

6.51
41

0.758

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305626



Das Wasserwerk der Stadt Tilburg,
insbesondere dessen Brunnen- und Heberrohr-Anlagen.

Herr Zivilingenieur H. P. N. Halbertsma aus Haag (Holland).
Mit Tafel III, IV und V.

Hochgeehrte Versammlung! Zunächst muß ich Sie als Ausländer um gütige Nachsicht bitten für meine deutsche Aussprache. Gestatten Sie mir dann, daß ich meinem eigentlichen Vortrage eine kurze Einleitung voranschicke.

Bereits früher habe ich über das Tilburger Wasserwerk, welches im Herbst 1898 in Betrieb gesetzt worden ist, einige Mitteilungen veröffentlicht, und zwar im »Gedenkbuch des fünfzigjährigen Bestehens des Königl. Niederländischen Instituts der Ingenieure«, erschienen im Jahre 1897. Diese Mitteilungen, welche nur den Entwurf betreffen konnten, erschienen dann in deutscher Übersetzung in Nummer 6 des Journ. f. Gasbel. 1898, S. 90—94.

Wer sich also mehr im allgemeinen über das Tilburger Wasserwerk zu orientieren wünscht, möge dorthin verwiesen werden, sowie nach meiner kurzen Berichtigung, welche kurz danach im genannten Journal, Jahrgang 1898, Seite 198, aufgenommen wurde. Ich bemerkte bereits damals, daß auch in Tilburg, wie bei fast allen Bauausführungen, einige Abweichungen von den zuerst festgestellten Plänen eingetreten waren und erwähnte kurz, woraus diese Abweichungen im vorliegenden Falle bestanden.

Die wichtigste derselben war wohl, daß statt der 10 Gruppen von je 5 Brunnen ich es vorgezogen hatte, 60 Brunnen in Entfernungen von je 50 m herzustellen, die je für sich an die Heberrohre angeschlossen wurden. Die Gründe hierfür werde ich versuchen, Ihnen im weiteren Laufe meines Vortrages zu erklären.

Als ich im Jahre 1895 seitens der damaligen Konzessionsinhaber der Tilburger Wasserversorgung mit dem Entwurf der dafür erforderlichen Werke beauftragt wurde, geschah dieses unter dem besonderen Umstande, daß der Platz für die Wassergewinnungsanlage bereits zwischen den städtischen Behörden und Konzessionsinhabern festgelegt war. Hiervon durfte nur im höchsten Notfalle abgewichen werden, während die erforderlichen Vorarbeiten nur in sehr ungenügendem Maße stattgefunden hatten.

Tilburg hatte damals ungefähr 36 000 Einwohner, welche Zahl seitdem bedeutend gestiegen ist. Es ist eine Industriestadt, besonders für Wollwäscherei und Weberei, welches Gewerbe eine große Menge reines, besonders weiches und eisenfreies Wasser braucht, eine Menge, die diejenige des Haushaltsbedarfs bei weitem übertrifft. Eine Folge davon war, daß der ganze Betrieb sich in erster Linie dem

Handwritten notes: 57/41, Akc. Nr. 2550/56

Industriebedarf zu fügen hatte, und stellte es sich demzufolge als das Zweckmässigste heraus, die Pumpen ungefähr zu denselben Tagesstunden arbeiten zu lassen wie die Fabriken.

Das Projekt wurde auf 15000 Tages-cbm berechnet, wovon sofort die Hälfte oder 7500 Tages-cbm in 15 Stunden sollten geliefert werden können.

Mithin waren pro Stunde mindestens 500 cbm Grundwasser zu gewinnen.

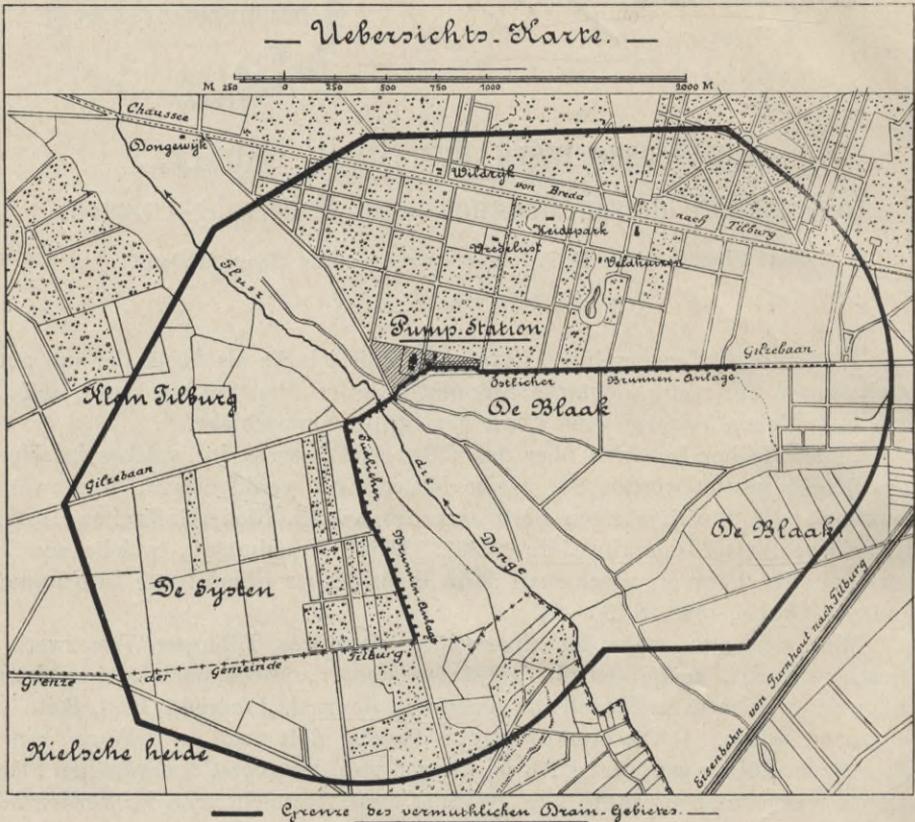


Fig. 77. Lageplan der Wassergewinnungsanlage.

Das mir zur Verfügung stehende Gebiet war eine große Heidefläche, in etwa 5 km Entfernung von der Stadt gelegen.

Dass dort Wasser von genügender Qualität gefunden wurde, war bereits nachgewiesen, ob aber auch in genügender Quantität war damals noch eine offene Frage.

Was nun die Beschaffenheit der Oberfläche dieser Heidefläche betrifft, so ist dieselbe nur teilweise und dünn mit niedrigen Fichten und Föhren bewaldet und im übrigen mit Erika bewachsen, während verschiedene, etwa 10 m breite Landwege die ausgedehnte Fläche durchkreuzen, wie aus dem Lageplan Fig. 77 (i. Text) hervorgeht.

Auf diese Landwege war ich hauptsächlich für die Herstellung der Wassergewinnungsanlage angewiesen.

Sie gehören der Stadt und waren vertraglich den Konzessionären unentgeltlich zur Verfügung gestellt unter der Bedingung, daß für den Wagenverkehr ein genügend breiter Streifen übrigbleiben sollte. Der umliegende Boden gehört der Stadt nicht und hätte also angekauft oder expropriert werden müssen, was man beides möglichst zu vermeiden wünschte.

Für die Errichtung der Pumpstation mit Enteisungsanlage war dieses jedoch ausgeschlossen, und wurde daher das schraffierte Grundstück angekauft, welches mit Rücksicht auf die späteren Erweiterungen und den geringen Wert sehr reichlich bemessen wurde. Vergl. auch Fig. 78 (i. Text).

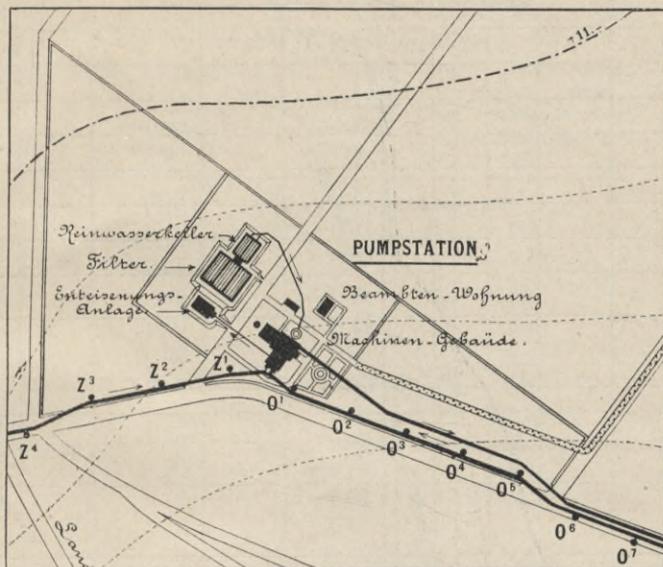


Fig. 78. Wasserwerk der Stadt Tilburg. Pumpstation.

In der Wahl der zu verwertenden Landwege war mir die freie Hand gelassen, und es wurden daher auf Grund meiner Vorarbeiten die in der Zeichnung eingezeichneten beiden Richtungen gewählt, unter dem Vorbehalt bei zukünftiger Ausdehnung der Werke auch von den anderen Landwegen Gebrauch machen zu dürfen.

Bei den Vorarbeiten stellte sich erstens heraus, daß die Zusammensetzung des Bodens eine sehr ungleichmäßige war. Ich brauche Sie dafür nur nach den Längensprofilen auf Tafel III zu verweisen, worin die Resultate der Bohrungen für die sämtlichen 60 Brunnen aufgetragen sind. Aber wie ungleichmäßig diese Bodengestaltung auch sein mag, so stimmt sie darin doch bei allen Brunnen überein, daß sie oben eine feine gelbe Sandschicht ergab, worauf eine feine blaue Sandschicht folgte, abgewechselt durch Lehmschichten und unten abgeschlossen durch eine mächtige Lettenschicht.

Zweitens stellte sich heraus, daß sowohl die gelben, wie die blauen Sandschichten brauchbares Wasser lieferten, daß der Strom des Grundwassers in diesen Schichten sich hauptsächlich von Süden nach Norden bewegte, jedoch so unregelmäßig und mit solch geringen Geschwindigkeiten, daß eine Wassergewinnungsanlage, basiert auf die Ergiebigkeit dieses Stromes allein, als ausgeschlossen zu betrachten war.

Drittens ergab sich, daß es sich in diesem Falle hauptsächlich nur handeln konnte um eine Gewinnung der atmosphärischen Niederschläge in unmittelbarer Nähe der Anlage, wogegen umsoweniger Bedenken waren, als hier das ganze umliegende Gebiet unbebaut war.

Eine solche Gewinnung erfordert aber eine zukünftige tiefe Abpumpung des Grundwassers, damit die Depressionskurven sich nach allen Richtungen hin gehörig ausstrecken und demzufolge ein ausreichendes Niederschlagsgebiet beherrschen können

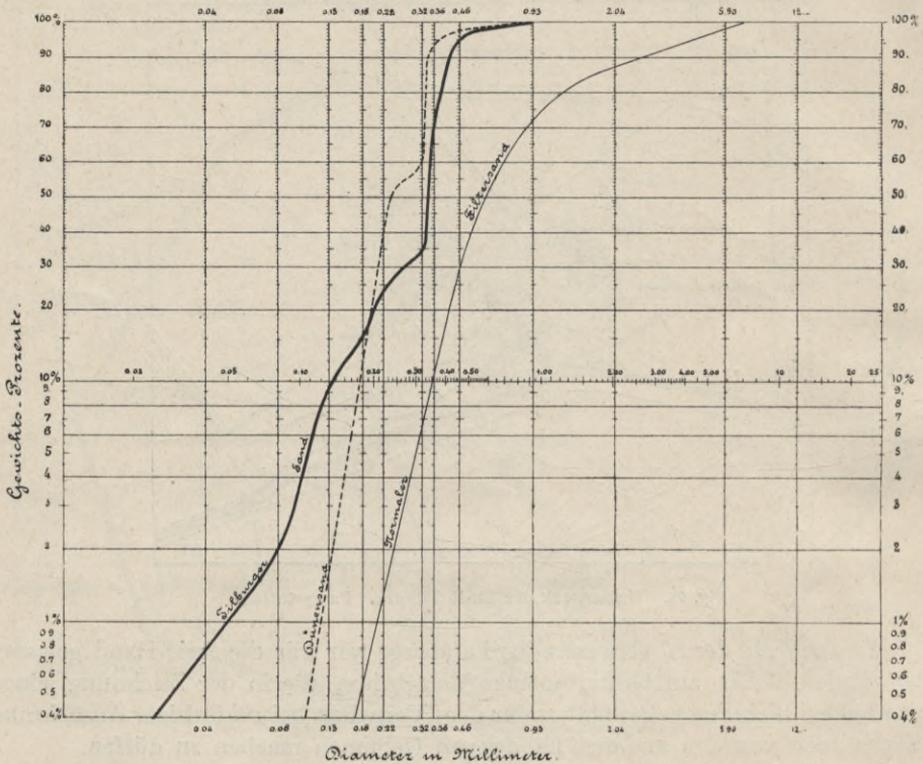


Fig. 79. Mechanische Untersuchung der wasserführenden Sanden.

Die Wasserentnahme mußte demzufolge aus den tieferen, d. h. den blauen Sand-schichten erfolgen.

Eine tiefe Drainierungsanlage war, wo nur etwa 10 m breite Wege zur Verfügung standen, ausgeschlossen, so daß eine Brunnenanlage, welcher ich übrigens in diesem Falle auch bei mehr verfügbarem Raum den Vorzug gegeben hätte, die einzig mögliche Lösung war.

Die wasserführenden Sandschichten stellten sich bei den Vorarbeiten als sehr feinkörnig und außerdem als lehmhaltig heraus. Es war daher erwünscht, besonders genau zu prüfen, aus welchen Korngrößen der Sand zusammengesetzt war und wieviel Prozente von jeder Korngröße darin enthalten waren.

Dabei bin ich genau dem Beispiele unseres amerikanischen Kollegen, Herrn Allen Hazen, gefolgt. (Vergl. sein Buch: *The Filtration of Public Water-Supplies*, Appendix III, *Methods of Sand-Analysis* sowie *Annual Report of the Massachusetts State Board of Health for 1892*.)

