[Aus dem hygienischen Institut zu Berlin.]

Versuche über die Leistungen der Sandfiltration.

Von

Dr. **Carl Fränkel,**

Privatdocenten und Assistenten am hygienischen Institut zu Berlin.

C. Piefke,

und Betriebsingenieur der städtischen Wasserwerke zu Berlin.

(Hierzu Taf. I u. II.)

In den ersten Monaten dieses Jahres (1889) wurde Berlin durch eine Typhusepidemie von sehr erheblichem Umfange heimgesucht. Während der Typhus abdominalis im Laufe der letzten anderthalb Decennien, sowohl was die Häufigkeit der Erkrankungen, als namentlich was die Höhe der Mortalität betrifft, eine fortschreitende Abnahme erfahren hatte, so dass er in der Sanitätsstatistik der städtischen Bevölkerung nur noch eine verhältnissmässig untergeordnete Rolle spielte, kamen von Mitte Januar bis gegen Mitte April d. J. nahezu 700 einzelne Fälle zur amtlichen, polizeilichen Kenntniss. Nach den Zusammenstellungen der Sanitäts-Commission gelangten zur Anzeige:

Januar 1889 64 Fälle, darunter 15, deren Beginn in den Monat
December 1888 fällt.

Februar „ 271 „

März „ 258 „

April „ 95 „

Die Zahl der thatsächlichen Erkrankungen ist hiermit bei den unvermeidlichen Lücken und Fehlern unseres Meldewesens gewiss nur zu einem Theile wiedergegeben, die Ausdehnung der Seuche aber jedenfalls als eine recht beträchtliche zu erkennen.

Auffallend ist der Gegensatz, in welchem die beiden Monate Februar und März zur unmittelbar vorangehenden und folgenden Zeit stehen. Erhob sich der Typhus im Januar nur wenig über das gewöhnliche Mittel.

so schwoh er im Februar fast auf das vierfache, im März sogar noch höher an, um dann im April wieder steil abzusinken und im Mai den durchschnittlichen Stand zu erreichen.

Musste diese Erscheinung schon an und für sich die Aufmerksamkeit auf sich lenken, so war es noch mehr die eigenthümliche Verbreitung der in Rede stehenden Epidemie, welche zu Erörterungen geradezu herausforderte. In der auffallendsten Weise zeigten sich nur die östlichen, nordöstlichen und südöstlichen Bezirke, die Königstadt, Neu-Kölln, die Louisestadt und das Stralauer Viertel betroffen, während der ganze Westen und Norden, also die Friedrichstadt, die Friedrich-Wilhelmstadt, das Schöneberger Revier, der Wedding und Gesundbrunnen fast gar nicht berührt wurden. Neben diesen beiden Gruppen von Stadtbezirken liess sich noch eine dritte unterscheiden, in welcher der Typhus zwar eine gewisse Zunahme erfuhr, aber doch eine irgendwie bemerkenswerthe Höhe nicht erreichte. Für dieses Uebergangsgebiet ist bezeichnend seine vorwiegend centrale Lage zwischen den beiden anderen.

Auf dem beigegeführten Plane von Berlin (Taf. I) sind der bequemeren Uebersicht halber die drei unterschiedenen Gebiete durch abgestufte Farbentöne kenntlich gemacht. Die vom Typhus befallenen Stadttheile sind roth, die mässig berührten schwach röthlich gehalten, die ganz verschont gebliebenen zeigen die weisse Farbe des Grundes. Wir ersehen daraus, dass die Epidemie nicht in mehreren von einander unabhängigen Centren auftrat, sondern dass sie sich in einem vollständig geschlossenen, scharf umschriebenen, zusammenhängenden Gebiet verbreitete. Die Annahme lag nahe, dass dieses letztere unter dem Einflusse einer besonderen Schädlichkeit gestanden, dass es den Ansteckungsstoff von einer gemeinsamen Ursprungsstelle bezogen habe, die für die nicht betroffenen Stadttheile ausser Wirkung geblieben war.

Bei den herrschenden Anschauungen über die Art der Uebertragung des Typhusgiftes war hier vor allen Dingen an das Trinkwasser als an die Quelle der Infection zu denken. In der That scheinen auch auf den ersten Blick die Verhältnisse dieser Vermuthung Recht zu geben. Stellen wir die Beziehungen der verschiedenen Stadtbezirke zu der Vertheilung des städtischen Trinkwassers fest, so ergiebt sich sofort, dass die Gruppe I nur filtrirtes Spreewasser von der Hebestelle vor dem Stralauer Thor empfängt dagegen Gruppe II ausschliesslich mit Tegeler Seewasser versorgt wird. Die dritte Gruppe ist die Zone des Mischwassers, in welchem bald die eine, bald die andere Wasserart überwiegt. Diese Vertheilungsweise des Berliner Leitungswassers bleibt im Wesentlichen stets dieselbe, wie sich am deutlichsten bei den regelmässigen Untersuchungen zeigt, welche das hygienische Institut der Uni-

versität Berlin an Wasserproben aus verschiedenen Stellen des Rohrnetzes in 14 tägigen Zwischenräumen zur Ausführung bringt. Der Chlorgehalt des Tegeler Seewassers weicht nämlich so bedeutend von demjenigen des von Stralau geförderten Spreewassers ab, dass danach in jedem einzelnen Falle eine sofortige sichere Diagnose über die Art und Herkunft des betreffenden, gerade vorliegenden Wassers und also eine genaue Abgrenzung der beiderseitigen Versorgungsgebiete möglich wird. So wurde auch zur Zeit dieser Typhusepidemie wie immer im ganzen Osten ein hoher, im Westen und Norden ein niedriger, im Centrum der Stadt ein mittlerer Chlorgehalt vorgefunden, woraus mit Bestimmtheit für jeden Stadtbezirk hervorging, von wo er sein Wasser erhalten hatte.

Zum Ueberfluss sind auf dem beigefügten Stadtplan noch die hauptsächlichsten Vertheilungsröhren der städtischen Wasserleitung eingetragen, an welchen man den Verbleib des von beiden Bezugsquellen gespendeten Wassers genau verfolgen kann. Wir ersehen aus der Karte, dass vom Stralauer Werke auf dem rechten Ufer der Spree zwei dicht nebeneinanderliegende Hauptstränge ausgehen und das filtrirte Spreewasser der Stadt zuführen. Während nun der sogenannte Nordstrang von seinem Ursprunge an die im Nordosten gelegenen Stadttheile speist, erfährt der ihn anfänglich begleitende Südstrang erst dann eine stärkere Anzapfung, wenn er bei der Schillingsbrücke die Spree überschritten hat und in den Bezirk Nr. VI „Luisenstadt und Neu-Kölln“ eingetreten ist. Dieser ohne Zweifel vorwiegend mit Spreewasser versorgte Stadttheil ist auf dem linken Spreeufer der einzige, in welchem der Typhus den höchsten der auf der Karte unterschiedenen Grade erreicht. Die rückwärtig davon gelegenen, der südlichen Stadthälfte angehörenden Bezirke Nr. Va und Vb „Luisenstadt jenseits, westlich und östlich“, empfangen, obwohl sie sich gegenüber dem Wasserwerk vor dem Stralauer Thor befinden, ihr Wasser zum grossen Theil von einem die Stadt im Süden umfassenden Tegeler Hauptstrang und ihre Betheiligung am Typhus war eine ungleich geringere.

Dem unbefangenen Beurtheiler muss es danach geradezu in die Augen springen, wie alle vom Typhus schwerer betroffenen Bezirke sich um das Stralauer Werk wie um einen Mittelpunkt gruppiren und wie andererseits das Einströmen von Tegeler Wasser mässigend auf die Verbreitung der Krankheit eingewirkt hat. Aus diesen Thatsachen folgt der Schluss, dass sich der Typhus abdominalis auf das Versorgungsgebiet des Stralauer Wasserwerkes beschränkt, über dieses aber auch nach seiner ganzen Ausdehnung verbreitet hat.

Mit einem etwaigen Einfluss des Grundwassers dagegen liess sich die hier bemerkte Erscheinung schlechterdings nicht in Zusammenhang bringen. Berlin liegt bekanntlich in einer muldenförmigen Thalsenke.

welche dem alten Bett der Spree entspricht. Im Norden und im Süden wird diese Vertiefung von höheren Partien in mehr oder minder steilem Anstiege eingerahmt. In Folge dessen ordnen sich auch die Grundwasserstände in mehreren etagenartig übereinanderliegenden, mit dem Stromlaufe wesentlich parallelen Zonen an; die auf der Karte mit blauer Farbe eingetragene Linie der tiefsten Grundwasserstände ist eine sprechende Illustration für diese Thatsache.

Hätte sich die Verbreitung des Typhus zum Grundwasser in irgend einer Beziehung befunden, so hätte man also wohl erwarten dürfen, dass die eben erwähnten Verschiedenheiten dabei irgendwie zum Ausdruck gekommen wären. Es würde die Vertheilung der Epidemie dann beispielsweise Differenzen im Verhalten der südlichen und nördlichen äusseren Bezirke zu den mittleren, längs der Spree, auf beiden Ufern derselben gelegenen Stadtvierteln gezeigt haben. Aber nicht nur, dass hiervon keine Rede war, es machte sich sogar das gerade Gegentheil geltend. Nicht Norden und Süden oder Centrum und Peripherie, sondern Westen und Osten standen sich schroff gegenüber, und in dem letztgenannten Gebiete waren gleichmässig alle Theile ergriffen, unabhängig davon, ob sie dem Flusslaufe näher oder entfernter lagen, hohes oder niedriges Grundwasser hatten.

