der festen Körper
Teil I, 7 Briefe.
Teil II, 4 Briefe.
Teil III, etwa 5 Briefe

Zeichnen

- Zeichnmittel der Technik, 4 Briefe.
Geometrisches Zeichnen, 5 Briefe.
Skizzieren im Metallgewerbe, 2 Briefe.
Perspektivisches Zeichnen im Metallgewerbe, 1 Brief.
Maschinenzeichnen, 9 Briefe.
Einführung in das Bauzeichnen, 2 Briefe.
Planzeichnen, 4 Briefe.
Fachzeichnen für Klempner, 4 Briefe und 8 Mappen.
Fachzeichnen für Schlosser Teil II, 1 Brief und 2 Mappen.

Maschinenbau, Modellbau, Schlosserei, Klempnerei, Kalkulation, Fabrikanlagen

- Eisenhüttenkunde, etwa 10 Briefe.
Maschinenteile
Teil I, 10 Briefe.
Teil II, 10 Briefe.
Werkstoffkunde Teil II, 6 Briefe.
Holzmodellbau, etwa 9 Briefe.
Metallbearbeitung, 6 Briefe.
Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge, etwa 6 Briefe.
Härtetechnik, etwa 2 Briefe.
Werkstoffprüfung im Metallgewerbe, etwa 9 Briefe.
Schweißtechnik, etwa 5 Briefe.
Messen und Meßgeräte, 7 Briefe.
Einführung in den Hebezeugbau, etwa 6 Briefe.
Fachkunde für Klempner, 7 Briefe.
Fachkunde für Bauschlosser, 5 Briefe.
Kältetechnik, 5 Briefe.
Dieselmaschinen
Teil I, 2 Briefe.
Teil II, 4 Briefe.
Teil III, 2 Briefe.

- Wasserkraftmaschinen, 2 Briefe.
Kolbendampfmaschinen, etwa 10 Briefe.
Kraftfahrzeuge, ihre Pflege und Instandsetzung, etwa 12 Briefe.
Gasmotorenanlagen für Kraftfahrzeuge, 1 Brief.
Aufbau der Verdichter und ihres Zubehörs, etwa 7 Briefe.
Dampferzeugung, etwa 10 Briefe.
Wirtschaftliche Fertigung, 9 Briefe.
Vorkalkulation, 10 Briefe.
Fabrikanlagen, 5 Briefe.

Physik, Chemie, Elektrotechnik, Funktechnik, Fernmeldetechnik, Feinmechanische Technik

- Technische Physik, 12 Briefe.
Wärmemechanik, 5 Briefe.
Statik der Flüssigkeiten und Gase, 2 Briefe.
Einführung in die Chemie, etwa 10 Briefe.
Quantitative Analyse, etwa 5 Briefe.
Organische Chemie, etwa 12 Briefe.
Hierzu etwa 2 Briefe mit Versuchen.
Grundlagen der Elektrotechnik, 12 Briefe.
Elektrotechnik für Handwerk und Betrieb, etwa 10 Briefe.
Elektrische Meßinstrumente, 7 Briefe.
Bau- und Einrichtung elektrischer Licht- und Kraftverteilungsanlagen
Teil II, 3 Briefe.
Teil III, 3 Briefe.
Teil IV, etwa 2 Briefe.
Elektrische Maschinen, etwa 8 Briefe
Funktechnik
Teil I, 11 Briefe.
Teil II, 25 Briefe.
Teil III, 13 Briefe.
Rundfunkempfangsanlagen, etwa 8 Briefe.
Fernsehtechnik, etwa 6 Briefe
Fernsprechtechnik, etwa 7 Briefe.
Feinmechanische Konstruktionsgrundlagen, etwa 10 Briefe.

Flugzeugbau, Flugmotoren

- Flugphysik, etwa 5 Briefe.
Flugzeugbau
Teil I, 2 Briefe.
Teil II, etwa 3 Briefe.
Teil III, etwa 3 Briefe.
Teil IV, etwa 5 Briefe.
Teil V, etwa 4 Briefe.
Teil VI, etwa 2 Briefe.
Flugmotoren, 3 Briefe.
Flugzeugnavigation, 4 Briefe.

Hoch- und Tiefbau, Feldmessen, Heizung und Entwässerung, Tischlerei

- Bau- u. Kunstgeschichte, etwa 7 Briefe.
Stillehre in der angewandten Kunst, etwa 5 Briefe.
Baustoffkunde, etwa 8 Briefe.

- Einführung in d. Bauzeichnen, 2 Briefe.
Entwerfen im Hochbau
Teil I, 7 Briefe.
Teil II, 3 Briefe.
Teil III, 6 Briefe.
Teil IV, 2 Briefe.
Fabrikanlagen, 5 Briefe.
Baubetriebslehre
Teil I, 3 Briefe.
Teil II, etwa 2 Briefe.
Teil III, 2 Briefe.
Teil IV, 2 Briefe.
Landwirtschaftliche Baukunde, etwa 8 Briefe.
Wärme-, Schall- und Erschütterungsschutz im Bauwesen, 6 Briefe.
Lüftungs- und Bewässerungsanlagen, etwa 3 Briefe.
Heiz und Kochanlagen, 3 Briefe.
Zentralheizung, 11 Briefe.
Entwurf und Ausführung von Zentralheizungsanlagen, 3 Briefe.
Zimmerarbeiten
Teil I, 2 Briefe.
Teil II, 3 Briefe.
Teil III, 5 Briefe.
Teil IV, 1 Brief.
Teil V, 3 Briefe.
Werkstoffe des Tischlers, etwa 6 Briefe.
Oberflächenbehandlung des Holzes, 3 Briefe.
Möbeltischlerei, etwa 10 Briefe.
Kalkulation für Tischler, 4 Briefe und 1 Lehrmittelmappe.
Dachdeckungen, etwa 5 Briefe.
Steinerne Treppen, 2 Briefe.
Staltreppen, 3 Briefe.
Tunnelbau, etwa 4 Briefe.
Grundbau, 13 Briefe.
Straßenbau, 9 Briefe.
Einführung in die städtische Wasserversorgung, 2 Briefe.
Städtische Wasserversorgung, 7 Briefe.
Stadtentwässerung, etwa 6 Briefe.
Einführung i. d. Talsperrenbau, 2 Briefe.
Einführung in den Brückenbau, 1 Brief.
Stählerne Brücken, 4 Briefe.
Massivbrücken, etwa 5 Briefe.
Hölzerne Brücken, 3 Briefe.
Beton und Eisenbeton, 3 Briefe.
Berechnungsgrundlagen im Beton und Stahlbetonbau, etwa 9 Briefe.
Gesteinskunde, etwa 4 Briefe.
Planzeichnen, 4 Briefe.
Verwertung d. Luftbildes, etwa 4 Briefe.
Vermessungskunde, 11 Briefe.

Gesetzeskunde, Normen, Pädagogik, Lehrmittel

- Gesetzeskunde, 7 Briefe.
Dinormen für Werkstatt und Selbstunterricht, etwa 5 Briefe.
Pädagogik für Lehrmeister, 1 Brief.
Lehrmittel: Raumbilder (Werkzeugmaschinen), 2 Mappen.
Raumbild (Die Simpsonsche Regel)