Zu dieser mechanischen Untersuchung ist eine kleine Schüttelmaschine benutzt worden, welche einen Satz von Sieben enthielt, die dieselben Maschenweiten hatten, wie die von Allen Hazen gebrauchten.

Die dabei erzielten Resultate gehen aus der nachfolgenden Tabelle hervor. Soweit dieses nicht mehr durch Sieben möglich war, wurden die Mengen der kleinsten Korngrößen mittels Ausspülung bestimmt.

Mittleres Resultat der Siebproben.

Gewicht des untersuchten Musters = 100 g

Anzahl Öffnungen des Gewebes pro engl. Zoll	Weite der Öffnungen (mm)	Durchgesehenes Quan- tum = Prozentsatz des Gesamtgewichtes (g)
Durch Ausspülung bestimmt	0,04	0,8
	0,08	2,0
140	0,13	9,5
100	0,18	15,2
80	0,22	24,7
60	0,32	34,8
50	0,36	70,5
40	0,46	95,6
20	0,93	100,—
10	2,04	—
4	5,09	—
2	12,—	—

Die sogen. »effektive Korngröße«¹⁾ des Sandes . = 0,15 mm.

Es sind 60 Gewichtsprocente des Sandes $\leq 0,29$

Der sog. »Gleichförmigkeits-Koeffizient«²⁾
des Sandes ist mithin $0,29:0,15 = 1,9$

Dieses mittlere Resultat von drei Proben, welche aus einer größeren Anzahl als Normale ausgesucht waren, ist in Fig. 79 (i. Text) graphisch aufgetragen. (Vergl. Fig. 3 a, S. 29 von Allen Hazens obengenanntem Buch, Ausg. 1900). Es stellen darin die Abszissen, die Logarithmen der Korngrößen in Millimeter, und die Ordinaten die Logarithmen der Gewichtsprocente dar. Diese graphische Darstellung des Tilburger Sandes ist durch eine kräftigere Linie angegebeu.

Zum Vergleich sind daneben noch zwei andere Linien eingetragen.

Die dünne volle Linie ist die des mittleren oder normalen Sandes, welches nach Allen Hazen auf den Flußwasserfiltern in Europa gebraucht wird.

Die dünne gestrichelte Linie ist die des Sandes aus den holländischen Dünen bei Helder entnommen, welches bereits zu den sehr feinen Sanden zu rechnen ist.

¹⁾ Unter der sog. »effektiven Korngröße« des Sandes ist diejenige kleinste Korngröße zu verstehen, welche zurückbleibt, nachdem die noch feineren Sandkörner bis zu einem Gewichtsquantum von 10% ausgeschieden sind.

²⁾ Der sog. »Gleichförmigkeits-Koeffizient« ist der Quotient B/a , wenn A = die effektive Korngröße und B = diejenige kleinste Korngröße, welche zurückbleibt, nachdem die feineren Sandkörner bis zu einem Gewichtsquantum von 60% ausgeschieden sind.

Die effektive Korngröße desselben beträgt 0,16, während die effektive Korngröße des Tilburger Sandes 0,15 mm beträgt. Nicht allein ist der Tilburger Sand etwas feiner wie der Dünensand, sondern er ist auch etwas ungleichmäßiger in der Korngröße, wie aus seinem Gleichförmigkeits-Koeffizient = 1,9 hervorgeht, welcher beim Helderschen Dünensand 1,85 beträgt.

Fügt man hinzu, daß der Tilburger Sand durch feine Lehm- oder Tontheilchen verunreinigt ist, wie an seiner bläulichen Farbe ersichtlich, so ergibt sich, daß die Wasserdurchlässigkeit dieses Sandes nur gering und höchstens gleich derjenigen des genannten Dünensandes sein kann.

Die Wasserdurchlässigkeit eines Sandes wird nach Allen Hazen (S. 22) durch den Koeffizienten c ausgedrückt, zur Benutzung in der Formel:

$$v = c d^2 \frac{h}{l} \quad (0,7 + 0,03 t),$$

worin:

- v = Filtergeschwindigkeit in 24 Stunden,
- c = Durchlässigkeits-Koeffizient,
- d = effektive Korngröße in Millimeter,
- h = Druckhöhenverlust,
- l = Stärke der Filterschicht, welche das Wasser zu durchlaufen hat,
- t = Temperatur des Wassers in Graden Celsius.

Bei der Temperatur des Grundwassers von ungefähr 10^0 C wird

$$(0,7 + 0,03 t) = l,$$

und kann obige Formel also einfacher, wie folgt, gelesen werden:

$$v = c d^2 \frac{h}{l}$$

Diese bekannte Formel bildet die Unterlage für die Konstruktion der Depressionskurven des Grundwassers.

Sie setzt aber die Kenntnis von dem Werte des Durchlässigkeits-Koeffizienten voraus, und wurde dieser daher zunächst so gut wie möglich durch Pumpversuche bei Probebrunnen ermittelt und im Mittel

$$c = 700^1)$$

gefunden.

Ich will Sie hier nicht mit den Einzelheiten der etwas komplizierten Aufzeichnung der Depressionskurven aufhalten und Ihnen nur kurz das Resultat davon mitteilen.

Nur will ich nicht unerwähnt lassen, daß man im Querprofil der Anlage nicht wie beim kräftigen Grundwasserstromen immer mit derselben Wassermenge, sondern von oberhalb bezw. unterhalb der Anlage anfangend mit einer kleinen, bezw. gar keiner Wassermenge, und dann je näher bei der Brunnenanlage mit um so größeren Wassermengen entsprechend dem jedesmal beherrschten Regengebiet zu rechnen hatte.

Es stellte sich nun heraus, daß bei einer tiefsten Absenkung des Wasserspiegels im Saugbrunnen = 4 m + Null Amsterdamer Pegel oder einer Absenkung von etwa 7 m des Grundwasserspiegels ein Grundwasserstreifen beherrscht werden

¹⁾ Für den Dünensand bei Helder, wo sich c mit Hilfe der bestehenden Wasserwerksanlage bestimmen liefs, fand ich später je nach der Örtlichkeit

konnte, der stromaufwärts von der Brunnenanlage 1450 m und stromabwärts 1150 m Breite, also im ganzen 2600 m Breite hat. Bei einer Brunnenanlage von 70 Brunnen in Entfernungen von 50 m, also von total $3\frac{1}{2}$ km Länge, fand ich, dafs 860 ha beherrscht werden konnten.

Diese Fläche ist in Fig. 77 (i. Text) durch eine schwere volle Linie umgrenzt.

Wieviel Wasser von den atmosphärischen Niederschlägen kommt nun jährlich dem Grundwasser zugute?

Ich habe in diesem Fall durchschnittlich 340 mm angenommen, das ist also etwas weniger wie 50 % von 700 mm Regenfall. Damit will ich aber nicht gesagt haben, dafs ich voraussetzte, dafs immer 50 % vom Regen dem Grundwasser zunutze kommen wird. Dieser Prozentsatz mag sehr wechseln. In dem einen Jahre kann die Regenmenge gröfser sein wie in dem anderen, dahingegen kann der Nutzeffekt kleiner sein, und im anderen Jahre kann die Regenmenge kleiner und der Nutzeffekt gröfser sein. Es kann aber auch vorkommen, dafs viel Regen und grofser Nutzeffekt zusammentreffen und umgekehrt. Erfahrungsmäfsig kommt man aber in der dortigen Gegend mit meiner Annahme aus. Sollte das eine Jahr auch einmal weniger Zuwachs an Grundwasser ergeben, wie vorausgesetzt, so kann sich das durch einen Überschufs von früheren Jahren ausgleichen, weil der Abflufs des Grundwassers so äufserst langsam erfolgt.

Ich habe also jährlich 340 mm nutzbare Regenmenge angenommen und damit die Ergiebigkeit der Anlage auf 2924 000 cbm pro Jahr berechnet. Mit Rücksicht auf die vielen Sonn- und Feiertage, an welchen die Fabriken in Tilburg geschlossen werden, mufste die Anzahl Arbeitsstunden der Anlage auf 288 (Tage) mal 15 (Stunden) = 4320 Stunden pro Jahr gestellt werden und die Ergiebigkeit der Wassergewinnungsanlage pro Arbeitsstunde zu 677 cbm, d. h. bei 70 Brunnen und 3500 m Länge der ganzen Anlage. Bei dem zur Ausführung gelangten Projekt von 60 Brunnen mit 3000 m Gesamtlänge kann die Ergiebigkeit etwa zu 600 Stunden-cbm oder 10 Stunden cbm pro Brunnen angenommen werden. Im Verhältnis zur Brunnenzahl und Länge der Anlage würde freilich nur auf 580 Stunden-cbm zu rechnen sein; aus Fig. 77 (i. Text) sieht man aber, dafs die beherrschte Fläche nicht in gleichem Mafse wie die Länge kleiner wird. Verlangt wurden 500 cbm bezw., wenn für eventuelle Verluste in der Pumpstation und Enteisung und sicherheitshalber noch 8% hinzugerechnet werden, 540 cbm, was bei den 60 ausgeführten Brunnen einer Wassermenge von 9 Stunden-cbm pro Brunnen entspricht. Die vorhin berechnete Ergiebigkeit von 10 Stunden-cbm bietet also noch einen Überschufs von 10 %.

Indem ich nun nachgewiesen habe, dafs das beherrschte Niederschlagsgebiet genügt, um jedem Brunnen 9 cbm pro Stunde dauerhaft zuzuführen, will ich Ihnen einiges über die Konstruktion der Brunnen mitteilen.

Die Filter sind verzinkte schmiedeiserne Eisenblechrohre von 80 mm Weite mit Schlitzten von 1,5 mm Weite versehen. (S. Tafel IV, Fig. 10.) Die Längen dieser Filter sind normal 8 m, aber sie variiren nach den gefundenen Sandschichten und sind dementsprechend durch dichte Rohre unterbrochen. (Vergl. Tafel III.)

Die obere Kante der Filter liegt, um die geplante Abpumpung bis 4 m plus Amsterdamer Pegel im Saugbrunnen zu ermöglichen, nirgendwo höher als 3 m + A. P.

Bei der gefundenen Feinheit des Bodensandes war eine Umhüllung des Filters mit Kies- und groben Sandschichten erforderlich. Das Bohrloch wurde zu

500 mm Weite gewählt. Bis 300 mm Durchmesser wurde das Bohrloch angefüllt mit doppelt gesiebttem Kies von 2 bis 4 mm Korngröße, während der Raum von 300 bis 500 mm Durchmesser mit zweimal gesiebttem Sande von $1/2$ bis 2 mm Korngröße angefüllt wurde. Diese Anfüllung wurde von Unterkante Bohrloch bis 1,5 m über Oberkante Filter, ungeachtet der zwischenliegenden Lehmschichten, ununterbrochen angebracht. Diese durchbohrten Lehmschichten wurden also nicht wieder durch eingestampften Lehm oder Ton gegen die vollwandigen Brunnenrohrstrecken abgedichtet. Irgend ein Nachteil hat sich bis jetzt hieraus nicht ergeben.

Die Korngröße des Füllsandes ist so bemessen, daß derselbe Körner größer als 0,3 mm nicht durchläßt. Das Drittel des blauen Bodensandes, welches kleiner ist wie 0,3 mm, kann aber hindurch.

Die Voraussetzung ist nun bekanntlich, daß aus den nächstliegenden blauen Sandschichten die feinsten Teile bei Reinpumpen des Brunnens ausgespült werden, so lange, bis sich daraus eine dritte und eine vierte Schicht u. s. w. gebildet haben, wovon die letzte Schicht imstande ist, den blauen Sand ganz zurückzuhalten. Diese Erwartung ist in Erfüllung gegangen.

Die Brunnen, welche nach meinen Detailangaben von der Firma Bopp und Reuther in Mannheim ausgeführt worden sind, haben sich seit der Betriebseröffnung vollständig bewährt.

Bei der Ausführung der Brunnen ist darauf Bedacht genommen, die Widerstände im Umhüllungsmaterial und in der Filterwand kontrollieren zu können. Es ist zu dem Zweck bei jedem Brunnen im Füllungssande ein anderthalbzölliges Pegelrohr mit einem 0,5 m langen Filter mit Kupfergewebe von gleicher Rohrweite eingesetzt worden. (S. Tafel IV Fig. 1—6). Der Wasserstand innerhalb des Brunnens kann während des Pumpens im gußeisernen Kopfstücke (Tafel IV Fig. 7) durch ein Schauglas beobachtet werden, während das Vakuum in Meter Wasser mittels eines Vakuummessers bestimmt wird. Durch Abzug dieses Vakuums vom Wasserstande im Schauglas erhält man den Wasserstand innerhalb des Brunnens unter dem Druck der Atmosphäre gemessen. Die Differenz dieses Wasserstandes mit dem im Pegelrohr gemessenen, kann der Widerstand in der Brunnenwandung genannt werden.

Die wöchentlichen Beobachtungen dieser Widerstände bei 4 Z-Brunnen der östlichen Richtung und 4 O-Brunnen der südlichen Richtung in den Jahren 1899, 1900 und 1901 sind in Fig. 80 (i. Text) graphisch aufgetragen und darunter in Fig. 81 (i. Text) ebenso die Wassermengen, welche jede Woche durchschnittlich pro Arbeitsstunde jedem Brunnen der Z- bzw. der O-Reihe entnommen worden sind. Daraus geht hervor, daß während diese Wassermengen ungefähr konstant geblieben sind, die Widerstände nur während des ersten vollen Betriebsjahres 1899 von etwa 5 bis 10 cm bis 30—40 cm gestiegen, aber seitdem ziemlich konstant geblieben sind oder nur wenig zugenommen haben. Beim Brunnen O²⁰ haben die Widerstände sogar zuletzt abgenommen. Im allgemeinen waren die Widerstände bei den Z-Brunnen etwas größer als bei den O-Brunnen.

Tatsächlich werden die wirklichen Widerstände etwas geringer sein wie die gefundenen, weil die Reibungsverluste im Brunnen selbst von Unterkante Filter bis zum Wasserspiegel im Kopfstück in unseren Zahlen mit inbegriffen sind.

Für die Vergleichung der gefundenen Werte ist dieses aber von untergeordneter Bedeutung.