Aber selbst wenn wir uns über diese Schwierigkeit hinwegsetzen und sagen wollen, dass ja hier nicht dauernde, immer bestehende Unterschiede in der Lagerung des unterirdischen Wassers, sondern zeitliche Schwankungen vor allen Dingen in Betracht kämen und das eigentlich Ausschlag gebende Moment darstellten, so ist die beobachtete Differenz zwischen dem Westen und Osten doch völlig unbegreiflich. Beide besitzen ganz die gleichen Grundwasserverhältnisse, welche in beiden Theilen den gleichen Einflüssen unterliegen und sich erfahrungsgemäss ganz in der gleichen Weise verändern — wie erklärt der Grundwasserfanatiker von der strengen Observanz wohl diesen Zwiespalt der Natur?

Das Trinkwasser dagegen musste in Folge der vorhin erwähnten Beziehungen von vornherein den Verdacht auf sich lenken, und auf Grund dieser Sachlage hob z. B. Virchow in der Sitzung der Berliner medicinischen Gesellschaft vom 19. Juni d. J., in welcher Fürbringer eingehende Mittheilungen über die besprochene Typhusepidemie gemacht hatte, hervor, „wenn man nach einer Ursache (sc. der Epidemie) sucht, wird man nicht umhin können, zu überlegen, ob das Wasser so ganz unbetheiligt gewesen ist.“

Für den gedachten Zusammenhang sprechen aber auch noch einige weitere, weniger bekannte Dinge, die wir hier kurz anführen wollen.

Das Wasserwerk vor dem Stralauer Thor besitzt neben acht offenen Filterbassins drei überwölbte, welche letztere gegen das Zufrieren voll-

kommen geschützt sind und unter allen Umständen während des ganzen Winters betriebsfähig bleiben. Bei den offenen Filtern ist dies leider nicht der Fall. Es bildet sich auf ihnen eine oft sehr starke Eisdecke, welche es wesentlich verhindert, die Filter, sobald sie nicht mehr ordnungsgemäss functioniren, zu reinigen. Gewöhnlich erscheint eine derartige Säuberung im Winter nach einer Betriebsdauer von etwa vier Wochen geboten; dieselbe muss aber bei den offenen Filtern aus dem eben genannten Grunde nicht selten um mehrere Monate hinausgeschoben werden, wenn nämlich die Frostperiode sehr anhaltend ist und ohne nennenswerthe Unterbrechungen verläuft. Für diese Zeit bleibt alsdann der grösste Theil der Filterfläche dem Betriebe entzogen, und die Filtration des auch im Winter sehr unreinen Spreewassers muss zuletzt mit den wenigen bedeckten Filtern allein bewirkt werden. Dabei ist natürlich nicht zu vermeiden, dass diese letzteren unter dem Zwange der Verhältnisse schliesslich ganz ausserordentlich überanstrengt werden, dass man das Wasser durch dieselben geradezu hindurchjagt und mit sehr grossen Filtrationsgeschwindigkeiten arbeitet. Nachdem dieselben beispielsweise schon im Februar d. J. eine Steigerung von 130 auf 160^{mm} erfahren hatten, nahmen sie im März noch weiter zu und erreichten am 12. März sogar die Höhe von 224^{mm} in der Stunde.

Um nicht in allzu grosse Verlegenheit zu gerathen, liess man deshalb im Februar die der Reinigung schon dringend bedürftigen offenen Filter so lange weiter arbeiten, als sie überhaupt noch Wasser zu liefern vermochten. Man fiel aber hierdurch einem neuen Uebelstande zum Opfer. Die bacteriologischen Untersuchungen des Filtrationseffectes haben ergeben, dass die qualitative Leistung eines Filters, ganz abgesehen von der quantitativen, erschlaft, wenn sich sehr grosse Massen von Bacterien an der Oberfläche des Sandes angesammelt haben und auf demselben eine dichte Schlammschicht bilden. Es werden nämlich die Widerstände, welche sich im Filter der Bewegung des Wassers entgegenstellen, hierdurch so vermehrt, dass es nun sehr hoher Drucke bedarf, um überhaupt noch Flüssigkeit durch das in seinen oberflächlichen Poren verlegte Filter hindurchzutreiben. Die auf dem letzteren lastende Wassersäule aber übt jetzt eine mehr oder minder erhebliche Pressung auf die eben erwähnte Schlammhaut aus und drängt einen Theil der in ihr enthaltenen Mikroorganismen in die Tiefe, d. h. in das aus den Filtern ablaufende Reinwasser. Dieser Zeitpunkt tritt natürlich bei der Verarbeitung schlechter Wässer viel früher ein, als bei der Verwendung von gutartigen. Für die offenen Filter des Stralauer Werkes, welche kurz vor Beginn des Wintervierteljahres (Mitte December) zuletzt gereinigt worden waren, war es schon gegen Mitte Januar an der Zeit, die Abräumung der Schlammmassen vorzunehmen.

und wenn dieselben statt dessen noch zwei Monate in diesem Zustande belassen werden mussten, so konnte dies nur unter Preisgabe aller hygienischen Grundsätze und Forderungen geschehen.

Von der stetig zunehmenden Unordnung des Filterbetriebes während des Winters 1888/1889 liefern die Ergebnisse der bacteriologischen Untersuchung, die wir in graphischer Darstellung¹ hier anführen,

ein getreues Abbild. Die Anzahl der entwicklungsfähigen Keime in 1^{cem} Leitungswasser stieg von wenig über 100 im Januar oft auf das Zehnfache im Februar und dann im März noch weiter bis zu der enormen Höhe von 3000 und 4000 an. Interessant ist es, zu sehen, welcher augenblickliche Umschwung sich sofort im April nach Wiedererlangung der gesammten Filterfläche vollzog.

Auch für das Spreewasser selbst hatte die bacteriologische Untersuchung während eben dieser Zeit das Vorherrschen höchst unerfreulicher Zustände nachgewiesen. Die Zählungen ergaben von Mitte Januar bis Mitte März sehr häufig mehr als 100,000 Keime im Cubikcentimeter. Dass durch ein solches Uebermaass die Aufgabe der Filtration nicht eben erleichtert wird, bedarf wohl keiner besonderen Ausführung.

Haben nun die bacteriologischen Befunde bisher zwar keinen unmittelbaren Anhalt für die Möglichkeit einer Verbreitung des Typhus durch das städtische Leitungswasser gegeben, so geht aus ihnen doch mit Bestimmtheit hervor, dass die ungewöhnliche Zunahme dieser Krankheit im

¹ Einen Theil der für diese Curve benutzten Zahlen verdanken wir der Liebenswürdigkeit des Hrn. B. Proskauer.

Versorgungsgebiete des Stralauer Wasserwerkes in eine Zeit fiel, in der erstens das Spreewasser an sich ausserordentlich stark verunreinigt war, und zweitens das daraus hergestellte Leitungswasser nur sehr mangelhaft filtrirt genannt werden konnte.

Dieses auffällige Zusammentreffen steigerte den Argwohn gegen das Trinkwasser in hohem Grade, und schon gegen Mitte Mai ertheilte uns Herr Geheimrath Koch daher den Auftrag, durch bestimmte Versuche zu ermitteln, ob sich die Frage nicht experimentell einer Entscheidung näher führen lasse.

Da zu der Zeit, wo die hiermit gestellte Aufgabe an uns herantrat, der Typhus selbst bereits längst wieder seinen gewöhnlichen Stand erreicht hatte, so konnte eine directe Untersuchung des Wassers auf das etwaige Vorkommen von Typhuskeimen keinen Erfolg versprechen, ganz abgesehen von den in der Natur der Sache liegenden Schwierigkeiten, mit welchen ein derartiges Beginnen stets zu kämpfen hat, und die wir hier wohl nicht weiter zu erörtern brauchen. Die Dinge verhalten sich ja in der Regel so wie auch in diesem Falle. Durch den Ausbruch einer Epidemie wird die Aufmerksamkeit der Forschung auf das Wasser hingelenkt; aber zwischen Ursache und Wirkung liegt meist eine so erhebliche Zeit, dass wenn die letztere in Erscheinung tritt, die erstere schon als solche nicht mehr nachweisbar ist.

Wir mussten uns deshalb darauf beschränken, zu prüfen, ob das von den Wasserwerken gelieferte Trinkwasser, d. h. also das auf dem Wege der Sandfiltration gesäuberte und dann in geschlossenen Röhren zu den einzelnen Entnahmestellen geführte Spreewasser überhaupt unter Umständen noch infectionsfähig erscheinen könne, mit anderen Worten, ob das bei uns gehandhabte Verfahren der Reinigung des Wassers nicht genügende Sicherheit gegen eine Verschleppung etwaiger Ansteckungsstoffe aus dem verdächtigen Flusswasser in das filtrirte Leitungswasser biete.

Von einer derartigen Untersuchung der Wirksamkeit der Sandfilter liessen sich brauchbare Ergebnisse nur dann erwarten, wenn dieselbe unter möglichst genauer Anlehnung an die natürlichen Verhältnisse erfolgte. Die Erlaubniss hierzu musste bei der Direction der städtischen Wasserwerke eingeholt werden, welche dieselbe in der liebenswürdigsten Weise ertheilte und sich sogar bereit erklärte, etwaige aus den geplanten Versuchen entstehende Kosten auf ihren Etat zu übernehmen. Es ist dieses Entgegenkommen gerade in dem vorliegenden Falle gewiss mit um so lebhafterem Danke zu begrüssen, als sich von vornherein ja nicht übersehen liess, nach welcher Richtung und in welchem Sinne die beabsichtigten Ermittlungen ausfallen würden.

Werden die Leistungen der Sandfilter in vorsichtiger, sachgemässer Weise geregelt und beaufsichtigt, so sind dieselben nach der Anschauung der neueren Untersucher hygienisch vollkommene Werkzeuge, die ihre Schuldigkeit in hervorragendem Maasse thun, d. h. alle im ungereinigten Wasser enthaltenen Mikroorganismen mit Sicherheit zurückhalten und dadurch unschädlich machen.