Halbertsma, Das Wasserwerk der Stadt Tilburg.

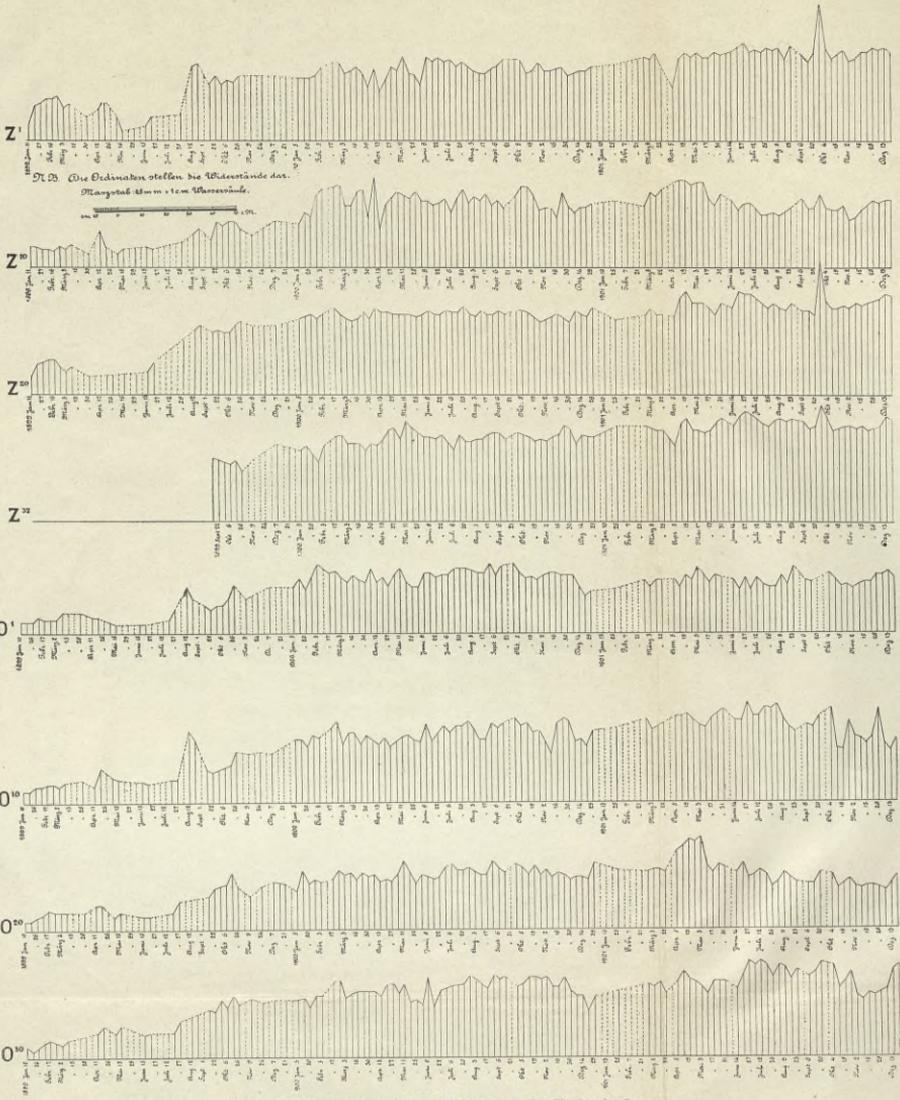


Fig. 80. Graphische Darstellung der Widerstände in den Wänden der Brunnen.

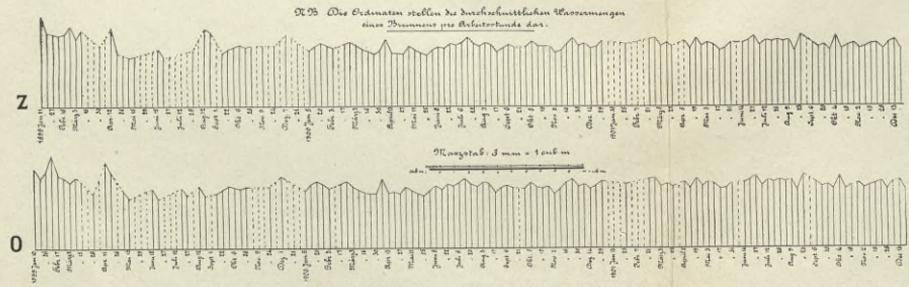
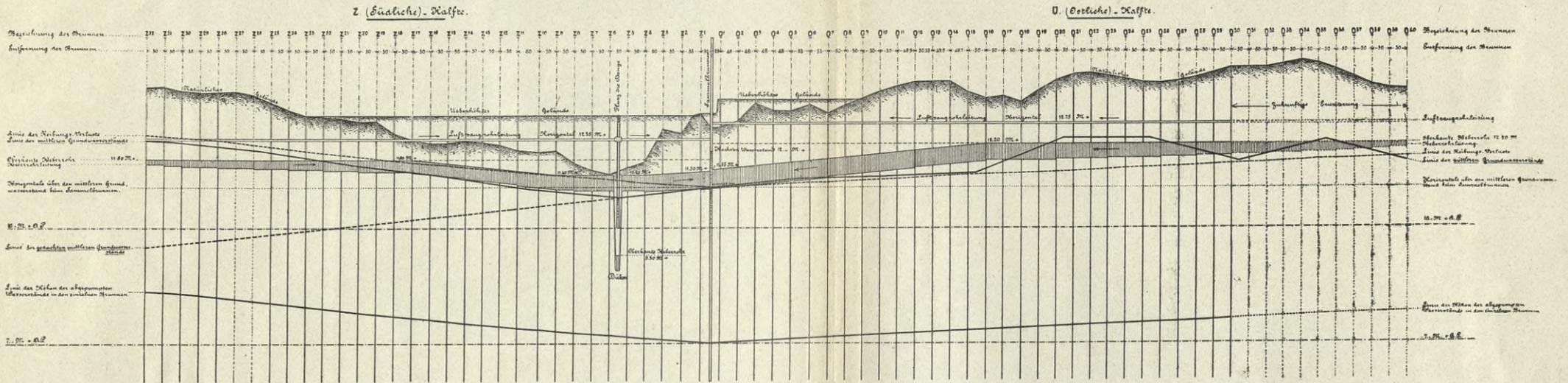


Fig. 81. Graphische Darstellung der Wasserlieferung der Brunnen.

Halbertsma, Das Wasserwerk der Stadt Tilburg.



Graphische Darstellung der Abpumpungs-Tiefen der einzelnen Brunnen.

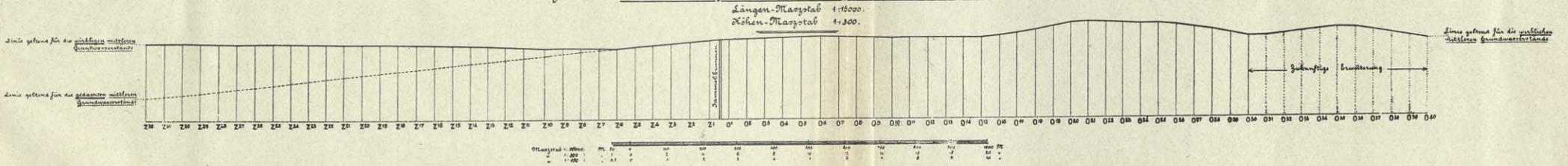


Fig. 82. Längenprofil der Brunnen- und Heberrohranlage, zur Ermittlung der Abpumpungstiefen der Brunnen.

Längenmaßstab 1 : 15 000. Höhenmaßstab 1 : 150.

Zu der Ausstattung des Brunnens ist noch das Folgende zu bemerken.

Zunächst ist der Brunnen oben mit dem schon erwähnten gußeisernen Kopfstück versehen (Tafel IV Fig. 7), worin sich eine Zwischenwand befindet, welche bis zur Oberkante des Anschlußstutzens an das Heberrohr reicht; weshalb diese Konstruktion so gewählt ist, werde ich den Herren später erklären. Ferner ist bei jedem Brunnen die Möglichkeit vorgesehen, unmittelbar hinter dem Kopfstück einen Wassermesser einschalten zu können und zwar, wie Fig. 2 auf Tafel IV zeigt, durch Ausschaltung eines Doppeltknierohres. Von der sofortigen Einschaltung der Wassermesser bei jedem Brunnen habe ich abgesehen, weil mir für diesen Zweck keine passende und preiswürdige Konstruktion bekannt war. Unsere sämtlichen Wassermesser sind doch hauptsächlich auf Druck konstruiert, wobei es auf etwas Druckverlust nicht so sehr ankommt. Bei Brunnenanlagen, welche unter Vakuum betrieben werden, kommen diese Druckverluste aber sehr in Frage, weil die mögliche Abpumptiefe um den Betrag derselben verringert wird.

Hinter dem Doppeltknierohr ist ein Absperrschieber angebracht, so daß jeder Brunnen für sich ausgeschaltet werden kann.

An den Schieber schließt sich dann das 80 mm weite Verbindungsrohr mit dem Heberrohr an. Bewegliche Teile wie Rücklaufklappen und Fußventile, sind im Brunnen nicht vorhanden. Sie sind absichtlich vermieden, weil sie entweder nicht zuverlässig funktionieren oder schädliche Druckverluste ergaben. Deren Zweck ist in einfacherer Weise durch den Überfall im Kopfstück erreicht worden.

Derselbe macht eine etwas höhere Ansaugung des Brunnenwassers erforderlich. Zu dem Zwecke ist oben am Kopfstück ein besonderes Luftabsaugerohr angebracht, bestehend aus einem $\frac{3}{4}$ zölligen Bleirohr mit Absperrventil.

Die ganze Brunnenrüstung ist untergebracht und zugänglich gemacht in einem cylindrischen Schacht von Beton mit einem lichten Durchmesser von 1,20 m, welcher unten mit einem Betonboden versehen ist. Hierauf ist das Filteraufsatzrohr und somit der ganze Brunnen mit Holzklammern aufgehängt, um vorzubeugen, daß der Brunnen sich später im Betriebe noch senkt, und der Anschluß des Bodens am Brunnenrohr dabei undicht wird.

Der Schacht ist oben abgedeckt durch ein Betongewölbe, worin sich eine Einsteigöffnung befindet, welche durch einen gußeisernen Deckel abgeschlossen wird. Diese Öffnung befindet sich gerade über dem Kopfstücke des Brunnens, damit man von oberhalb des Schachtes mittels eines Ventilbohrers eventuell eingetretenen Sand aus dem Brunnen entfernen kann.

Ich kann jetzt, meine Herren, zu der Beschreibung der Heberrohrleitung übergehen. In Fig. 82 (i. Text) ist das Längenprofil derselben dargestellt und zwar vom äußersten Z-Brunnen d. i. Z.³² (es sind zwei Z-Brunnen nämlich Z²⁶ und Z²⁷ der schlechten Bodenverhältnisse wegen unausgeführt geblieben) bis Brunnen O⁴⁰, also einschließlic der projektierten zukünftigen Erweiterung der O-Reihe mit 10 Brunnen.

Das Profil des gewachsenen Bodens ist zwar etwas unregelmäßig, aber fällt doch im allgemeinen von den beiden äußeren Enden ab nach der Mitte hin, wo das Profil geschnitten wird durch einen kleinen Fluß oder Bach, »die Döng« genannt. Dieser Bach ist so wenig tief, daß er zukünftig, wenn der Grundwasserspiegel tiefer gelegt ist, kaum noch Grundwasser aus unserem Gebiet wird abführen können, und ist dessen Einfluß deshalb bei der Berechnung der Ergiebigkeit unserer Anlage außer Betracht gelassen. Er wird freilich etwas Regenwasser oberflächlich abführen.

können; dahingegen wird er auch Wasser von oben zuführen und damit unser Grundwasser zum Teil speisen. Es versteht sich von selbst, daß die Grundwasserstände bis jetzt von diesem Bach, als alleinigem Drainmittel wesentlich beeinflusst worden sind. Dieses geht deutlich hervor aus der schweren vollen Linie der mittleren Grundwasserstände, wie diese im Laufe eines Jahres beobachtet wurden. Der tiefste Punkt dieser Linie bildet den mittleren Wasserstand der Donge. Die Linie steigt von dort ab nach beiden Seiten und zwar stärker nach Süden wie nach Osten. Nach Osten kommen aber teilweise besondere Erhöhungen vor, welche darauf zurückzuführen sind, daß das Grundwasser dort durch Lehmschichten am Abfließen mehr oder weniger gehindert wurde. Dieses ergab sich auch aus den Isohypsen, welche in Fig. 78 (i. Text) nur zum kleinsten Teil wiedergegeben sind.

Es fragte sich nun zunächst, an welcher Stelle das Wasser aus der Heberleitung entnommen werden sollte, d. h. wo der Sammel- oder Saugbrunnen und die Pumpstation zu errichten wären.

Sollten die Pumpstationen wie üblich auf den Bergen des Grundwassers errichtet werden, wovon eine am östlichen und eine am südlichen Ende, oder sollte nur eine Pumpstation im Tale des Grundwassers gebaut werden?

Als die Herren Konzessionäre mich mit dem Entwurf beauftragten, waren sie bereits im Besitze eines Skizzenentwurfes, worin nur eine Pumpstation und zwar am südlichen Ende, also auf dem höchsten Grundwasserberge, vorgesehen war. Es war dabei einer gewissen Mode oder Richtung in unserem Fache gefolgt worden, welche verlangte, daß das Heberrohr behufs der leichteren Entlüftung nach der Pumpstation hin steigen sollte. Um dann nicht die Verlegung des Heberrohres zu kostspielig zu gestalten, wurde dasselbe in derselben Richtung steigend gelegt wie das Grundwasser in der Längsrichtung der Anlage, welche im allgemeinen quer zur Richtung des Grundwasserstromes, also zu einer noch stärkeren Steigung, genommen wurde. Hätte man das Heberrohr steigend legen wollen in entgegengesetzter Richtung von der Steigung des Grundwassers, so wäre man entweder mit demselben bei der Pumpstation zu hoch gekommen, oder man wäre am entgegengesetzten Ende zu tief in das Grundwasser hineingeraten, wodurch die Verlegung erheblich erschwert und verteuert worden wäre.

Mit dieser Art der Anlage habe ich aber früher ungünstige Erfahrungen gemacht, darin bestehend, daß die Brunnen weniger abgepumpt wurden und weniger Wasser gaben, je weiter sie von der Pumpstation entfernt lagen.

Um diesem Übelstande abzuhelpen, gingen die Betriebsführer dann dazu über, die Absperrschieber der nächstliegenden Brunnen etwas zuzudrehen, den Zufluß derselben also etwas zu drosseln und erreichten dann zwar, wenn auch mangelhaft, eine größere Gleichmäßigkeit in der Abpumpung der Brunnen, aber dieses geschah zu Kosten von der Ergiebigkeit der nächstliegenden Brunnen, während die weiter entfernten Brunnen nicht entsprechend mehr Wasser gaben, es sei denn, daß der Sammelbrunnen auf Kosten eines größeren Kohlenaufwandes tiefer abgepumpt wurde.

Mit dem Drosseln der Absperrschieber bezweckt man die Einschaltung und Regulierung von Widerständen. Es sind aber erstens die Absperrschieber für diesen Zweck sehr ungeeignet, und dann sollte man, statt Widerstände einzuschalten, dieselben möglichst zwischen den Brunnen und den Pumpen vermeiden.

Der beschriebene Übelstand der früheren Anlagen hat nun seine Ursache darin, daß die der Pumpstation nächstliegenden Brunnen am tiefsten unter A. P. abgepumpt werden und den höchsten Grundwasserstand haben. Die Differenz oder

die Absenkung der Wasserspiegel in diesen Brunnen wird also groß. Bei den entferntesten Brunnen wird die Abpumpung verkleinert durch den Reibungsverlust in der Heberrohrleitung, das Wasser wird dort nicht zu tief abgepumpt, während das Grundwasser dort niedriger steht.

Die Absenkung der Wasserspiegel in diesen Brunnen wird also nur klein sein können.

Ich entschloß mich daher, in Tilburg die Pumpstation so viel wie möglich in das Tal zu verlegen.

Selbstverständlich war ich da einigermaßen gebunden an die Grundstücke, welche ich käuflich erwerben konnte und eine genügende Höhenlage hatten, um gegen Überschwemmungen durch die Donge gesichert zu sein.

Es wurde dann das in den Fig. 77 und 78 (i. Text) angegebene Grundstück gewählt und darin die Pumpstation nebst Sammelbrunnen festgelegt. Von hier aus sollte nun die Heberleitung projektiert werden.

Um aber nicht gezwungen zu sein, dieselbe nach den Sammelbrunnen hin steigen zu lassen, wurde eine Luftabsaugung durch eine besondere Luftsaugleitung für die ganze Länge der Anlage vorgesehen, worauf ich später zurückkomme.

Ich hatte nun eine viel größere Freiheit im Projekt meiner Heberleitung bekommen und benutzte diese, um das Rohr möglichst anschliessend an die mittlere Grundwasserlinie zu legen, damit es einerseits möglichst nahe daran zu liegen kam, und anderseits beim Verlegen keine zu große Kosten für Wasserbewältigung verursachen würde.

Dann aber berücksichtigte ich z. B. neben den Brunnen O¹² bis O¹⁴ die Höhenlage des Geländes, indem dort das Rohr etwas über dem Grundwasserspiegel gelegt wurde, während nach den beiden Enden hin das Rohr in das Grundwasser hineinverlegt wurde, damit die Oberkante, auch mit Rücksicht auf die Luftsaugleitung, nicht über eine festgelegte Höhe über A. P. steigen sollte.

Diese Höhe beträgt für die Z-Leitung 11,80 m + A. P. und für die O-Leitung 12,20 m + A. P.

Die letzten Strecken mußten demzufolge von den Brunnen Z¹⁷ und O¹⁶ ab mit der Oberkante horizontal projektiert werden.

Die Kreuzung des Heberrohres mit dem Dongefluß wurde ohne jede Schwierigkeit gelöst, indem dasselbe gerade so wie ein gußeiserner Düker eines Druckrohrstranges verlegt wurde. Für die Einzelheiten hiervon verweise ich nach den Fig. 8 und 9 auf Tafel IV.

Nachdem die Höhenlage der Heberleitung festgelegt war, mußten die lichten Weiten derselben bestimmt werden.

Dabei ist ausgegangen von der Voraussetzung, daß 32 Brunnen in der südlichen (Z¹ bis Z³²)¹⁾ und 40 Brunnen in der östlichen Richtung (O¹ bis O⁴⁰) im Betrieb wären und je 9 cbm Wasser pro Stunde lieferten.

Infolge der Nichtausführung der beiden Brunnen Z²⁶ und Z²⁷ und deren Ersetzung durch die Brunnen Z³¹ und Z³² wurde in der damals bereits festgelegten Heberleitung nichts geändert.

¹⁾ Diese beiden Brunnen Z³¹ und Z³² wurden sofort im Projekt für spätere Erweiterung vorgesehen, weil die Anlage damit gerade bis an die Gemarkungsgrenze der Stadt Tilburg reichte.

Die stündlichen Wassermengen, womit man bei der südlichen Heberleitung zu rechnen hatte, variierten also von 9 bis 288 cbm und bei der östlichen Heberleitung von 9 bis 360 cbm, bei jedem Brunnen zunehmend mit 9 cbm.

Die Rohrweiten wurden nun so gewählt, daß der Druckverlust h pro 100 m nahezu übereinstimmte mit dem durchschnittlichen Gefälle des Grundwasserspiegels auf derselben Länge.

Es stellten sich dabei für die südlichen Leitungen Geschwindigkeiten heraus, welche, von 0,20 m pro Sek. anfangend, schon bei Brunnen Z²⁷ auf 0,50 m gestiegen waren und von dort ab bis zum Sammelbrunnen von 0,45 bis 0,55 variierten. Für die östliche Leitung stellten sich die Geschwindigkeiten etwas kleiner heraus und zwar, von 0,15 m pro Sek. anfangend, langsam steigend bis 0,40 m bei Brunnen O²⁹ von dort ab schwankend von 0,35 bis 0,45 m bis Brunnen O⁹, wo die Geschwindigkeit auf 0,50 m steigt, um beim Brunnen O⁷ zurückzufallen auf 0,45 m und dann wieder bis zum Sammelbrunnen auf 0,50 m zu steigen.

Die lichten Weiten der Heberrohre nehmen jedesmal um 25 mm zu und variieren bei der südlichen Leitung von 125 bis 450 mm und bei der östlichen Leitung von 150 bis 500 mm.

Diese beiden Leitungen sind in Fig. 82 (i. Text) vertikal schraffiert, und kann man daraus die Abstufungen der Weiten ersehen, welche in Tafel III unter den Leitungen eingeschrieben sind. Es sind dann die Druckverluste von jedem Brunnenanschluss bis zum Sammelbrunnen ausgerechnet.

In Fig. 82 ist dann eine Horizontale über den mittleren Grundwasserstand beim Sammelbrunnen gezogen (siehe die fein punktierte Linie), und auf dieser Horizontalen als Abszisse sind dann bei den einzelnen Brunnen die Reibungsverluste von dort bis zum Sammelbrunnen als Ordinaten aufgetragen. Diese Ordinaten sind dann durch eine schwere blockierte Linie vereinigt, welche also die graphische Darstellung der Reibungsverluste bildet.

Bei der südlichen Leitung war es unvermeidlich, daß diese Linie etwas über die Grundwasserlinie stieg. Nach dem Ende hin nähert sie sich der Grundwasserlinie aber immer mehr.

Bei der östlichen Leitung folgt sie der Grundwasserlinie fast ganz genau bis O¹⁵, dann geht sie aber ungefähr mit derselben Steigung bis zum Ende weiter, während die Grundwasserlinie meistens höher liegt und nur in ihrem Tale bei O³⁰ die Reibungslinie wieder berührt, um sie sodann bei O³⁹ zu kreuzen. Die Reibungslinie ist so tief gelegt, weil vorausgesetzt ist, daß die örtlichen Berge der Grundwasserlinie bei O²⁰ bis O²⁶ und O³⁴ bis O³⁷ im Betriebe nach und nach verschwinden würden.

Um mir nun ein klares Bild zu machen von der Wirkung meiner neuen Anlage, habe ich beispielsweise eine Abpumpung des Sammelbrunnens bis 7 m + A. P. angenommen und in Fig. 82 eine horizontale Linie in dieser Höhe gezogen. Bis zu dieser Tiefe würden dann alle Brunnen abgepumpt werden, wenn keine Reibungsverluste wären. Um diese aber zu berücksichtigen, müssen nun durch den Schneidepunkt von Mittellinie-Sammelbrunnen und der Linie von 7 m + A. P. zwei Linien gezogen werden parallel zu den Linien der Reibungsverluste. Man erhält dann die Linien der Höhen der abgepumpten Wasserstände in den einzelnen Brunnen, welche in Fig. 82 mit schweren vollen Linien gezogen sind bis O³⁰ und von O³⁰ bis O⁴⁰ mit schwer punktierter Linie.

Man kann nun sofort aus Fig. 82 abgreifen, wie tief der Grundwasserstand bei jedem einzelnen Brunnen abgesenkt wird, indem man die Höhenunterschiede mißt zwischen der Linie der mittleren Grundwasserstände und derjenigen der abgepumpten Wasserstände, also zwischen den beiden schweren vollen Linien.

Tut man dieses für jeden Brunnen und steckt die Abpumptiefen in halb so großem Maßstabe als Ordinaten auf einer Horizontalen ab, so erhält man die obere volle Linie der graphischen Darstellung am Fusse von Fig. 82.

Man sieht daraus, daß alle Brunnen nahezu gleich viel abgepumpt werden. Nur bei dem Dongeflufs ist diese Abpumpung unvermeidlich etwas geringer, während sie in den Grundwasserbergen der östlichen Hälfte der Anlage (anfänglich) etwas mehr als die mittlere betragen wird.

Auf diese gleichmäßige Beanspruchung aller Brunnen, und somit der ganzen Anlage lege ich großen Wert, denn man kann dabei mit der geringsten Absenkung des Wasserspiegels im Sammelbrunnen den größten Nutzeffekt erreichen.

Um Ihnen dies recht deutlich zu machen, habe ich mir die Möglichkeit gedacht, daß der Grundwasserspiegel südlich vom Dongeflufs nicht steigen, sondern vom Sammelbrunnen ab kontinuierlich fallen würde.

Diese Linie der gedachten mittleren Grundwasserstände ist in Fig. 82 schwer blockiert.

Der Sammelbrunnen und die Pumpstation würden dann bezüglich der südlichen Hälfte der Anlage auf dem Grundwasserberge liegen.

Würde der Sammelbrunnen dann wiederum bis 7 m + A.P. abgepumpt werden, so würde die graphische Darstellung der Abpumptiefen am Fusse von Fig. 82 die fein blockierte Linie ergeben. Die Abpumpung würde dann bei Z³² nur ein Viertel von derjenigen bei Z¹ betragen, und die Wasserlieferung würde dementsprechend geringer sein.

Nur durch bedeutend tiefere Absenkung des Wasserspiegels im Sammelbrunnen (in diesem Falle = 3 m) könnten die äußeren Brunnen die erforderliche Wassermenge liefern, doch würden dann wieder die naheliegenden Brunnen unnötig tief abgepumpt und die ganze Anlage hier zu stark angegriffen werden.

Es ist eben nur durch ein gleichmäßiges Abpumpen der ganzen Anlage möglich, die erforderliche Wassermenge mit einem Minimum von Anlage- und Betriebskosten zu beschaffen, während dabei zu gleicher Zeit die konstante gute Beschaffenheit des Wassers am besten gewährleistet wird.

Noch will ich nicht unerwähnt lassen, daß eine solche anschmiegende Reibungslinie an die Grundwasserlinie, wie hier erreicht wurde, bei einer Anlage mit Brunnengruppen, wie in meinem ersten Projekt vorgesehen, nicht hätte erreicht werden können, und war dieses der Grund, weshalb von der gruppenweisen Anordnung der Brunnen Abstand genommen wurde.

Wenn ich noch erwähne, daß die Heberleitungen aus deutsch-normalen gußeisernen Muffenröhren hergestellt sind, und daß die Muffen nur mit einem Strick Hanf versehen und dann ganz mit Blei voll gegossen und verstemmt wurden, sowie daß hinter den Anschlüssen der Brunnen Z¹⁵ und O¹⁵ je ein Absperrschieber eingebaut wurde, so wären damit die Hauptheberleitungen wohl genügend erläutert.

Auf die Ausmündung derselben in den Sammelbrunnen komme ich später zurück.

Hier möchte ich nur noch darauf aufmerksam machen, daß die Anschlußleitungen an die Hauptheberrohrleitungen überall mehr oder weniger steigend nach

dem Brunnen zu verlegt sind, während die Anschlußstutzen der Heberrohre nicht in der Mitte der Rohre, sondern ganz oben angebracht wurden, damit bei jedem Brunnen die Luft aus der Heberrohrleitung nach dem Brunnenkopfstück und von dort durch die Luftsaugleitung abgesogen werden konnte. (S. Tafel IV, Fig. 1—7.)

Die Luftsaugleitung ist also auf je 50 m Länge einmal mit den Heberleitungen verbunden, und außerdem noch an denjenigen Stellen, wo man Luftansammlungen befürchten konnte, wie an den beiden Enden des Dükers durch die Donge und wie wir später sehen werden oben auf den Kniestücken der Rohrmündungen im Sammelbrunnen.

Damit ist, wie die Erfahrung gezeigt hat, eine vollständige Entlüftung der Heberrohranlage erreicht worden.

Die Bleihranschlüsse jedes einzelnen Brunnens sind stark steigend nach der Luftsaugleitung hin verlegt und mit einer Umbiegung aufwärts angeschlossen an gulseiserne Kreuzstücke. Diese sind oben mit einer Kontrollblindflansche versehen und an beiden Seiten mittels Flanschen an die Hauptluftsaugleitung angeschlossen.

Diese besteht aus verzinkten, schmiedeeisernen Röhren von 50 mm lichter Weite bester Qualität, welche durch besonders lange Muffen, welche ebenso wie die Rohrenden mit sehr sauber geschnittenem Gasgewinde versehen waren, luftdicht verbunden wurden.