Nicht als ob das vom Filter gelieferte und zu den Leitungsröhren geführte Wasser nun in der That völlig keimfrei, steril wäre. Eine geringe, innerhalb verhältnissmässig enger Grenzen wechselnde Zahl von Bacterien ist vielmehr immer in demselben enthalten. Aber man machte die Beobachtung, dass die Menge dieser Keime von der Anzahl der im unfiltrirten Wasser befindlichen unabhängig war, den hier vorkommenden Schwankungen keine Folge leistete und schloss aus dieser Thatsache mit Recht, dass die im filtrirten Wasser auftauchenden Bacterien nicht etwa ein bestimmter, durch das Filter getretener Bruchtheil der im ungereinigten Wasser vorhandenen seien, sondern dass sie nur unvermeidlichen, dem nicht sterilisirten Filterkörper, dem Sande, den Filterwandungen, den Leitungsröhren u. s. w. entstammende Beimengungen darstellten, die nur selten einen etwas erheblicheren Umfang annähmen.

Das Sandfilter an und für sich giebt ein keimfreies, hygienisch nicht weiter zu beanstandendes Filtrat — dieser Satz gilt allen Autoren, die sich in letzter Zeit mit dem Gegenstande beschäftigt haben und ihr Urtheil über denselben abgeben, als eine unumstössliche Thatsache.¹

Stand diese Ansicht in Wahrheit auf so festen Füssen, so waren besondere Experimente zur Beantwortung der Eingangs aufgeworfenen Frage nach einem etwaigen Zusammenhang zwischen Berliner Wasserversorgung und Typhusverbreitung unnöthig.

Aber bei näherer Ueberlegung musste es doch immerhin auffallend erscheinen, dass die Schlüsse über die Qualität der Filterleistungen nicht auf dem Wege directer Versuche gewonnen, sondern theoretisch aufgebaut oder doch nur mittelbar aus der Betrachtung anderweitiger Thatsachen deducirt waren und deshalb den mannigfachen Fehlerquellen unterliegen

¹ Plagge und Proskauer, *Diese Zeitschrift*. 1887. Bd. II. S. 481 u. 486. — C. Piefke, *Die Principien der Reinwassergewinnung vermittelt Filtration*. 1887. S. 16. — Hueppe, Ueber die Beurtheilung centraler Wasserversorgungsanlagen vom hygienischen und bacteriologischen Standpunkte. *Schilling's Journal*. 1887. S. 8. (S.-Abdr.). — Bertschinger, Untersuchungen über die Wirkung der Sandfilter der städtischen Wasserwerke in Zürich. *Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich*. 1889. Hft. 2. (S.-Abdr. S. 52. 53. 55). — Tiemann-Gärtner, *Die chemische und bacteriologische Untersuchung des Wassers*. 1889. S. 472.

konnten, welche für alle so gewonnenen Folgerungen von Bedeutung sind. Noch hatte man es niemals unternommen, das Verhalten der Sandfilter gegenüber bestimmten, uns genau bekannten Mikroorganismen näher zu erforschen und namentlich das Schicksal der für diese ganze Angelegenheit wichtigsten pathogenen Bacterien, der Typhusbacillen und der Cholera-bacterien im Verlauf des Filtrationsvorganges Schritt für Schritt zu verfolgen.

Diese Lücke in geeigneter Weise auszufüllen, war uns aufgegeben worden, und wir haben bereits darauf hingewiesen, dass nur bei möglichst genauer Nachahmung oder sogar bei Benutzung der natürlichen Verhältnisse zuverlässige und einwandfreie Ergebnisse erwartet werden konnten. Die einen Augenblick erwogene Absicht, an den grossen Sandfiltern selbst mit den genannten pathogenen Mikroorganismen zu operiren, mussten wir freilich alsbald wieder fallen lassen. Schon die Schwierigkeit, ein für so ausgedehnte Experimente genügendes Bacterienmaterial zu beschaffen, erschien nicht unerheblich; die Versuche selbst wären ferner, dem Umfange des Objects entsprechend, sehr complicirt und schwerfällig geworden, namentlich aber würde die Beseitigung und sichere Unschädlichmachung der infectirten Wassermassen einen so erheblichen Aufwand von Desinfectionsmitteln und Arbeitskräften erfordert haben, dass hiervon ernstlich nicht die Rede sein konnte. Schliesslich wäre auch im besten Falle die Verantwortung, die wir auf unsere Schultern hätten nehmen müssen, eine ganz ungeheure gewesen; einige wenige verirrte, durch einen bösen Zufall der Vernichtung entronnene Cholera- oder Typhuskeime in der Berliner Wasserleitung ihrer verderblichen Bestimmung zueilend — diese Perspective genügte durchaus, um uns von vornherein von derartigen gewagten Schritten abzuhalten.

So blieb also nur die Möglichkeit übrig, ein in bescheideneren Maassen ausgeführtes VersuchsfILTER, das sich nach allen Richtungen hin durchaus beherrschen liess, genau nach dem Muster der grossen Sandfilter herzustellen und in Betrieb zu setzen.

Zu diesem Zwecke wurden zwei hölzerne Bottiche — deren einen uns Taf. II zeigt, — von 2.1^m Höhe und 0.75^m mittlerem Durchmesser, über deren Boden ein siebartig durchlochter Sammelcanal lief, mit der für die grossen Filter üblichen Füllung versehen, d. h. mit 100^{mm} haselnussgrossen Steinen, 80^{mm} grobem Kies, 100^{mm} feinem Kies, 600^{mm} scharfem Sand beschickt. Die Oberfläche des Filterkörpers befand sich danach etwa 1.2^m unter dem Rande des Fasses, das hier mit einem Ueberlauf versehen war.

Die Art und Weise, in welcher dieses Filtermodell nun in Betrieb gesetzt und gehalten wurde, war eine etwas eigenthümliche und muss

unter Hinweis auf die beigelegte Abbildung mit einigen Worten näher erläutert werden. Besonderen Werth legten wir natürlich darauf, den Filtern eine möglichst gleichmässige Thätigkeit während ihrer Arbeitszeit zu sichern und sie namentlich vor dem Einfluss rascher Druckschwankungen zu bewahren, da die Erfahrung gelehrt hat, dass gerade derartige plötzliche Aenderungen in der Belastung die qualitative Leistung des Filters in sehr bedenklicher Weise gefährden.

Es war deshalb vor allen Dingen nöthig, die Menge des von den Filtern geförderten Wassers für die ganze Dauer einer Periode genau festzusetzen. Aber diese Vorsichtsmaassregel allein vermochte doch nur gröberen Störungen des Betriebes, welche bei einem unvermittelten Wechsel der Anforderungen an die Ergiebigkeit der Filter ganz unausbleiblich sind, vorzubeugen. Denn wenn man die Abflussöffnung des Filters, wie bei den grossen Anlagen, am Boden desselben anbringt, so liesse sich eine Regulirung, d. h. die Aufrechterhaltung einer gleichen Filtrationsgeschwindigkeit gegenüber dem Anwachsen der Widerstände im Filter nur durch eine häufige Veränderung in der Stellung des Abflussschiebers oder Hahnes erreichen. Ganz abgesehen davon, dass sich eine dauernde, genaue Controle des letzteren in Wirklichkeit keineswegs so einfach gestaltet, wie man vielleicht anzunehmen geneigt ist, versetzt aber auch jede derartige willkürliche, ruckweise erfolgende Manipulation dem Filter einen Stoss, der seinen Ausdruck in einer entsprechenden Druckschwankung mit ihren Folgen findet.

Wir haben unsere Filter deshalb so eingerichtet, dass sie sich selbst regulirten. Es wurde dies dadurch ermöglicht, dass die Ausflusstelle für das filtrirte Wasser mit Hülfe eines starken Guttaperchaschlauches von vornherein bis einige Centimeter über das Niveau der Sandoberfläche gehoben wurde. Wird nun aus dem Zuflussgefäss dem Filter eine bestimmte, gleichbleibende Menge ungereinigten Wassers zugeführt, so muss dieses sich seinen Weg durch das Filter suchen, bis es dasselbe durch die eben erwähnte Abflussöffnung verlassen kann. Im Anfang hat das keine Schwierigkeiten; das Wasser versickert rasch im Filter und die auf dem letzteren stehende Schicht hat nur eine Höhe von wenigen Centimetern; allmählich wachsen jedoch die Widerstände im Filter und erschweren den Wassertheilchen die Fortbewegung. Da das Filter sich der ihm rücksichtslos weiter zuströmenden, stetig gleichen Wassermenge aber um jeden Preis entledigen muss, so lässt es den Druck mehr und mehr ansteigen und benutzt diesen als Hilfsmittel, um das Wasser fortzupressen. Die Wassersäule auf dem Filter hebt sich, wie man an einem aussen angebrachten Standrohr abzulesen vermag; aber dies geschieht langsam, ohne plötzliche Sprünge, bis schliess-

lich der Ueberlauf in der Fasswand erreicht und die betreffende Periode damit beendet wird.

Man hat bei dieser Einrichtung also nur nöthig, den Zufluss je nach der Filtrationsgeschwindigkeit, die man im gegebenen Falle wünscht, einzustellen, so dass er in der Zeiteinheit eine bestimmte Menge von Wasser liefert. Alles Weitere erfolgt dann von selbst, ohne dass wir eine Hand zu rühren brauchen. Man erreicht auf diese Weise den gleichmässigsten Gang des Filters, und wenn im Grossen nicht ähnlich oder gerade so verfahren wird, so hat das in gewissen anderen Rücksichten, aber nicht in etwaigen Mängeln der Maassregel als solcher seinen Grund.

Die Versuchsfilter unterschieden sich in ihrem Aufbau und ihrem Betriebe von den grossen Sandfiltern also nur durch Vorkehrungen, welche eine grössere Sicherheit und Ruhe der Thätigkeit gewährleisten sollten und durch einen erheblich geringeren Umfang, sowie etwas andere äussere Form. Die letztere versetzte sie den ausgedehnteren Anlagen gegenüber noch insofern in einen gewissen Vortheil, als hier eine leichte Verjüngung des Filterkörpers nach unten stattfand, welche ein Abklaffen des Sandes von den Wandungen, also eine unmittelbare Gefährdung des Filters, mit vollständiger Zuverlässigkeit ausschloss, und die von Hause aus besonders empfindlichen Randtheile des Filters nach Möglichkeit sicher stellte.