Beide Luftsaugleitungen haben in der Mitte an derselben Stelle wie die Heberleitungen Absperrschieber erhalten.

In welcher Höhenlage und mit welcher Steigung oder mit welchem Gefälle sollten die Luftleitungen verlegt werden?

Aus Tafel III und Fig. 82 (i. Text) sieht man dafs die beiden Luftleitungen genau horizontal gelegt worden sind, aber die südliche Hälfte etwas tiefer wie die östliche. Man sieht, dafs für die südliche Hälfte eine nicht unbedeutende Erhöhung des Geländes erforderlich gewesen ist, um der Luftsaugleitung die nötige Erddeckung zu geben. (Vergl. Fig. 5 und 6, Tafel IV.) Hätte man nun die Luftleitung statt horizontal steigend nach dem Sammelbrunnen hin gelegt, so hätte das Gelände noch mehr überhöht werden müssen, wofür wiederum eine gröfsere Breite des verfügbaren Landweges erforderlich gewesen wäre. Diese reichte schon jetzt nicht überall aus und mußten an einzelnen Stellen noch Grundstreifen hinzugekauft werden, um die vorgeschriebene Fahrbreite des Weges einhalten zu können. Es lagen also triftige Gründe vor, die Luftleitung nicht unnötigerweise steigend zu verlegen.

Aus der schematischen Darstellung der Heberrohranlage in Fig. 83 (i. Text) geht aber, wie ich näher erklären werde, hervor, dafs die horizontale Luftleitung gerade in der Nähe des Sammelbrunnens am leichtesten wasserfrei gehalten werden kann und also kein Grund vorlag, die Leitung nach dorthin höher zu legen.

Die horizontale Lage wurde mithin für beide Luftsaugleitungen als die richtige erkannt, umsomehr, als ich mir sagen mußte, dafs ebenso wie die Heberleitung alle 50 m ihre Luftabsaugung erhielt, die Luftleitung alle 50 m ihre Abwässerung bekommen würde, wäre dies auch nur für Ableitung möglicher Niederschläge aus der Luft gegen die Rohrwandungen.

Dafs die südliche Luftsaugleitung etwas tiefer (Oberkante 12,35 m + A. P.) gelegt werden mußte wie die östliche Leitung (Oberkante 12,75 m + A. P.) ging aus den Terrainverhältnissen hervor, wie Fig. 82 (i. Text) genügend zeigt.

Halbertsma, Das Wasserwerk der Stadt Tilburg.

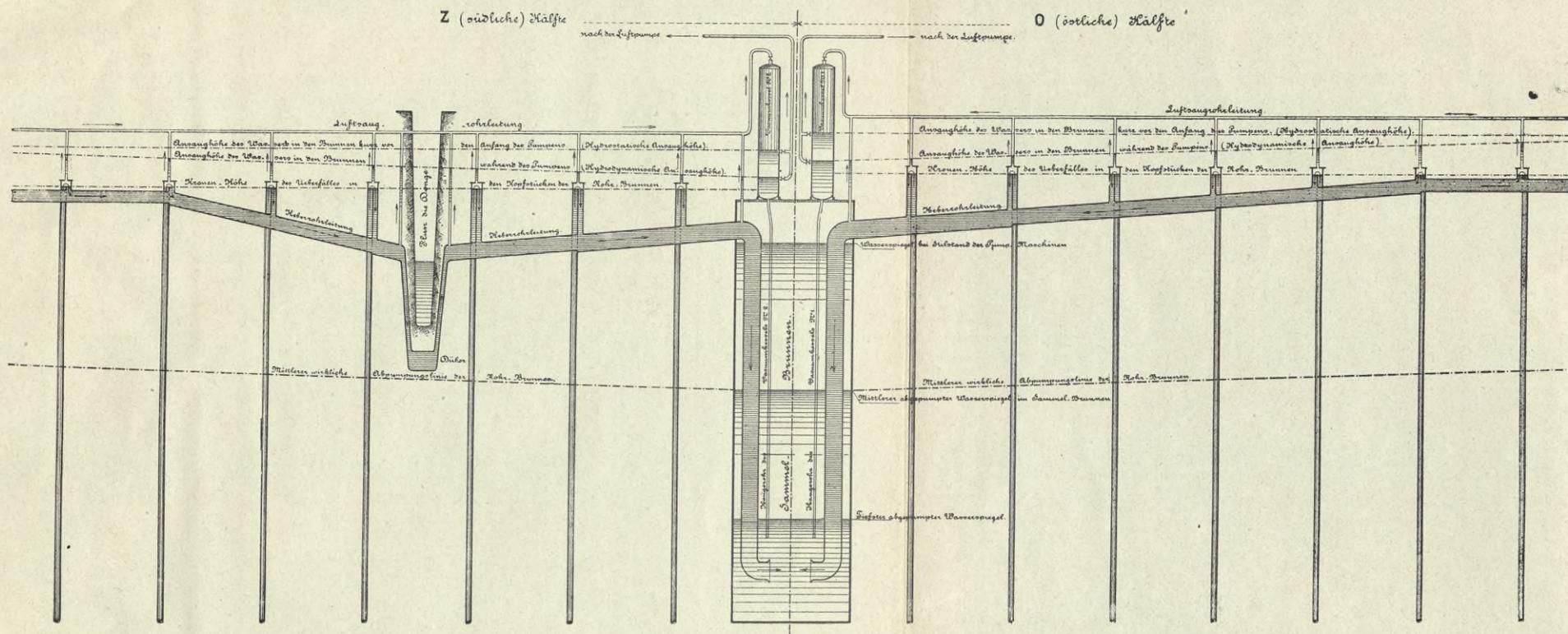


Fig. 83. Schematische Darstellung der Heberrohranlage.



Hätte ich z. B. die östliche Luftleitung in derselben Tiefe wie die südliche legen wollen, also 0,40 m tiefer, so hätte nicht allein die östliche Luftleitung, sondern auch der größte Teil der östlichen Heberleitung um so viel tiefer gelegt werden müssen, wodurch nicht unerhebliche Mehrkosten an Erdausschachtung und Wasserbewältigung entstanden wären.

Billiger und zweckmäßiger erschien es daher, jede Hälfte der Anlage in Bezug auf die Luftabsaugung zu einem System für sich auszubilden.

Zu dem Zwecke erhielt jede Hälfte ihren eigenen Vakuumkessel, wodurch man im Stande war, in jeder Heberleitung das Grundwasser gerade so hoch wie erwünscht anzusaugen und zwar der höheren Lage der Leitungen entsprechend in der östlichen Hälfte 0,40 m höher wie in der südlichen. (Fig. 83 i. Text.)

Als geringste Höhendifferenz zwischen den Oberkanten der Luftsaugleitung und Heberrohrleitung wurde für beide Hälften der Anlage 0,55 m angenommen. Dieses Maß ergab sich aus der Querprofilzeichnung eines Brunnens mit den Rohranschlüssen, wobei die Heberanschlussleitung nahezu horizontal lag. (Fig. 4 auf Tafel IV.)

Dafs es noch besser gewesen wäre, dieses Maß größer zu wählen, wenn die örtlichen Verhältnisse es ohne zu große Kosten erlaubt hätten, wird sich aus der näheren Betrachtung der schematischen Darstellung der Heberrohr-Anlage in Fig. 83 (i. Text) ergeben. Hierin sind nur 7 Brunnen jeder Richtung sowie der Düker unter der Donge, und der Sammelbrunnen mit beiden Vakuumkesseln, und die Heber- und Luftleitungen skizziert.

Ich bemerke besonders, dafs die Figur nicht nach Maßstab gezeichnet ist.

Zunächst werde ich die südliche Hälfte der Anlage erklären.

Die Kopfstücke sämtlicher Brunnen sind in derselben Höhe über A. P. aufgestellt, also liegen die Kronen sämtlicher Überfälle darin auf 11,80 m + A. P. (Fig. 5—7 Tafel IV). Diese Höhenpunkte sind in Fig. 83 (i. Text) durch eine horizontale Strichpunktlinie verbunden.

Der Vakuumkessel ist unten im Boden mit einem Gasrohr verbunden, welches im Sammelbrunnen herunterhängt, und ganz oben mit der Luftsaugleitung.

Vorausgesetzt nun, dafs der Sammelbrunnen nicht abgepumpt wird und dafs der darin hängende Schenkel des Heberrohres nicht abgeschlossen ist, sowie ferner, dafs durch die Luftpumpe die Luft aus dem Vakuumkessel soweit abgesaugt wird, bis der Wasserspiegel darin fast bis zur Unterkante der horizontalen Luftsaugleitung (d. i. 12,30 m + A. P.) steigt so werden die Brunnen, die Heber- und Luftsaugrohre sowie der Sammelbrunnen und der Vakuumkessel alle zusammen ein gemeinschaftliches System von kommunizierenden Röhren bilden. Oben auf den Wasserspiegeln in dem Brunnen wird (nahezu) derselbe Luftdruck (oder dasselbe Vakuum) stehen, wie auf dem Wasserspiegel im Vakuumkessel und folglich wird das Wasser in den Brunnen auch das Bestreben haben, sich in gleiches Niveau zu stellen mit dem Wasser im Vakuumkessel. Diese Gleichstellung der Wasserspiegel würde in der Tat eintreten bei einer Anlage, bei der die Grundwasserstände sämtlicher Brunnen in gleicher Höhe lägen.

Im vorliegenden Falle würde sie nur dann eintreten können, wenn sämtliche Brunnen mit dicht abschließenden Fußventilen versehen wären. Es würde dann von den Brunnen mit höheren Grundwasserständen so lange Wasser nach denen mit niedrigeren Grundwasserständen und nach dem Sammelbrunnen überhebern, bis ein gleich hoher Wasserspiegel sich überall eingestellt hätte, beim Sammelbrunnen

selbstredend unter Abzug des Vakuums im Kessel. Diesen Wasserspiegel habe ich in Fig. 83 (i. Text) auch mit einer Strichpunktlinie eingetragen und diese die Linie der hydrostatischen Ansaughöhe genannt. In Tilburg wird diese Linie nie eine horizontale sein können und immer mehr oder weniger entsprechend der Linie der Grundwasserstände etwas davon abweichen.

Fängt man nun an den Sammelbrunnen abzapfen, so fällt darin der Wasserspiegel und fängt sofort das Überhebern nach dem Sammelbrunnen an, womit zugleich die Reibungsverluste sich einstellen und ihre Wirkung tun werden.

In Fig. 83 (i. Text) deutet die untere Strichpunktlinie eine mittlere wirkliche Abpumpungslinie der Brunnen an. Nach nötigenfalls erhöhtem Vakuum im Kessel stellen sich dann die Wasserstände in den Brunnen parallel zu dieser Linie, vorausgesetzt, daß die Brunnen- und Rohranlage luftdicht ist und das Vakuum wieder über die ganze Länge der Luftsaugleitung gleich dem im Kessel angenommen werden darf. Diese Linie der Ansaughöhe des Wassers in dem Brunnen während des Pumpens habe ich die Linie der hydrodynamischen Ansaughöhe genannt, d. i. die zweite Strichpunktlinie in Fig. 83 von oben.

Damit auch die nächstliegenden Brunnen funktionieren können, darf diese Linie beim ersten Brunnen (oder im Vakuumkessel) nicht unter 11,80 m + A. P. (d. i. Kronenhöhe der Überfälle in den Kopfstücken) plus etwa 0,10 m für die Überfallhöhe, also nicht unter 11,90 m + A. P. fallen und wird von dort ab parallel mit der Linie der Reibungsverluste steigen.

Der gesamte Reibungsverlust ist bei vollem Betriebe für die südliche Heberleitung berechnet auf 1,30 m und würde demnach die Linie der hydrodynamischen Ansaughöhen beim Brunnen Z³² auf 13,20 m + steigen, während das Luftrohr nur auf 12,35 + liegt, d. h., daß das Wasser dort bis in das Luftrohr steigen und dasselbe ausfüllen würde.

In vollem Betriebe wird das Luftrohr nur ganz wasserfrei sein bis zum Brunnen Z¹¹. Bis dort beträgt der Reibungsverlust 0,40 m und steigt die hydrodynamische Linie also bis 12,30 + d. i. Unterkante Luftrohr.

Wo die Verhältnisse es erlauben, wird es jedenfalls vorzuziehen sein, das Luftrohr so viel höher zu legen, daß dessen Wasserfreiheit bei vollem Betriebe über die ganze Länge gesichert ist, wenn sich auch bis jetzt in Tilburg keine Nachteile aus der tieferen Lage herausgestellt haben.

Die östliche Hälfte der Anlage verhält sich in dieser Beziehung etwas günstiger wie die südliche, weil dabei der ganze Reibungsverlust einschließlich der späteren Erweiterung bis inkl. Brunnen O⁴⁰ nur 0,80 m beträgt, und erst bei Brunnen O¹⁹ der Reibungsverlust über 0,40 m betragen würde, also erst von dort ab die Luftleitung zukünftig nicht mehr wasserfrei wird gehalten werden können. Dahingegen dürfte die östliche Luftleitung bei der jetzigen Ausführung bis inkl. O³⁰ ganz wasserfrei bleiben, vorausgesetzt, daß man den Wasserspiegel im Vakuumkessel nicht höher hält, wie erforderlich ist.

Dieses hat man dadurch in der Gewalt, daß man das Luftabsaugrohr gerade in der gewünschten Absaughöhe in den Vakuumkessel münden läßt und für irgend eine kontinuierliche, wenn auch nur sehr geringe Luftabsaugung Sorge trägt, wie z. B. mittels eines Verbindungsröhrchen mit dem Vakuumraum vom Kondensator der Dampfmaschine.

In der Zeichnung sind bei jedem Kessel zwei Mündungen des Luftabsaugrohres angegeben, wovon die höhere für die Ingangsetzung der Anlage und die untere während des Betriebes dienen soll.

Die östliche Hälfte unterscheidet sich von der südlichen nur dadurch, daß das Luftrohr sowie die höchste Strecke des Heberrohres und die Kopfstücke der Brunnen sämtlich 0,40 m höher liegen, und dementsprechend dafür auch im Vakuumkessel Nr. 1 0,40 m höhere Wasserstände vorgesehen sind wie bei Nr. 2.

Was ist nun der Zweck der Überfälle in den Kopfstücken der Brunnen und weshalb sind die Kronen derselben bei jeder Hälfte der Anlage in eine Höhe gelegt worden?

Dieses läßt sich am besten erklären, wenn man sich die Vorgänge bei der Aufserbetriebssetzung veranschaulicht.

Zuerst wird der Schenkel des Heberrohres im Sammelbrunnen am unteren Ende geschlossen, um zu verhüten, daß das Heberrohr sich darin entleert. Sodann wird die atmosphärische Luft in die Luftsaugleitung und demzufolge auch in den Vakuumkessel und in die Kopfstücke der Brunnen eingelassen. Es fällt dann der Wasserspiegel in sämtlichen Brunnen zunächst bis zur Kronenhöhe der Überfälle und stellt sich dann nach und nach in gleiches Niveau mit dem äußeren Grundwasserspiegel.

Sobald aber das Wasser bis zur Überfallkrone gefallen ist, ist die Verbindung des Brunnens mit dem Heberrohr aufgehoben. (Vergl. auch Fig. 7, Tafel IV). Der Überfall ersetzt nun, aber mit viel größerer Betriebssicherheit und minimalem Widerstande, die Rücklaufkappe, indem er verhütet, daß das Wasser der Heberleitung sich in den Brunnen entleert. Die Leitung bleibt vielmehr ganz mit Wasser gefüllt stehen, und zwar nicht unter Vakuum, wodurch Luft durch eventuelle Undichtigkeiten angesogen werden könnte, sondern unter dem Druck der Atmosphäre. Bei Wiederinbetriebnahme findet man also die ganze Heberleitung bereits entlüftet und mit Wasser gefüllt vor und braucht nur allein noch die Luft aus den oberen Teilen der Brunnen abgesogen zu werden. Es versteht sich von selbst, daß hierdurch die jedesmalige Ingangsetzung sehr beschleunigt wird, und daß sie mit viel größerer Sicherheit und weniger Kosten wie bei der bisherigen Konstruktion stattfinden kann, wobei jedesmal die ganze Luftmenge aus der Heberleitung wieder abgesogen werden mußte.

Weshalb die Krone von allen Überfällen einer Hälfte in gleiche Höhe gelegt worden sind, erklärt sich nun ohne weiteres, denn wenn einer dieser Überfälle etwas tiefer wie die anderen reichte, so würde die Heberleitung sich über sie in den betreffenden Brunnen und dadurch weiter in den Boden entleeren bis zur Krone dieses Überfalles. Man muß hierbei bedenken, daß, sobald die Luft zugelassen und die Brunnen dadurch ausgeschaltet sind, kein Grund mehr vorhanden ist, weshalb der Wasserspiegel sich in der Heberleitung, und in deren Anschlußröhren an die Brunnen, nicht wagerecht stellen sollte.

Es ist nun freilich hierbei vorausgesetzt, daß der Grundwasserspiegel bei allen Brunnen tiefer wie die Kronenhöhe der Überfälle sein würde. Das wird während des Betriebes auch bald eintreffen. Der Grundwasserspiegel soll ja nach und nach tiefer abgepumpt werden, um, während man in dieser Weise in den ersten Jahren aus einem Vorratsbassin schöpft, nach und nach das gedachte größere Niederschlagsgebiet beherrschen zu können,

Beim Anfange des Betriebes würde obige Voraussetzung aber nicht ganz zutreffen, wie aus Fig. 82 (i. Text) zu ersehen ist.

Die Überfälle der südlichen Hälfte reichen bis 11,80 m +, während die mittlere ursprüngliche Grundwasserlinie bei Z³² bis Unterkante-Luftrohr = 12,30 m + reicht und dann regelmässig fällt bis unter 11,80 m + bei Z²². Es wäre also wahrscheinlich, daß in der ersten Betriebszeit Wasser aus den 8 Brunnen Z²³ Z²⁴ Z²⁵ Z²⁸ Z²⁹ Z³⁰ Z³¹ und Z³² während des Stillstandes der Pumpmaschinen in die übrigen 22 Brunnen dieser Hälfte übergehebert würde, und von dort aus in umgekehrter Richtung, also statt von aussen nach innen von innen nach aussen, die Brunnenwandung und das Umhüllungsmaterial durchströmen würde, um sich in das Grundwasser und teilweise weiter in die Donge zu entleeren.

Derartige Verhältnisse sind für das Brunnenfiltermaterial und die sich ringsum gelagerten Bodenschichten möglichst zu vermeiden.¹⁾

Auch zu diesem Zwecke ist der Sammelbrunnen auf 11,80 m + mit einem Überlauf nach der Donge versehen. (S. Tafel V, Fig. 2.)

Solange wie die Grundwasserstände zwischen Z²³ und Z³² höher blieben wie diese Cote, konnte man den Absperrschieber der Z-Leitung im Sammelbrunnen während des Stillstandes der Maschinen geöffnet lassen, bis der Grundwasserspiegel sich dort bis unter 11,80 m + gesenkt hatte. Bei der östlichen Hälfte der Anlage kam diese Frage kaum in Betracht, weil die Erhebung des Grundwassers über die Kronenhöhe der Überfälle = 12,20 m + sich dort nur über eine geringe (bei Brunnen O²¹ bis O²⁵) und auch nur über eine kleine Breite zeigt, während die Erhebung selbst nur 0,15 m betrug.

Der Wunsch, das Überheben von dem einen Brunnen in den anderen zu vermeiden, ist auch der Grund weshalb die Anlage beim Stillstande der Pumpmaschinen, nicht unter Vakuum stehen bleiben soll, wie dieses bei einigen anderen Anlagen wohl üblich ist.

Zu der praktischen Ausführung der Anlage ist noch zu bemerken, daß für jeden Brunnen besonders ein Querprofil aufgezeichnet wurde, wovon die Querschnitte in Fig. 3 bis 6, Tafel IV nur einige Beispiele oder Typen zeigen. Sämtliche Brunnen-schächte haben genau dieselbe Höhe im lichten erhalten. Sie sind aber nicht, wie die Kopfstücke einer Hälfte, in derselben Höhe + A. P. aufgestellt, sondern je nach der Höhe des Grundwassers und des Geländes höher oder tiefer derart, daß sie einerseits nicht zu tief in das Grundwasser und andererseits nicht zu hoch über die Erde heraus kamen. Als mindest erforderliche Grunddeckung für die Luftleitung wurde 0,60 m angenommen, vorausgesetzt, daß Fuhrwerkverkehr darüber ausgeschlossen war. An vielen Stellen mußte zu dem Zwecke besonders ein Damm aufgeworfen werden, ebenso wie zur Deckung der Heberleitung, wofür ein Mindestmaß von 1 m galt. Daß der dafür erforderliche Sand fast überall an Ort und Stelle sehr billig zu haben war, kam mir hierbei zu statten.

Wo die Luftrohrleitung keine genügende Erddeckung bekommen konnte, wie beim Düker durch die Donge, wurde sie durch eine Umkleidung mit Korkstein gegen äussere Temperatureinflüsse geschützt und mit dieser Bekleidung zusammen in ein gufseisernes Umhüllungsrohr verlegt. (Fig. 8, Tafel IV.)

¹⁾ Es ist ja allen Ingenieuren, die mit Sandfilter für Flufswasser zu tun gehabt haben, wohl bekannt, mit welcher Vorsicht man verfahren muß, wenn man ein Sandfilter in umgekehrter Richtung füllen oder durchspülen will. Dabei kann man noch sehen, was man macht. Im Boden ist das aber unmöglich, und deshalb sollte man es unterlassen.

Die Anlage der Rohrleitungen im Sammelbrunnen zeigen Fig. 1, 2 und 4 von Tafel V.

Aus dem Horizontalschnitt Fig. 2 sieht man, wie die jetzt verlegten sowohl wie die zukünftig noch zu legenden Heberrohre in den Sammelbrunnen münden. Später wird sich daraus eine ganz symmetrische Anlage ergeben.

Die Weite der östlichen Heberleitung ist unmittelbar vor dem Brunnen von 500 auf 450 mm l. W. reduziert, um Platz zu sparen und im Brunnen dieselben Modelle wie für die Z-Leitung gebrauchen zu können.

Von diesen beiden Leitungen dürfen, wie früher erklärt, die folgenden täglichen Wassermengen erwartet werden:

Z(südliche) Leitung	30 Brunnen	×	9 cbm	×	15 Std.	=	4050 cbm
O(östliche) »	jetzt 30	»	×	9 »	×	15 »	= 4050 »
»	nach						
Erweiterung mehr	10	»	×	9 »	×	15 »	<u>= 1350 »</u>

Zusammen: 9450 cbm.

Die Gesamtanlage soll erweitert werden können bis 15 000 Tages-cbm Nutzleistung oder einer Leistung der Brunnen- und Heberanlage von 15 000 cbm + 8% für Verluste und Sicherheit = 16 200 cbm und muß daher durch neue Strecken noch erweitert werden können mit 6750 »

Für diese späteren Brunnenanlagen sind vorläufig zwei Landwege innerhalb der Gemarkungsgrenze von Tilburg vorgesehen und zwar eine in der westlichen (W) Richtung in der sogenannten Gilzebaan (Fig. 77 i. Text) und eine in der südöstlichen (ZO) Richtung, d. i. östlich von und ungefähr parallel zu der Donge.

Diese Richtungen werden voraussichtlich ausreichende Gelegenheit bieten, um über das jetzt projektierte Draingebiet hinaus neue Drainflächen zur Wassergewinnung heranzuziehen.

Die Abschließung der Heberrohre am unteren Ende erfolgt durch gewöhnliche vertikal gestellte Absperrschieber. Zur Bedienung derselben sind auf dem Holzbelag des Sammelbrunnens gußeiserne Säulen mit Handrad und Scheibenzeigerwerk aufgestellt, welche in Fig. 5, Tafel V in größerem Maßgabe gezeichnet sind.

Die Luftsaugleitungen sind an denselben Stellen wie die Heberleitungen aber oberhalb des Bodenbelags in den Sammelbrunnen eingeführt, wie am besten aus Fig. 4, Tafel V ersichtlich. Sie sind dort mittels gußeiserner Kreuzstücke nach unten hin verbunden mit den Kniestücken der Heberrohre, wovon sie mittels Schraubventilen abgeschlossen werden können, und nach oben hin mit den zugehörigen Vakuumkesseln.

Diese letzten Verbindungsleitungen sind so hoch über den Bohlenbelag des Brunnens hinaufgeführt, daß man bequem darunter durch passieren kann. Jede Luftleitung ist im Grundriß (Fig. 3, Tafel V) dann so gebogen, daß ihre Mittellinie durch den Mittelpunkt der Schiebersäule des zugehörigen Heberrohres führt. Genau vertikal über diesem Mittelpunkte ist in die Luftleitung ein Dreiweghahn angebracht, der in Fig. 5, Tafel V sowohl im Vertikal- wie im Horizontalschnitt gezeichnet ist. Dieser Hahn wird von unten gedreht durch eine Spindelstange, deren Zapfen mitten im Handrade des Schiebers gelagert ist. Mit dieser Stange ist am unteren Ende ein Hebel fest verbunden. Dieser Hebel ist mit einem herabhängenden Zeiger versehen, der auf einer Scheibe, welche fest mit dem Kopfe der Schiebersäule verbunden ist, anzeigt, ob der Dreiweghahn zu- oder aufgedreht ist.

Der Hahn heisst zu, wenn dadurch nur die Verbindung des Vakuumkessels mit der Luftsaugleitung hergestellt ist, und auf, wenn er so gestellt ist, dass diese Verbindung unterbrochen und die atmosphärische Luft frei in die Luftsaugleitung eintreten kann. Der Vakuumkessel ist dann von der Luftsaugleitung und der ganzen Brunnen- und Heberleitung abgeschlossen.

Die genannte Zeigerscheibe an der Schiebersäule enthält nun in einer deutlichen Aufschrift den Befehl, dass nach Einstellen des Pumpens zuerst der Schieber zuge dreht und dann der Lufteinlasshahn sofort geöffnet werden muss.

Wie bereits früher ausführlich erklärt, wird durch die erste Handlung erreicht, dass die Heberleitung ganz mit Wasser gefüllt bleibt, und durch die zweite Handlung vermieden, dass ein Überhebern des Wassers von dem einen Brunnen nach dem anderen stattfinden kann.

Um zu verhüten, dass durch die Ansaugung der Luft Federn, Fliegen oder Staub mit in die Luftsaugleitung gerissen werden, ist das kupferne Lufteinlassrohr derart gebogen, dass die Mündung nach unten gekehrt ist, während diese wie eine Brause durch eine Platte mit feinen Löchern abgeschlossen wurde.

Die beiden Vakuumkessel sind unter sich durch ein besonderes Luftrohr verbunden. (Fig. 3, Tafel V.) Der Zweck davon ist, mittels Vakuumkessels Nr. 1, der für die O-Richtung bestimmt ist und das Wasser am höchsten ansaugen muss, mithin das grössere Vakuum erhält, den Vakuumkessel Nr. 2 der Z-Richtung abzusaugen zu können. Man braucht in dieser Weise mit den Luftpumpen nur den einen Kessel abzusaugen.

Dass die Vakuumkessel sehr wichtige Hilfsmittel und Kontrollapparate für den Betrieb der ganzen Brunnen- und Heberanlage sind, wird Ihnen aus allem Vorhergehenden klar geworden sein. Es ist daher auch erwünscht, dieselben leicht zugänglich zu machen und möglichst zweckmässig mit Wasserstandgläsern, Pegelskala, Vakuummeter und dergl. auszustatten, damit der Betriebsführer sofort übersehen kann, was in jeder der beiden Hälften der Anlage vor sich geht.

Hierfür ist bei der Tilburger Anlage in der ausgiebigsten Weise Sorge getragen. Es würde hier aber zu weit führen, auf die Einzelheiten davon einzugehen.