Nachdem alle Vorbereitungen beendet, konnten die Versuche selbst ihren Anfang nehmen. Es erschien uns aus naheliegenden Gründen rathsam, nicht sofort mit den erwähnten pathogenen Arten vorzugehen und das Verhalten derselben während des Filtrationsprocesses zu studiren, sondern wenigstens für die ersten orientirenden Experimente einen leichter zu handhabenden und vor allen Dingen ungefährlichen Mikroorganismus zu verwenden. Wir wählten zu diesem Zwecke den *bacillus violaceus*, einmal, weil man von demselben nach seinem Charakter als Wasserbacterium wohl voraussetzen durfte, dass er sich den Verhältnissen im Filter ohne Schwierigkeiten anpassen werde, und dann, weil er durch seine bekannten augenfälligen Eigenschaften die Ausführung der einzelnen Beobachtungen besonders leicht zu machen versprach. Sein natürliches Auftreten im Wasser ist auf der anderen Seite doch ein immerhin so seltenes Vorkommniss, dass man nicht zu befürchten hatte, hierdurch zu Fehlschlüssen geführt zu werden.

Der *Bacillus* wurde in einer stark verdünnten Fleischbrühe — 1 Theil gewöhnliche Nährbouillon auf 20 Theile sterilisirten Wassers. — gezüchtet, um so dem Einwande die Spitze abzubrechen, dass es sich bei einem etwaigen Durchdringen der Bacterien durch das Filter von vorn herein nicht um einen mechanischen, durch den Filtrationsprocess selbst

bedingten Vorgang, sondern um ein langsames Durchwachsen der Mikroorganismen gehandelt habe, die in dem mit künstlichen Nährstoffen getränkten Filterkörper die Bedingungen für ihre Entwicklung gefunden hätten. Hier war die Fleischextractlösung von Anfang an so wenig concentrirt, dass die gewaltige Verdünnung mit dem Filterwasser genügte, um ihr die Eigenschaften eines Nährmittels so gut wie vollständig zu nehmen.

Von dieser Flüssigkeit, die einen leicht bläulichen Farbton hatte, wurden dem unfiltrirten Wasser (im Fasse *U*) in regelmässigen Zwischenräumen, meist alle 6 Stunden, kleine Mengen, etwa 100 ^{cem}, zugesetzt, der Inhalt des Schmutzwasserreservoirs umgerührt, um eine gleichmässige Mischung zu erzielen und dann täglich sowohl von diesem unfiltrirten, als von dem filtrirten, unten aus beiden Filtern ablaufenden Wasser Proben für die bacteriologische Untersuchung entnommen.

Die letztere geschah sowohl im hygienischen Institute, als auch unmittelbar auf den Wasserwerken in dem dort befindlichen Laboratorium¹ und kam in der gewöhnlichen Weise zur Ausführung. Vom unfiltrirten Wasser wurden in der Regel Platten mit 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{20}$ ^{cem}, von dem filtrirten solche mit 2, 1 und $\frac{1}{2}$ ^{cem} angefertigt. Die gegenseitige Controle der beiden unabhängig von einander vorgenommenen Beobachtungsreihen ist für die Sicherheit der erhaltenen Ergebnisse gewiss von nicht unerheblichem Werthe.

Wenn die Resultate häufig nur annähernd mit einander übereinstimmen, so hat das vor allen Dingen wohl seinen Grund in der That-
sache, dass die Entnahme der Proben für beide Untersuchungsstellen gewöhnlich nicht zur gleichen Zeit, für die Wasserwerke meist Vormittags, für das hygienische Institut Nachmittags erfolgte. Dass man bei einem derartigen Unterschiede nicht immer mit Wasser von genau der gleichen Zusammensetzung zu rechnen hat, ist unzweifelhaft. Im hygienischen Institut erlaubten es ausserdem die Verhältnisse, die Platten viel länger bei mässiger Temperatur aufzubewahren, das Zerstörungswerk der stark verflüssigenden Colonieen dadurch einzuschränken und den langsamer wachsenden Arten, wie eben dem *Violaceus*, den Cholera- und Typhusbakterien, die Möglichkeit zu geben, sich in deutlicher Weise zu entwickeln. Deshalb sind die hier für die genannten Mikroorganismen gefundenen Werthe meist etwas höher wie die auf den Wasserwerken ermittelten. Die Platten aus dem unfiltrirten Wasser wurden dagegen

¹ Bei der Ausführung dieser Untersuchungen wurden wir in der liebenswürdigsten Weise durch Herrn Bureau unterstützt, dem wir für seine bereitwillige Hülfe hiermit den besten Dank aussprechen.

gerade an dem letzteren Orte vielleicht mit grösserer Sorgfalt und Aufmerksamkeit geprüft und in Folge dessen manchmal Zahlen erhalten, welche wieder die anderen übertreffen.

Trotz alledem sind die Abweichungen aber im Ganzen nur geringfügiger Natur; das Gesammtergebniss wird durch dieselben in keiner Weise beeinflusst, und in allen wesentlichen Punkten zeigt sich sogar eine erfreuliche Uebereinstimmung.

Am 1. Juni 1889 nahm die erste Serie von Versuchen ihren Anfang. Als unfiltrirtes Wasser, das den künstlichen Bacterienzusatz erhielt, wurde gewöhnliches Leitungswasser verwendet. Die Filter wurden mit solchem auch von unten her gefüllt und dann die Periode eröffnet, während welcher das eine der beiden Filter mit einer Geschwindigkeit von 100 mm , das andere mit einer solchen von 300 mm in der Stunde arbeiten sollte. Die Schnelligkeit der Wasserbewegung im Filter von 100 mm entsprach dem bei unserem Betriebe gebräuchlichen Durchschnittswerthe, während das Maass von 300 mm insofern nicht ganz willkürlich gewählt war, als derartige Beschleunigungen des Filtrationsvorganges unter natürlichen Verhältnissen in maximo immerhin vorkommen oder wenigstens nahezu erreicht werden, und es deshalb von Interesse war, den Einfluss derselben näher festzustellen.

Der grosse Unterschied, welcher durch diese Differenz für die Thätigkeit der beiden Filter bedingt war, zeigte sich alsbald darin, dass Filter *A* (300 mm) sich nach einer Dienstzeit von 30 Tagen nahezu tod gearbeitet hatte, während *B* nur eine ganz geringfügige Steigerung des vorhandenen Druckes erkennen liess, voraussichtlich noch Wochen hindurch hätte benutzt werden können und nur der Gleichmässigkeit der Versuche halber gemeinschaftlich mit *A* unterbrochen wurde. Es wurde die oberflächliche Haut, die sich auf den Filtern gebildet hatte, entfernt und zu diesem Zwecke etwa 2 cm von der obersten Schicht abgetragen.

Die weiteren Ergebnisse dieses ersten Experiments sind in Tabelle I (a und b) enthalten und bedürfen wohl nur weniger Worte zu ihrer Erläuterung. Es zeigte sich, dass während der ganzen Dauer der Filtrationsperiode fortgesetzt Bacterien das Filter passiren, wie aus dem Auftreten der blauen Colonieen auf den Platten des filtrirten Wassers unwiderleglich hervorging.

Die Menge dieser Keime war eine schwankende und abhängig einmal von der Geschwindigkeit, mit welcher das Filter lief: das schnellere (300 mm) gab bei jeder Untersuchung höhere Zahlen und im Ganzen fast dreimal so viel Colonieen der blauen Bacillen, als das langsamere (100 mm), wenn wir von dem Ausfall der Beobachtungen am ersten Tage, wo die Filter überhaupt noch nicht leistungsfähig waren, absehen.

Von unverkennbarem Einfluss war ferner die wechselnde Dichtigkeit der Bacterienanhäufung im unfiltrirten Wasser: auf eine erhebliche Steigerung der blauen Keime in demselben antwortete das filtrirte Wasser sofort mit einer deutlichen Vermehrung der blauen Colonieen, während auf ein Absinken dieser Bacterien in dem ersteren auch ein Rückgang der Zahlen in dem letzteren folgte.

Endlich machte sich der Abschnitt der Filtrationsperiode, in welchen die einzelne Beobachtung fiel, sehr deutlich an dem Ausfall derselben bemerklich. Besonders zeigten sich der Anfang und das Ende der Periode als bedenkliche Zeiten. Es rührte dies daher, dass im Beginn der Untersuchungen von einer zurückhaltenden Kraft des Filters kaum die Rede ist; dasselbe ist zunächst nichts anderes als ein lockeres Sieb, das gar nicht den Namen eines Filters verdient, und erst allmählich ändert sich dieser Zustand, um besseren Verhältnissen Platz zu machen. Im Filter *A* wuchs dann, wie wir gesehen haben, bei gleichmässiger Thätigkeit schliesslich der Filtrationsdruck bis zu beträchtlicher Höhe an, und die Pressung, welche die oberflächlichsten, bacterienreichsten Lagen des Filters hierdurch erfuhren, fand wohl in den etwas vermehrten Zahlen der nun von diesem Filter gelieferten Keime ihren Ausdruck, während Filter *B*, welches keine namhafte Drucksteigerung erkennen liess, in der selben Zeit auch unveränderte Resultate gab, im Ganzen sogar gegen das Ende hin etwas besser functionirte.