Ich darf aber nicht schliessen, ohne Ihnen noch etwas über die angewandten Mittel, um das Vakuum zu erzeugen, mitgeteilt zu haben. Diese sind zweierlei Art. Das eine Mittel bezweckt besonders, bei der ersten Inbetriebsetzung die ganze Heberleitung luftleer zu saugen, sowohl wie bei grösseren Undichtigkeiten den Betrieb zeitweise aufrecht erhalten zu können. Das andere Mittel bezweckt, die Luft abzusaugen, welche durch die unvermeidlichen kleinen Undichtigkeiten in die Anlage eintritt, nach dem Vakuumkessel entweicht und dort ein Fallen des Wasserspiegels unter die gewünschte Höhe verursacht.

Für dieses letztere und selbstverständlich kleinere Mittel ist in Tilburg das Vakuum des Kondensators der Dampfmaschinen gewählt worden, das sich, wie bereits oben beschrieben, ausgezeichnet eignet, um selbsttätig den Wasserstand im Vakuumkessel konstant zu erhalten.

Für das erste und grösste Mittel sind in Tilburg einfach wirkende vertikale Luftpumpen gewählt worden, wie sie vielfach bei Schiffsmaschinen für die Erzeugung der Luftleere in den Kondensators angewandt werden und auf Tafel V in Fig. 1, 2 und 3 zu sehen sind.

In den letzten beiden Figuren ist der Platz der Luftpumpen durch einen Buchstaben *L* angedeutet.

Die dort gezeichneten Dampfmaschinen sind sog. Brunnenmaschinen, welche mittels Riemen die Zentrifugalpumpen treiben und das Wasser aus dem Sammelbrunnen nach der Enteisungsanlage fördern.

Diese Maschinen sind Compoundmaschinen, welche keine eigenen Kondensoren haben, und können dann auch ohne Kondensation arbeiten. Die Kondensoren der Turmpumpmaschinen, das sind die, welche das Wasser nach dem Wasserturm fördern, sind aber absichtlich so konstruiert, daß sie auch für die Brunnenmaschinen mitbenutzt werden können, was dann auch in der Regel stattfindet.

Die beiden Luftpumpen einer Brunnenmaschine stehen also ganz zur Verfügung für das Absaugen der Luft aus der Heberanlage. Nötigenfalls wird dafür die Reservemaschine in Betrieb gesetzt, während, solange eine Luftpumpe für den Zweck genügt, dieselbe Maschine, welche die Zentrifugalpumpe treibt, zu gleicher Zeit das Abpumpen der Luft übernehmen kann.

In dem Betriebe hat sich nun die Sache so gestaltet, daß nur morgens bei der Inbetriebsetzung der Anlage, wobei in der Regel mit den Brunnenmaschinen allein angefangen wird und die Turmmaschinen also noch nicht laufen, diese somit noch kein Vakuum im Kondensator haben, eine Luftpumpe angesetzt wird, um die Vakuumkessel unter genügendes Vakuum zu bringen. Sobald wie dieses der Fall, und die Zentrifugalpumpen in Gang gesetzt sind, braucht man die Luftpumpe nicht mehr arbeiten zu lassen. Wenn die Turmaschine erst läuft, so verfügt man über das Vakuum des Kondensators, doch hat man dieses bis jetzt nur ausnahmsweise nötig gehabt, da es sich herausgestellt hat, daß nach 8- bis 10stündigem Betrieb der Wasserspiegel im Vakuumkessel meistens nur 5 cm gefallen war. Dieses ist der beste Beweis, daß die ganze Anlage in Bezug auf ihre Dichtigkeit nichts zu wünschen übrig läßt.

Die ganze Luftsauganlage ist mitbenutzt worden, um auch die Zentrifugalpumpen sowohl von den Luftpumpen und den Kondensator, wie auch von den Vakuumkesseln aus, luftleer saugen und dadurch in Betrieb setzen zu können.

Die Luft-, Saug- und Druckleitungen der Luftpumpen sind aus den Fig. 1 und 2 Tafel V ersichtlich.

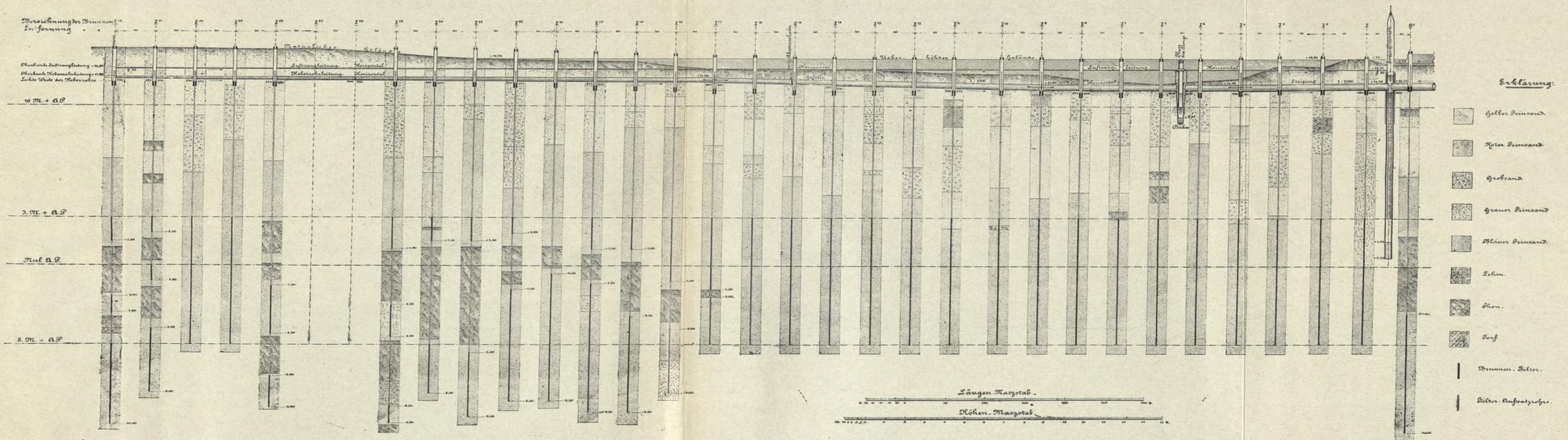
Meine Herren! Hiermit bin ich am Schlusse meines Vortrages angelangt und spreche den Wunsch aus, daß es mir gelungen ist, Ihnen ein klares Bild zu geben von der Tilburger Brunnen- und Heberanlage, welche sich wie gesagt bis heute sehr gut bewährt hat. Es würde mir zu großer Befriedigung gereichen, wenn es mir dabei auch gelungen wäre, Ihnen einige für Sie neue Gesichtspunkte und Einzelheiten darzubieten und diese für Sie als Kollegen einiges Interesse haben würden.

Ich hoffe, daß ich Ihre Geduld nicht zu viel in Anspruch genommen habe und danke Ihnen für die Aufmerksamkeit, welche Sie mir geschenkt haben.

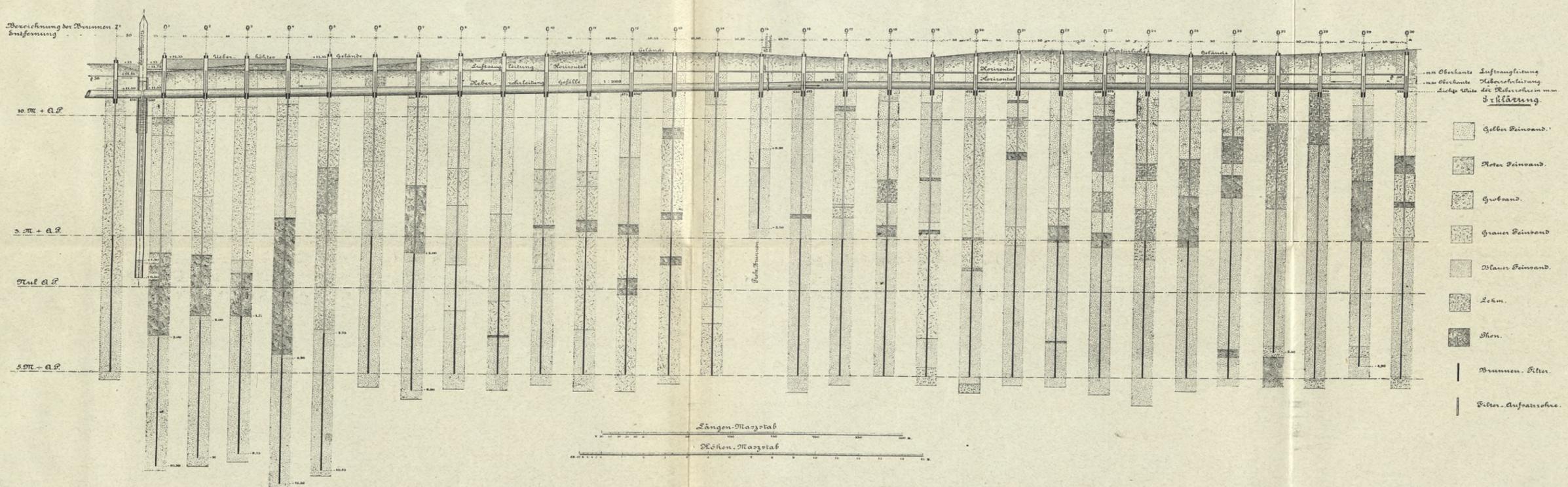


Halbertsma, Das Wasserwerk der Stadt Tilburg.

Südliche Hälfte.



Östliche Hälfte.



Längenprofil der Brunnen- und Heberrohranlage mit Angabe der Bodenschichten.

Masstab der Längen 1 : 6000, der Höhen 1 : 240.



Halbertsma, Das Wasserwerk der Stadt Tilburg.

Fig. 1.
Längenschnitt über Brunnen 0².
Mafsstab 1:60.

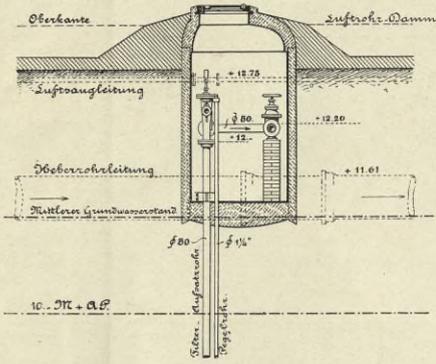


Fig. 2.
Horizontalschnitt durch Brunnen 0².
Mafsstab 1:60.

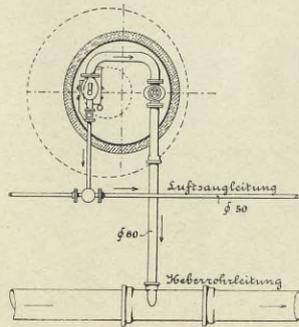
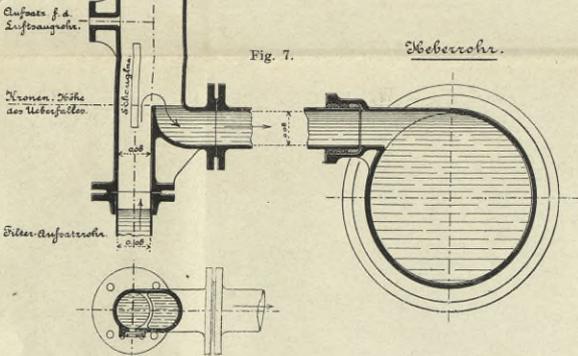


Fig. 7.
Heberrohr.



Querschnitt durch Brunnen-Kopfstück und Heberrohr.
Mafsstab 1:12.

Fig. 3.
Querschnitt durch Brunnen 0².

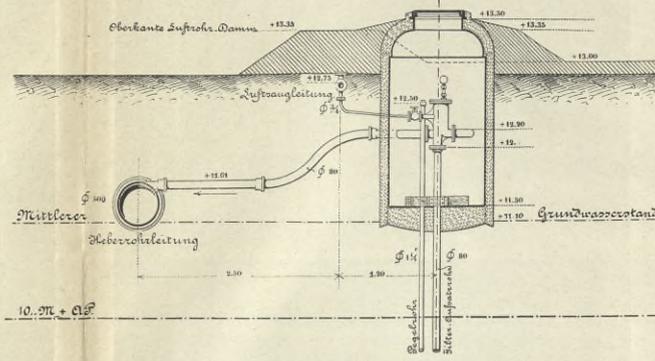


Fig. 5.
Querschnitt durch Brunnen Z¹⁵.
Mafsstab 1:60.

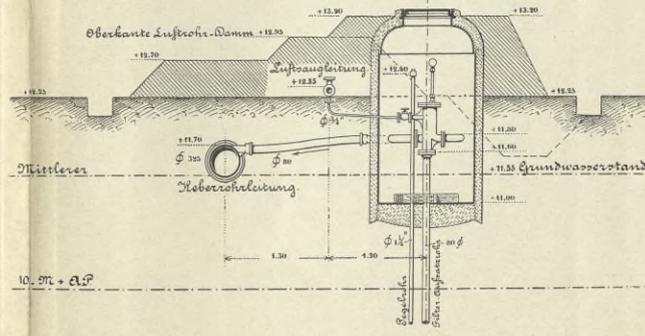
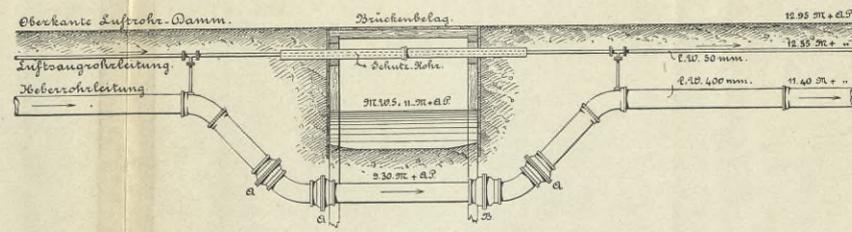


Fig. 8.
Düker durch den Dongeluf.
Mafsstab 1:120.



M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
M	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

Einzelheiten der Brunnen- und Heberrohranlagen.

Fig. 4.
Querschnitt durch Brunnen 0¹⁵.
Mafsstab 1:60.