Die Thatsachen, welche durch diesen ersten Versuch ermittelt waren, standen zum Theil zweifellos in völligem Widerspruch mit unseren bisherigen Anschauungen und Kenntnissen und legten die Vermuthung nahe, dass bei der Ausführung der Experimente die natürlichen Bedingungen doch nicht in genügendem Maasse und in geeigneter Weise nachgeahmt worden seien. Allerdings war auch in mehreren Punkten von den für die letzteren giltigen Regeln abgewichen worden, insofern namentlich, als hier im Gegensatz zu den dort benutzten, altgedienten und gerade deshalb besonders brauchbaren Filtern neue, ihrer Aufgabe noch nicht gewachsene, in den oberen Schichten noch nicht verschleimte Anlagen mit besonders sorgfältig gewaschenem Sande benutzt worden waren. Ferner hatte man nicht Spreewasser, sondern das an suspendirten Stoffen viel ärmere und deshalb zur Erzeugung der Deckhaut ungeeignere Leitungswasser in Verwendung genommen, um den *Bacillus violaceus* von vornherein gegen die etwaige erdrückende Concurrenz der anderen Wasserbacterien zu schützen. Das Leitungswasser enthielt ausserdem stets reichliche Mengen von Luft, die es bei dem Durchgang durch die Pumpen und den Windkessel unter höherem Druck in sich aufgenommen hatte und nun in Berührung mit der grossen Oberfläche der Sandkörner zum Theil wieder abgab. Diese

Luft sammelte sich im Filterkörper an, um dann von Zeit zu Zeit in grossen Blasen nach oben einen Ausweg zu suchen und den Zusammenhang der filtrirenden Schlammhaut immer auf's neue zu schädigen. Der Nachtheil, in welchem sich unsere Versuchsfiler in Folge dieser Thatsachen den grossen Wasserfiltern gegenüber befanden, spiegelte sich deutlich genug in den andauernd ziemlich hohen Gesammtzahlen wieder, die auch der mit 100^{mm} arbeitende Apparat lieferte, Zahlen, welche die sonst bei dieser Filtrationsgeschwindigkeit vorkommenden Werthe nicht unerheblich übertrafen.

Wir versuchten diesen Mängeln dadurch abzuhelpfen, dass wir einmal das Filtermaterial wechselten und an Stelle des frischen Sandes alten, verschleimten setzten, der in einem der grossen Bassins schon länger als ein Jahr gelegen hatte. Derselbe wurde durch ein terrassenförmig abgestuftes Loch aus verschiedenen Tiefen entnommen, zuerst von unten, zuletzt von oben und in derselben Folge in die Bottiche übertragen. Ferner wurden die Filter von jetzt an mit unfiltrirtem Spreewasser versorgt, ihnen damit also ganz die Verhältnisse zur Verfügung gestellt, unter denen wir auch im Grossen arbeiten. Vor Eröffnung der Versuche wurde das Wasser endlich mehr als 24 Stunden lang auf dem Filter magazinirt und dadurch zum Absitzen gebracht.

Filter *A* blieb bei der Geschwindigkeit von 300^{mm}, während *B* jetzt mit nur 50^{mm} lief.

Die Ergebnisse waren trotz dieser theilweise erheblich veränderten Bedingungen im Wesentlichen dieselben wie beim ersten Versuch (Tabelle IIa und b). Die Filtrationsperioden allerdings zeigten gegenüber den vorher erhaltenen Resultaten eine bedeutende Abkürzung, die natürlich auf Rechnung des benutzten Spreewassers kam; die sich aus diesem ablagernden Schmutztheile bildeten rasch eine mächtige Decke auf dem Filter und steigerten die Widerstände in demselben so, dass Filter *A*, welches im ersten Versuch 30 Tage mit der gleichen Geschwindigkeit gearbeitet hatte, jetzt schon nach etwa sieben Tagen dienstunbrauchbar war, Filter *B* nach 30 Tagen einen Druck von 1000^{mm} aufwies, während dort 100^{mm} Geschwindigkeit in der nämlichen Zeit nur 50^{mm} Druck erzeugt hatten. Vielleicht trug auch die wärmere Jahreszeit und die damit lebhaftere Vegetation niederster pflanzlicher Organismen auf der Sandoberfläche zu dieser schleunigen Verlegung des Filters das ihrige mit bei. Nach Analogie mit den an den grossen Bassins gemachten Erfahrungen durfte man dies wohl erwarten, wenn auch eine so üppige Algenwucherung, wie wir sie dort bei den offenen Anlagen in den Sommermonaten zu sehen gewöhnt sind, hier, wo die Bottiche stets durch feste Deckel gegen unmittelbare Besonnung geschützt waren, sich schwerlich entwickeln konnte.

Ungeachtet dieser günstigen Verhältnisse war der Filtrationserfolg als solcher doch, wie gesagt, keineswegs ein vollständig befriedigender. Die bedenkliche Anfangszeit der einzelnen Perioden konnte zunächst freilich nicht so deutlich hervortreten, da die Sedimentirung des Spreewassers auf den Filtern dieselben in den Stand gesetzt hatte, von vornherein eine annähernd vollkommene Wirksamkeit zu entfalten. So oft aber bei *A* eine Unterbrechung und Wiederaufnahme der Periode ohne diese Vorsichtsmassregel erfolgte, erschienen auch sogleich wieder grosse Mengen blauer Colonieen auf den Platten als Beweis für die unveränderte Unzulänglichkeit der ganzen Vorrichtung. Noch wichtiger war die Thatsache, dass auch auf der Höhe der Periode andauernd Keime das Filter passirten und zwar sowohl in *A* als auch in Filter *B*, welches mit einer so geringfügigen Geschwindigkeit arbeitete, wie sie in Wirklichkeit, im grossen Betriebe nur sehr selten erreicht und innegehalten werden kann.

Die bevorzugte Stellung allerdings, in welcher sich der langsamere functionirende Apparat seinem Genossen gegenüber hinsichtlich der Einwirkung auf die Mikroorganismen befand, trat trotzdem sehr deutlich hervor. Richten wir, wie wir dies auch beim ersten Versuche gethan, unser Augenmerk auf die Anzahl der in das filtrirte Wasser übergehenden blauen Bacillen, so zeigt sich, dass die Leistungen der Filter hier wiederum etwa im Verhältniss ihrer Geschwindigkeiten stehen, d. h. dass Filter *A* (300 mm) fast sechsmal so viel Colonieen liefert als Filter *B* (50 mm).

Eine unmittelbare Abhängigkeit der Bacterienmenge des Filtrats von der des ungereinigten Wassers war hier nicht zu erkennen, weil die sehr erheblichen Massen von blauen Keimen in letzterem überhaupt keinen bemerkbaren Schwankungen unterlagen, und sich solche also auch nicht durch das Filter hin fortpflanzen konnten.

Dagegen war bei Filter *B* der Einfluss des gegen Ende der Periode rasch ansteigenden Drucks, die Pressung der oberflächlichen Sandschichten während der letzten 5 Tage der Betriebszeit deutlich genug. Wenigstens ist es wohl das Natürlichste, die Erhöhung der Bacterienzahl — der blauen Colonieen — auf Rechnung dieses Factors zu setzen und zu ihrer Erklärung nicht noch ein anderes Moment heranzuziehen, das freilich nicht völlig auszuschliessen ist und wegen seiner hervorragenden Wichtigkeit hier jedenfalls erwähnt werden muss.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass bei kleineren Filtern, gleichgültig welcher Art und Einrichtung, schliesslich stets ein Durchwachsen der Mikroorganismen durch die Filtersubstanz Statt hat. Die Bacterien, die im Filter abgefangen werden, finden an den gleichfalls hier zurückgehaltenen suspendirten oder gelösten Stoffen anorganischer und organischer

Herkunft genügendes Nährmaterial, es kommt in der Filtermasse zu einer Vermehrung der Keime, die allmählich immer weiter vordringen und endlich die ganze Wandung durchsetzen. Gewöhnlich ist es zuerst eine einzelne Art in Reincultur, die hier erscheint, die also entweder besonders günstige Entwicklungsbedingungen im Filter gefunden und die übrigen concurrirenden Bakterien in Folge dessen zurückgedrängt hat, oder die vermöge ihrer Beweglichkeit oder ihrer Kleinheit u. s. w. den übrigen Insassen des Filterkörpers vorausseilen konnte. Nach Analogie mit diesen Erfahrungen und Beobachtungen wäre die gleiche Erscheinung bei den Sandfiltern keineswegs etwas so Auffallendes; man muss im Gegentheil fast erwarten, dass es hier im Laufe der Zeit zu ähnlichen Vorgängen kommt, und so wollen wir auch die Möglichkeit nicht von der Hand weisen, dass an der Vermehrung der Keime gegen das Ende der Periode hin neben rein mechanischen Ursachen auch ein derartiges biologisches Moment betheiligt gewesen sei.

Im übrigen wird man dem Filtrationserfolge, sobald man sich einmal von der überlieferten Vorstellung frei gemacht hat, dass derselbe ein durchaus steriles Wasser liefern solle, die Anerkennung nicht versagen können. Vergleicht man die Zahl der blauen Keime im ungereinigten Wasser mit der im filtrirten, so ergibt sich ein immerhin günstiges Resultat. Man wird nicht fehl gehen, wenn man nach einer Schätzung, die allerdings bei dem Fehlen genauer Werthe für die blauen Keime im ungereinigten Wasser nur eine annähernde sein kann, annimmt, dass die Filter die Mikroorganismen mindestens um das Tausendfache und mehr reducirt haben, d. h. von je 1000 Bakterien höchstens einem den Durchgang gestatteten.

Zweifellos war ferner, dass das langsame Filter wirksamer war als das schnelle; man kann sogar geradezu den Satz aufstellen, dass die qualitative Leistung eines Filters der quantitativen umgekehrt proportional sei.

Fassen wir die bisherigen Ergebnisse noch einmal kurz zusammen, so haben dieselben also gezeigt, dass die Sandfilter kein keimfreies Wasser erzeugen, dass namentlich der Anfang einer jeden Periode, der das Filter noch in undiehem Zustande antrifft, und das Ende, welches unter der Pressung der oberflächlichen Sandschichten, vielleicht auch dem Durchwachsen der Bakterien durch den Filterkörper zu leiden hat, gefährliche Zeiten sind; dass die Menge der im Filtrat auftretenden Mikroorganismen unmittelbar abhängig ist einmal von der Menge der im unfiltrirten Wasser vorhandenen Keime und zweitens von der Geschwindigkeit, mit der die Filtration von Statten geht.

Konnten die hiermit berichteten Vorversuche wohl manchen werthvollen Fingerzeig für das Verhalten der pathogenen Mikroorganismen, der Typhus- und Cholerabakterien, unter den gleichen Bedingungen liefern, so wäre es doch ein sehr voreiliger Schluss gewesen, diese Resultate sofort ohne Einschränkung auch auf diese verallgemeinern zu wollen. Wir wissen aus einer grossen Zahl einschlägiger Arbeiten, dass die eben genannten Bakterienarten in nicht sterilisirtem Wasser, namentlich bei niedriger Temperatur häufig rasch zu Grunde gehen, und es war von vornherein keineswegs unwahrscheinlich, dass wir unter den hier in Frage kommenden Verhältnissen derselben Thatsache wieder begegnen würden.

Endgültige Aufklärung war nur von bestimmten Experimenten zu erwarten, wie sie ja von Anfang an in unser Programm aufgenommen waren und deshalb auch jetzt sogleich zur Ausführung gebracht wurden. Hier erforderten nur zwei Punkte noch besondere Berücksichtigung. Einmal musste ein Verfahren in Kraft treten, welches eine völlig sichere und in jedem Augenblick wirksame Desinfection des aus den Filtern ablaufenden Wassers gewährleistete, damit wir nicht in Gefahr geriethen, mit dem Abfluss Typhus- und Cholerakeime der Spree zu überantworten. Als geeignetstes Mittel für diesen Zweck erschien uns der Kalk, dessen sehr erhebliche keimtödtende Eigenschaften gerade neuerdings von den verschiedensten Seiten in übereinstimmender Weise hervorgehoben worden sind. Das von den Filtern gelieferte Wasser wurde deshalb in einer grossen, mit fest gemauerten Wänden versehenen Grube aufgefangen, in der es sich eine Reihe von Stunden aufhalten musste, und hier mit einer aus frisch gelöschtem Kalk hergestellten Kalkmilch vermischt. Der Zusatz derselben erfolgte stündlich, Tag und Nacht, und in so reichlichem Maasse, dass nach annähernder Berechnung der Inhalt des Beckens dauernd einer etwa $\frac{1}{2}$ procentigen Kalklösung entsprach. Freilich wurden auf diese Weise im ganzen Verlauf der Versuche ungefähr 200 Centner (10000 ^{kg}rm) Kalk verbraucht, aber der Erfolg liess in der That nichts zu wünschen übrig — die täglich vorgenommene bacteriologische Prüfung des Filtrats nach Berührung mit dem Kalk zeigte regelmässig das völlige Fehlen von Keimen irgend welcher Art, so dass wir von dieser Seite nichts zu befürchten hatten und unsere Versuche ruhig dem Ende zuführen konnten.

Bedenklich schien im Anfang noch eine andere Klippe für die beabsichtigten Experimente, welche in der Sache selbst lag und begründet war in der Schwierigkeit des sicheren Erkennens der Cholera- und namentlich der Typhuscolonien unter einer grösseren Anzahl anderer Mikroorganismen. Doch erwies sich dieses Hinderniss schliesslich keineswegs als ein so grosses, wie wir vermuthet hatten. Das charakteristische

Ausschen der Cholera-colonien trat auf den Wasserplatten stets so deutlich zu Tage, dass man sie bemerken musste, und auch die Typhus-colonien zeigten, sobald sie einmal die Oberfläche der Gelatine erreicht hatten, ein unverkennbares Bild, das bei einiger Uebung sofort die richtige Diagnose ermöglichte und uns bald der Mühe enthob, dieselbe in jedem einzelnen Fall auf dem umständlichen Wege der Kartoffelcultur sicher zu stellen. Nur von Zeit zu Zeit kam dann dieses Verfahren — zu unserer eigenen Controle — noch zur Ausführung, ebenso wie wir die als Cholera-bakterien angesprochenen Mikroorganismen in peptonhaltige Bouillon verimpften und dann mit verdünnter Schwefelsäure die bekannte Reaction zur Anwendung brachten. Endlich wurden die in Frage kommenden Colonien jedes Mal der mikroskopischen Untersuchung — im hängenden Tropfen — unterworfen.

Solange die Typhus- und Cholera-colonien freilich in der Tiefe der Gelatine lagen und sich entwickelten, mussten sie der Beobachtung entgehen; die im folgenden mitgetheilten Werthe bringen deshalb für die beiden genannten Bacterienarten Zahlen, die jedenfalls regelmässig hinter der Wirklichkeit zurückbleiben und vom Vorwurf der Uebertreibung unbedingt frei zu sprechen sind.

Ausserdem bedienten wir uns noch eines Hilfsmittels, um uns das Auffinden der pathogenen Colonien zu erleichtern. Wir hatten bei den Vorversuchen die schätzenswerthen Eigenschaften zur Genüge kennen gelernt, welche der *Bac. violaceus* für unsere Zwecke besass: die rasche Entwicklung sehr auffallender, gar nicht zu übersehender Colonien auf der Gelatineplatte. Wir fügten nun den Aufschwemmungen von Typhus- und Cholera-culturen, mit welchen wir die Filter beschickten, regelmässig noch eine erhebliche Menge von Keimen des blauen Bacillus bei, damit das Erscheinen der Colonien des letzteren auf der Platte uns als Signal diene, mit besonders gespannter Aufmerksamkeit auch über dem etwaigen Auftreten von Typhus- und Cholera-colonien zu wachen. In der That ist uns der *Violaceus* in dieser Weise als Indicator von entschiedenem Nutzen gewesen.

Im Uebrigen wurden die Versuche ganz nach dem Vorbilde der früheren eingerichtet. Cholera- und Typhusbakterien wurden wieder in stark verdünnter Bouillon gezüchtet, und von dieser kleine Mengen in regelmässigen Zwischenpausen dem unfiltrirten Wasser zugesetzt. Zur Speisung diente ungereinigtes Spreewasser, das zur Bildung einer Deckhaut zweimal 24 Stunden auf der Sandoberfläche verblieb. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Filter zunächst ihren Betrieb eröffneten, betrug für *A* 300, für *B* 50 mm.

Die erhaltenen Resultate zeigt uns Tabelle III (a und b). Eine Erläuterung derselben würde eine wörtliche Wiederholung des zusammenfassenden Urtheils über den Ausfall unserer ersten Experimente bedeuten. Auch hier trat die Ueberlegenheit des langsam laufenden Apparates deutlich genug hervor; trotzdem liess sogar dieser dauernd allerdings kleine aber sicher nachweisbare Mengen der uns interessirenden Bacterien durch, selbst nachdem die gefährliche Anfangszeit der Periode überwunden war und der Filtrationserfolg im Allgemeinen, wie die Zahl der überhaupt im Filtrat auftretenden Bacterien zeigte, sich befriedigend gestaltete.

Bemerkenswerth ist, dass die drei verschiedenen Bacterien, *Violaceus*, Typhus- und Cholera-bacterien, keineswegs in ganz demselben Verhältnisse das Filter passirten. Hier wie in allen späteren Versuchen erschienen vielmehr am häufigsten auf den aus dem Filtrat angefertigten Platten die Colonien des blauen *Bacillus*, am seltensten die der Cholera-bacterien, während der Typhusbacillus den *Violaceus* fast erreichte, zuweilen sogar übertraf.

Filter *A* war nach 11 Tagen todt, da der Druck eine Höhe von 1000^{mm} erreicht hatte. Eine Zunahme der Keime im Filtrat als Folge der Pressung der oberflächlichen Schlammschicht liess sich in diesem Falle nicht erkennen. Filter *A* wurde nun gereinigt und dann von Neuem und zwar mit ganz minimaler Geschwindigkeit, mit 25^{mm} für die Stunde in Betrieb gesetzt, während Filter *B* ohne Unterbrechung in der bisherigen Weise weiter arbeitete.

Die Absicht war, festzustellen, ob vielleicht bei einer so hochgradig verlangsamten Bewegung des Wassers im Filterkörper eine vollständige Beseitigung der Mikroorganismen zu erreichen wäre, nachdem die bisherigen Versuche zur Genüge erwiesen hatten, dass diese Function der Filter vor allen Dingen abhängig sei von der grösseren oder geringeren Schnelligkeit der Filtration.

Die genaue Beobachtung der Ereignisse wurde hier zunächst allerdings durch einen eigenthümlichen Zwischenfall gestört, der andererseits gerade zu besonders interessanten Ergebnissen führte. In dem Gefäss mit unfiltrirtem Wasser hatte sich im Laufe einiger Tage eine der zahlreichen Wasserbacterienarten, ein grauer, die Gelatine rasch verflüssigender *Bacillus* das unbedingte Uebergewicht zu verschaffen gewusst und eine so umfangreiche Vermehrung gefunden, dass die übrigen Mikroorganismen völlig in den Hintergrund gedrängt wurden und auf den betreffenden Platten beispielsweise weder der *Bacillus violaceus* noch die Typhus- und Cholera-bacterien nachgewiesen werden konnten.

Bald machte sich diese Veränderung der Sachlage auch auf den Platten aus dem filtrirten Wasser, zuerst bei Filter *A* bemerkbar und zwar

trotz der verlangsamten Filtrationsgeschwindigkeit in einem sehr entschiedenen Anwachsen der Keimzahl, so jedoch, dass eben nur die Colonieen jenes erwähnten Bacillus zur Entwicklung kamen, die Platten geradezu eine Reincultur desselben enthielten und schon nach kaum mehr als 24 Stunden vollständig verflüssigt waren. Erst nach Verlauf von etwa 4—5 Tagen sank die Menge der Bakterien im Filtrat ab, und nun gelang es auch, wieder vereinzelte Colonieen des *Violaceus*, des Typhus- und Cholera-bacillus hier zu entdecken.