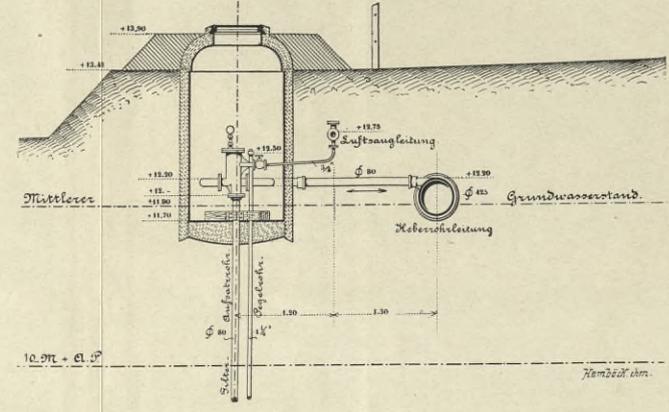


Fig. 6.
Querschnitt durch Brunnen Z².
Mafsstab 1:60.

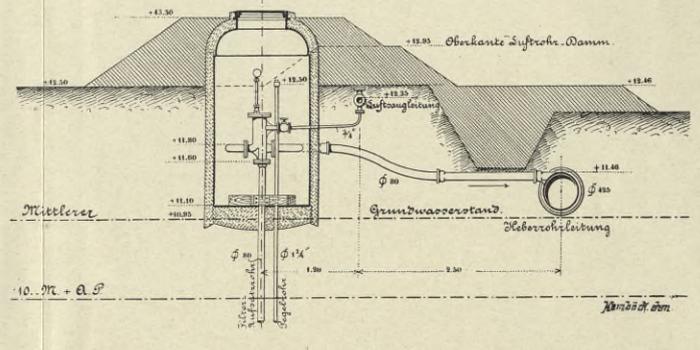


Fig. 9.
Sicherheitsmuffen-Verbindungen für den Düker.
Mafsstab 1:6.

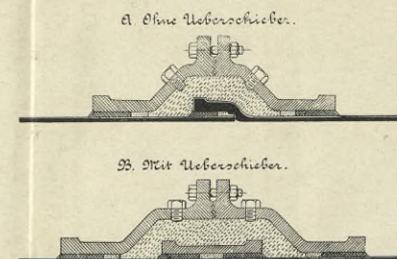


Fig. 10.
Schlitze des Brunnenfilters.
Mafsstab 1:24.



■ Blei ▨ Kupf ▩ Portland-Cement.

Halbertsma, Das Wasserwerk der Stadt Tilburg.

Fig. 1.

Längenschnitt A.B.

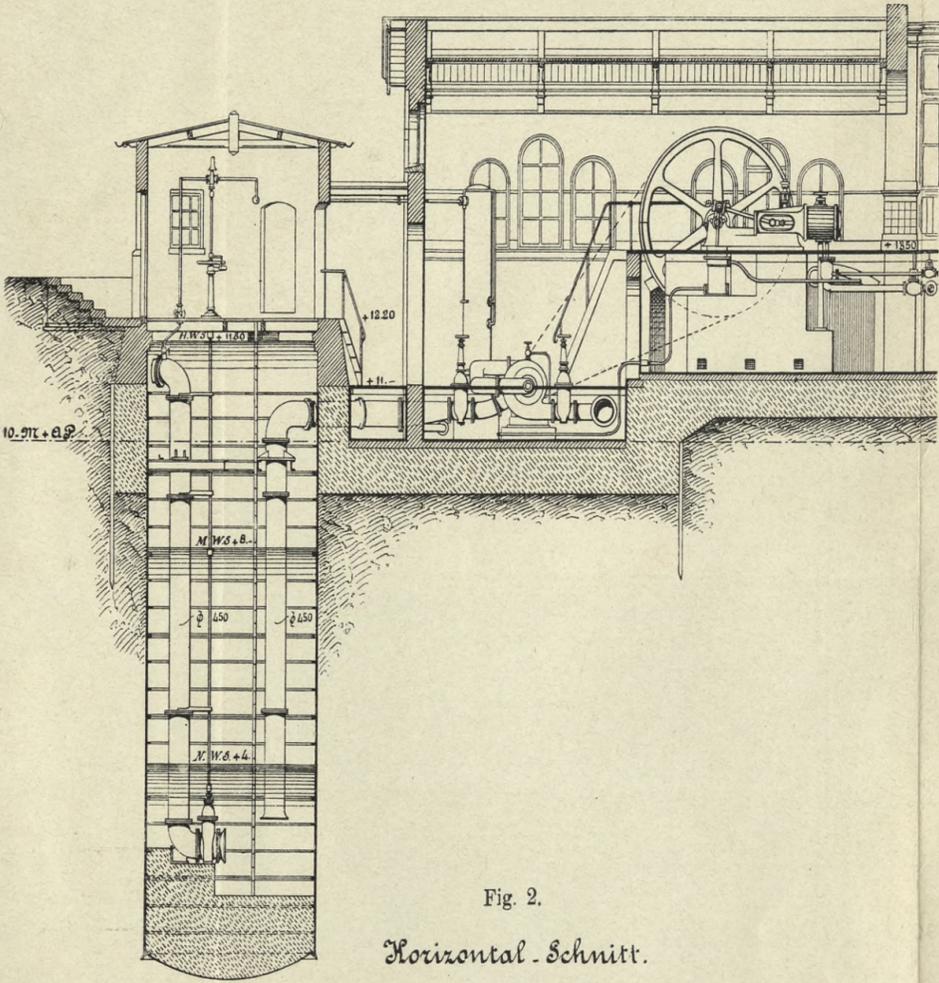


Fig. 2.

Horizontal - Schnitt.

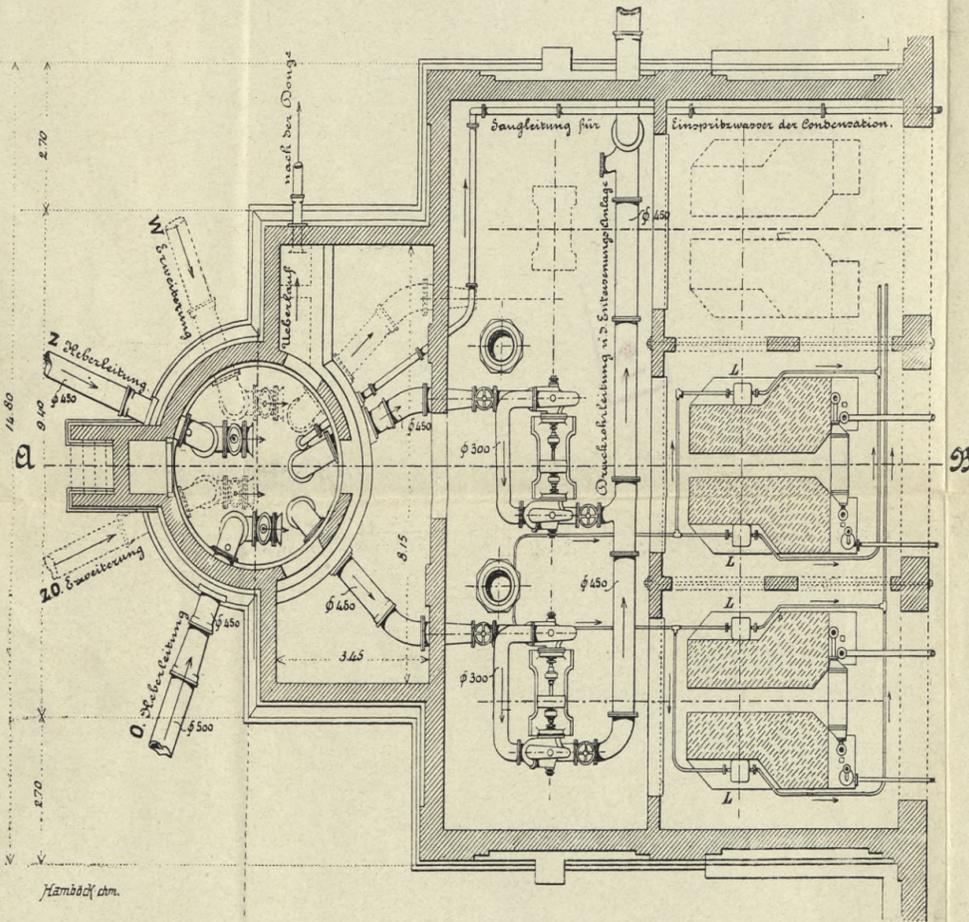


Fig. 4.

Querschnitt des Sammelbrunnens.

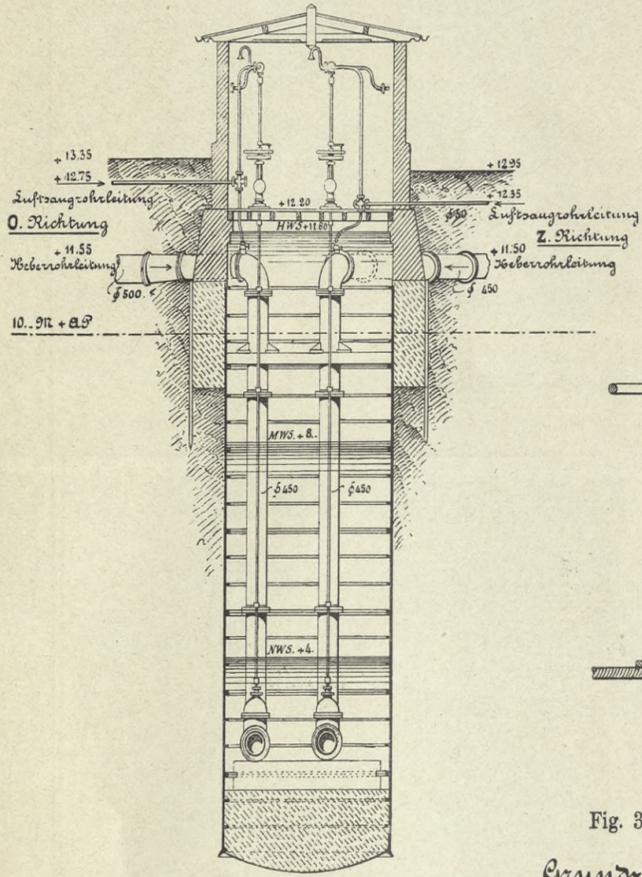


Fig. 5.

Schiebersäulen u. Lufteinlasshähne im Sammelbrunnen.

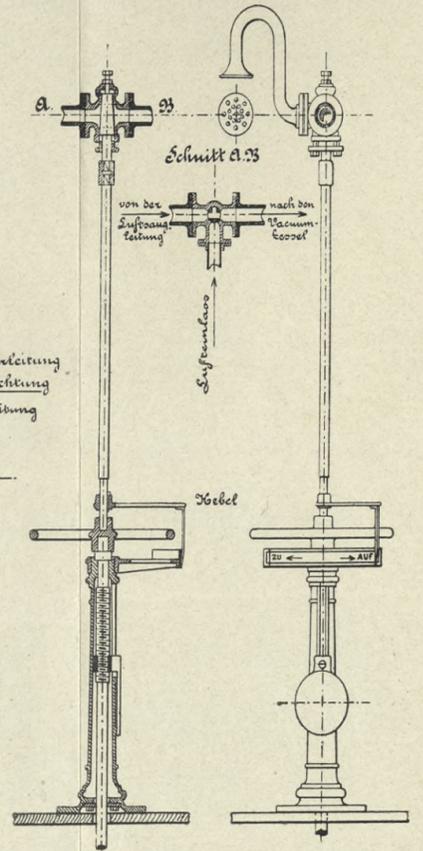
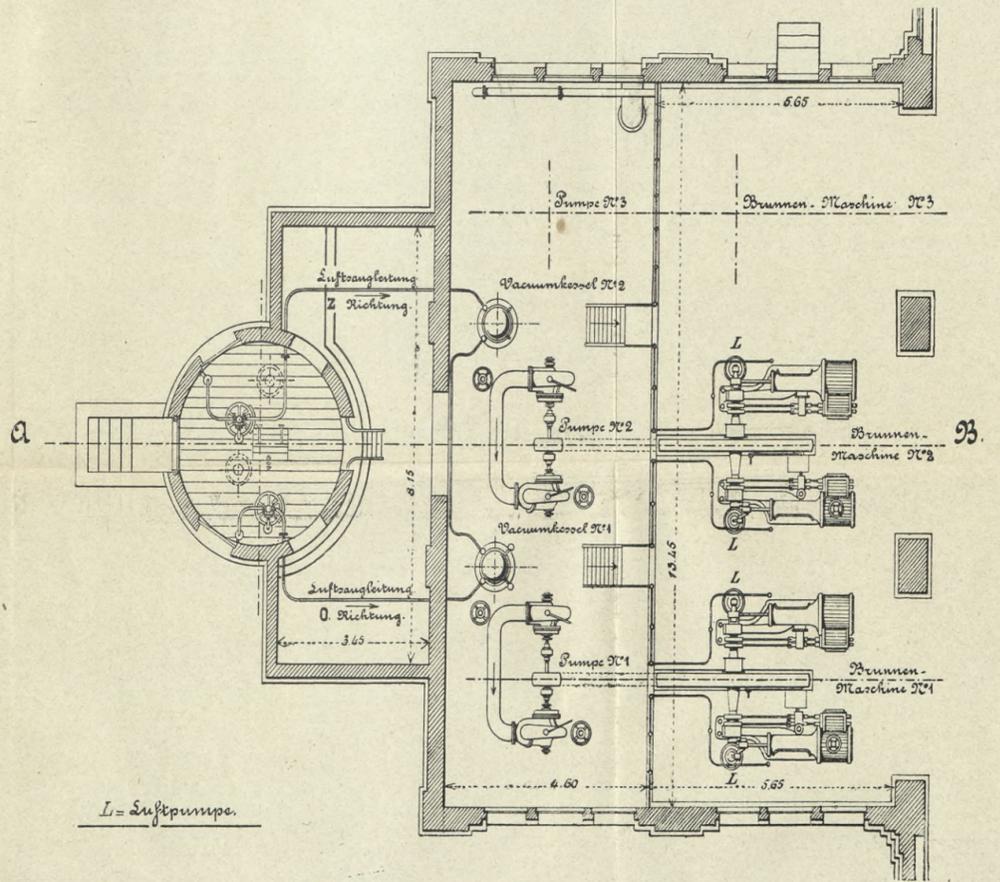


Fig. 3.

Grundriss.



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 50 100 cm

Sammelbrunnen, Pumpenkeller und Maschinenraum.



S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33431

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305626