Die Erklärung für diese Erscheinung giebt uns die Betrachtung der Verhältnisse bei Filter *B*. Dasselbe wurde von dem Anwachsen der Keimmenge im unfiltrirten Wasser gerade auf der Höhe seiner Periode getroffen, und wenn er hierauf auch durch eine beträchtliche Vermehrung der Bacterienzahl im Filtrat antwortete, die ausschliesslich auf Rechnung des grauen Bacillus kam, so erschienen die Colonieen desselben doch nur selten so massenhaft auf den Platten, dass sie deren genauere Analyse unmöglich gemacht hätten.

Filter *B* war eben schon im „reifen“ Zustande, als die Bacterienhochfluth hereinbrach, und die oben erwähnte Veränderung der Resultate bei Filter *A* gegen den Schluss dieser Periode ist nur darauf zurückzuführen, dass auch hier jetzt eine Dichtung des Filters erfolgt und damit dem rückhaltlosen Durchtreten der Bakterien ein Riegel vorgeschoben war.

Dieser erste Versuch mit den pathogenen Mikroorganismen war zweifellos nicht ganz in der Weise verlaufen, wie dies beabsichtigt gewesen war, und es wurde deshalb eine nochmalige Wiederholung desselben vorgenommen.

Zunächst fand eine gründliche Reinigung des Gefässes für das unfiltrirte Wasser statt, dann wurden beide Filter mehrere Tage hindurch mit Leitungswasser gespült, bis sich im Filtrat weder Colonieen des *Violaceus*, noch der pathogenen, noch endlich des grauen Bacillus mehr fanden, und nun erst die Filter in Thätigkeit gesetzt. *A* erhielt 25, *B* 50^{mm} Geschwindigkeit. Zur Speisung diente wieder unfiltrirtes Spreewasser; als später im weiteren Verlauf der Versuche eine genügende Deckenbildung erfolgt war, wie sich aus dem Filtrationseffekte ergab, wurde dasselbe durch entlüftetes Leitungswasser ersetzt, da die Beschickung der Filter mit Spreewasser doch auf die Dauer erhebliche Schwierigkeiten machte.

Das Resultat entsprach jetzt (Tabelle IV) völlig den früher erhaltenen Ergebnissen, und wir können deshalb als abschliessendes Urtheil über den Ausfall der gesammten hier mitgetheilten Versuche etwa Folgendes aussagen: die Sandfilter sind keine keimdicht arbeitenden Apparate; weder die gewöhnlichen Wasser-

bakterien noch auch Typhus- und Cholerabacillen werden von denselben mit Sicherheit zurückgehalten. Die Menge der in das Filtrat übergehenden Mikroorganismen ist abhängig von der Anzahl der im unfiltrirten Wasser vorhandenen und von der Schnelligkeit der Filtration. Anfang und Ende einer jeden Periode sind besonders gefährliche Zeiten, weil im ersteren Falle die Filter noch nicht ihre volle Leistungsfähigkeit erlangt haben, im letzteren die Pressung der oberflächlichen Filterschichten, vielleicht auch das selbstständige Durchwachsen der Bakterien durch diese ein Abwärtssteigen der Mikroorganismen begünstigen.

Dass diese Befunde zum grossen Theile in unmittelbarem Widerspruch mit den bisher gültigen Anschauungen über die Wirkung der Sandfilter standen, war unzweifelhaft. Wir mussten uns deshalb vor allen Dingen noch einmal die Frage vorlegen, ob denn unsere Experimente in der That einen Schluss auf die Verhältnisse im Grossen zu ziehen gestatteten.

Dass die VersuchsfILTER, was Anlage und Art des Betriebes angeht, vor den Bassins der Wasserwerke eher im Vortheil als im Nachtheil waren, haben wir bereits erörtert, und eine einfache Betrachtung des Filtrationserfolges im Allgemeinen, wie er aus den gelieferten Gesammtzahlen z. B. in Tabelle IV und Tabelle III Filter B ohne Weiteres abzulesen ist, wird den deutlichsten Beweis liefern, dass unsere VersuchsfILTER nicht schlechter gearbeitet haben, als die grossen Sandfilter.

Auch der Vorwurf, dass eine Uebertragung der nur für einen kleinen Maassstab ermittelten Thatsachen unzulässig sei, war sachlich nicht wohl zu rechtfertigen, zumal da der Umfang unserer Versuche keineswegs ein so beschränkter gewesen ist, wie man zunächst vielleicht annehmen könnte — waren doch im Laufe derselben nicht weniger als 300 m³ Wasser im Ganzen durch die Filter gegangen und auf ihren Bacteriengehalt geprüft worden.

Wie war der bestehende Gegensatz wohl zu erklären? Die Ueberzeugung, dass die Sandfilter wenigstens auf der Höhe ihrer Leistungsfähigkeit eine vollkommene Säuberung des Wassers, d. h. eine Befreiung desselben von sämmtlichen Mikroorganismen zu bewirken vermöchten, gründete sich, wie wir sahen, auf die Beobachtung, dass die Zahl der im Filtrat auftretenden Bakterien zu der Menge der im unfiltrirten Wasser vorhandenen nicht in Beziehung stehe, vielmehr veranlasst werde durch eine unvermeidliche, nachträgliche Verunreinigung des Wassers in den unteren, nicht sterilisirten Filterschichten, den Leitungsröhren u. s. w.

Aber bei genauerem Zusehen kann diese Anschauung doch nicht stichhaltig erscheinen, da sie auf falschen Voraussetzungen fusst. Dieselbe war gewonnen bei den regelmässigen Untersuchungen des Spree- bezw. Tegelerseewassers einerseits, des Berliner Leitungswassers andererseits, die meist so zur Ausführung gelangten, dass die Entnahme der verschiedenen Proben mit wöchentlichen Zwischenräumen an demselben Tage und zu derselben Stunde erfolgte, und die gefundenen Werthe dann mit einander verglichen wurden. Es ist dies aber sicherlich kein einwandsfreies Verfahren. Gesetzt den Fall, die Bacterienmenge im Spreewasser habe an dem Tage der Entnahme aus irgend einem Grunde eine erhebliche Veränderung, Verringerung oder Vermehrung erfahren, so ist gar nicht zu erwarten, ist es undenkbar, dass diese Thatsache auch in dem Filtrat, das in demselben Augenblicke geschöpft wird, schon zum Ausdrucke komme.

Es ist allerdings eine schwer zu beantwortende Frage, wie viel Zeit die Mikroorganismen wohl gebrauchen, um ein als durchlässig angenommenes Sandfilter zu passiren; dass aber die Fortbewegung dieser suspendirten Körperchen nicht mit der Schnelligkeit erfolgt, mit welcher die Wassertheilchen versickern, ist unzweifelhaft. Selbst im besten — oder wenn man will, ungünstigsten — Falle werden Stunden, ja Tage vergehen, ehe die auf die Oberfläche der Sandschicht etwa gerathenen Bacterien sich im Filtrat bemerklich machen, und ausserdem wird dieses Ereigniss nicht mit einem Schlage, nicht in einer genau umschriebenen Frist in die Erscheinung treten, sondern ganz allmählich und in die Breite gezogen ablaufen.

Die Mikroorganismen wandern in dem Filterkörper nicht alle mit der gleichen Geschwindigkeit, einige setzen sich hier, andere dort an jenem Sandkorn für einige Zeit fest, um dann die unterbrochene Fahrt eine Strecke weit wieder aufzunehmen, und wenn ein ganzes Rudel Bacterien gemeinschaftlich auf die Reise gegangen ist, so werden die einen dem Gros weit vorausseilen, andere als späte Nachzügler eintreffen und es schliesslich ganz undeutlich werden, dass alle aus dem gleichen Herkunfts-orte stammen und denselben zur nämlichen Zeit verlassen haben.

Häufen sich gar die Widerstände im Filter, so werden diese Verhältnisse sich noch schärfer entwickeln, und in der That kann man unseren oben mitgetheilten Experimenten an verschiedenen Stellen die Beobachtung entnehmen, dass auf der Höhe einer Filtrationsperiode bei mittlerer Geschwindigkeit etwa 48 Stunden vergehen, ehe eine Veränderung in der Zusammensetzung des unfiltrirten Wassers, beispielsweise die Zunahme der blauen Keime oder das Auftauchen ausserordentlich grosser Mengen einer wilden Bacterienart in der Beschaffenheit des Filtrats hervortritt.

Alle diejenigen Schlüsse, welche auf derartigen, in weiten Absätzen

vorgenommenen Untersuchungen aufgebaut sind, können daher für die Entscheidung der vorliegenden Frage gar nicht in Betracht kommen.

Nun liegen aber auch einige, allerdings nicht sehr zahlreiche Beobachtungen¹ vor, die über längere Zeit hin die Wirksamkeit eines Filters verfolgten. Auf diese würden die eben gemachten Erörterungen nicht zutreffen, und doch haben dieselben zu den gleichen Ergebnissen geführt, d. h. eine Abhängigkeit der Bacterienzahl im filtrirten Wasser von der des unfiltrirten nicht zu erkennen vermocht.

Aber es lässt sich auch gegen sie ein gewichtiger Einwand erheben. Wir wissen, und es ist durch besondere Ermittlungen festgestellt, dass nicht nur an der Oberfläche des Filters eine reichliche Ablagerung der im ungereinigten Wasser enthaltenen Mikroorganismen stattfindet, dass vielmehr auch die höheren Lagen der Sandschicht selbst erhebliche Mengen derselben bergen, denen sie ihre Verschleimung, ihre Filtrirfähigkeit verdanken, und dass endlich auch die tieferen Zonen des Filterkörpers von Bacterienmassen durchsetzt sind, die um so dichter anwachsen, je länger sich das betreffende Filter im Betriebe befindet.

Die hier aufgestapelten Keime nun, die, wie man immer stillschweigend zugegeben hat, in letzter Linie doch auch aus dem ungereinigten Wasser, von der Oberfläche des Filters, stammen, dasselbe also durchbrochen haben, werden bei der Strömung der Wassertheilchen von ihren Aufhängepunkten, den Sandkörnern, mehrfach losgespült und losgerissen, um endlich auch in das ablaufende Filtrat überzugehen. Das Auftreten von Bacterien im filtrirten Wasser wurde ja bisher überhaupt, wie wir gesehen haben, wesentlich auf diese Ursache zurückgeführt.

Nun soll nicht bestritten werden, dass ein Theil, ein beträchtlicher Theil der im Filtrat erscheinenden Mikroorganismen auch in der That den unteren Filterschichten entstammt; aber nehmen wir einmal an, ein anderer Theil rühre unmittelbar von der Oberfläche des Filters her, bestehe aus Bacterien, die ohne jeden längeren Aufenthalt das Filter durchmessen haben, wie will man bei der gewöhnlichen Art der Untersuchung die letzteren von den ersteren unterscheiden? Nimmt im gegebenen Falle zufällig die Menge der einen ab, die der anderen zu, so bleibt das Gesamtergebniss unverändert, und verschiebt es sich, so ist die Frage gar nicht zu beantworten, durch welche Ursache dies gerade geschehen. Solange diese beiden concurrirenden Momente daher nicht durch irgend ein leicht erkennbares Merkmal von einander getrennt werden, verschleiern sie sich gegenseitig in ihren Aeusserungen und machen den Antheil, den ein jedes an dem gemeinschaftlichen Ergebniss hat, undeutlich.

¹ Wolffhügel, *Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt*. Bd. I. — Piefke, a. a. O.

Deshalb können hier nur Versuche zum Ziele führen, welche den von uns eingeschlagenen Weg betreten, d. h. mit bestimmten, wohl bekannten Bakterien operiren, die man nicht mit anderen verwechseln, deren Schicksale man im Einzelnen verfolgen kann, und nicht die uncontrolirbaren Wendungen der natürlichen Verhältnisse der Beurtheilung unterwerfen.

Für die Richtigkeit dieser Anschauung vermögen wir sogar aus unseren Befunden einige Beweise beizubringen. So lassen sich namentlich aus Tabelle I und II mehrere Abschnitte anführen, in denen entweder die Gesamtzahl der von den Filtern gelieferten Bakterien sehr erheblichen Schwankungen unterliegt, während die Menge der blauen, zweifellos von der Oberfläche stammenden Colonien unverändert bleibt, oder gerade umgekehrt die letztere sich verdoppelt und selbst verzehnfacht, ohne dass dies in dem Gesamtergebniss zu einem irgendwie deutlichen Ausdruck käme.

Damit soll keineswegs gesagt sein, dass wir die bacteriologische Wasseruntersuchung etwa überhaupt für unzulänglich hielten. Wir glauben im Gegentheil nach wie vor, dass dieselbe uns ein ausreichendes, ja sogar ein durchaus zuverlässiges Kriterium an die Hand giebt, um die Leistungen des Filtrationsprocesses bis in seine Einzelheiten verfolgen und beaufsichtigen zu können. Während die Feststellung der chemischen Verhältnisse nach dieser Richtung hin völlig werthlos und unbrauchbar ist, kann die im Filtrat vorhandene Bacterienzahl als der beste Gradmesser für die Wirksamkeit des benutzten Reinigungsverfahrens angesehen werden und deshalb allein genügenden Aufschluss über die hier vorliegenden Fragen verschaffen. Nur wird man in Zukunft wohl noch schärfer eine Thatsache berücksichtigen müssen, die man auch bisher ja schon, wenigstens stillschweigend, immer anerkannt hat, dass nämlich die Keimmenge im filtrirten Wasser kein ganz unmittelbarer, absoluter Ausdruck des Filtrationseffectes sei. Man wird sich vergegenwärtigen, dass hier zwei Vorgänge zu einem Ereignisse verschmolzen sind, die freilich von wesentlich denselben Bedingungen in der gleichen Weise beeinflusst werden und deshalb auf diese letzteren einen Rückschluss erlauben. Mängel im Filtrationsbetriebe können das eine Mal gerade die Zahl der von der Oberfläche herrührenden Bakterien, das andere Mal gerade die aus den unteren Filterschichten stammenden Mikroorganismen in besonders nachdrücklichem Maasse betreffen, vielfach jedoch, wie namentlich eine übermässig gesteigerte Schnelligkeit der Filtration, auf beide nach derselben Richtung einwirken und also in der Menge der nachgewiesenen Bakterien ihren deutlichen Ausdruck finden.

Größere Störungen werden sich deshalb auch immer in der Bacterienzahl bemerklich machen, während freilich Insufficienzen von geringem Um-

fange, die nur unerhebliche oder rasch vorübergehende Veränderungen hervorrufen, von vornherein leicht übersehen werden können und dies natürlich um so eher, je grösser die Gesamtzahl der im Filtrat gefundenen Mikroorganismen war, je geringer also die Ausschläge sind, welche durch leichte Verschiebungen der bestehenden Verhältnisse veranlasst werden. Man wird schon aus diesem Grunde vielleicht fortan auf eine möglichst geringe Keimzahl im Filtrat ein noch grösseres Gewicht legen als bisher, weil man eben dann hoffen darf, etwaige Abweichungen von der Norm mit um so grösserer Sicherheit zu erkennen.

Nach alledem müssen wir bei unseren, schon mehrfach in bestimmte Form gefassten Resultaten und ihrer Erklärung verharren und dürfen uns nunmehr wohl der Beantwortung der Frage zuwenden, welche praktischen Folgerungen aus unseren Versuchen hervorgehen werden.

Man könnte einen Augenblick geneigt sein, die Reinigung des Wassers auf dem Wege der Sandfiltration nach diesen Erfahrungen überhaupt in Acht und Bann zu thun und, weil sie nicht allen Erwartungen zu entsprechen im Stande ist, den Stab über sie zu brechen. Aber es wäre das sicherlich ein ungerechtes und unangebrachtes Verfahren. Prüft man vorurtheilslos die Ergebnisse, welche wir bei unseren Experimenten erhalten haben, so wird man im Gegentheil eher staunen müssen über die ganz ausserordentlichen Leistungen, mit welchen ein richtig geleitetes Sandfilter aufzuwarten vermag. Wir haben schon oben einmal gelegentlich von der Reduction gesprochen, welche sich bei einem Vergleich der oben auf ein Filter gelangenden und der unten aus demselben austretenden Bakterienmengen ergab. Dieselbe war eine sehr erhebliche, und nur derjenige, der von der bisherigen Anschauung von der absoluten Vollkommenheit der Sandfilter nicht lassen will, kann an derselben etwas auszusetzen haben.

Muss doch bei genauerer Ueberlegung die Forderung, dass ein Sandfilter wirklich völlig keimdicht filtriren solle, als eine nach Lage der Dinge gar nicht gerechtfertigte und ausserhalb unserer sämtlichen sonstigen Erfahrungen stehende bezeichnet werden. Für die Kleinfiltration ist es anerkanntermaassen bisher noch nicht geglückt, die Lösung des grossen Problems zu erreichen und einen Filtrirapparat herzustellen, der bei mittlerer Ergiebigkeit auch nur für einige Zeit alle Mikroorganismen abzufangen und zu beseitigen vermöchte — um wie viel weniger dürfen wir, an den unter erheblich ungünstigeren Bedingungen arbeitenden Grossbetrieb mit einem so weitgehenden Verlangen herantreten.

Freilich sind die Erfolge der Sandfiltration nur dann innerhalb ihrer Grenzen befriedigend, wenn dieselbe in sorgsamer und zielbewusster Weise gehandhabt wird. Es muss gerade dieser Punkt besonders hervor-

gehoben werden, weil er von Bedeutung für die Praxis ist. In dieser lassen sich gewisse Betriebsstörungen gar nicht vermeiden, wie die Erfahrung zur Genüge gezeigt hat, und jedes Mal, wenn ein solches Ereigniss eintritt, wird auch sofort der Filtrationseffect in einem mehr oder minder erheblichen Maasse angegriffen und die Mängel, die schon ein normal functionirender Apparat besitzt, in ganz unberechenbarem Maasse gesteigert. Derartige Zwischenfälle können mit einem Schlage die Ergebnisse langer mühevoller Arbeit vernichten, ganz plötzlich eine Infection der tieferen Filterschichten und des Filtrats veranlassen und so eventuell grosse Epidemien hervorrufen. Gerade diese Thatsache ist gewiss, selbst wenn man von allen anderen Bedenken völlig absieht, mehr wie geeignet, das Vertrauen zu den Leistungen des Verfahrens zu erschüttern; auf der anderen Seite fordert uns dieselbe aber eindringlich auf, das Vorkommen solcher Ereignisse nach Möglichkeit zu verhindern.

Manche Betriebsstörungen sind, wie wir eben schon sagten, kaum ganz auszuschliessen; Verwundungen des Filters, Verletzungen seiner obersten Schichten, kleine Risse und Sprünge der Deckhaut werden immer einmal vorkommen. Was sich aber vermeiden lässt, was vermieden werden muss, das sind diejenigen Schädigungen, die aus einer übermässigen, schonungslosen Ausbeutung der Filter hervorgehen. Wenn unser Wasserwerk Stralau im Frühjahr gezwungen wird, mit seinen wenigen bedeckten Filtern die ganze Arbeit zu leisten, weil die offenen Bassins dienstunbrauchbar sind, wenn im Hochsommer die Anforderungen so gewaltige werden, dass die Filter, bis auf's Aeusserste angestrengt, kaum dem Bedarf zu genügen vermögen, wenn Filtrationsgeschwindigkeiten von 200^{mm} und mehr in Wirksamkeit treten, so darf man sich nicht darüber wundern, dass die Erfolge mangelhafte sind und die Reinigung des Wassers kaum eine oberflächliche genannt werden kann.

Dazu kommt dann noch ein Umstand. Wir haben gesehen, dass die Menge der die Filter passirenden Mikroorganismen abhängig ist von der Menge der Keime im unfiltrirten Wasser. Diese Beobachtung legt uns die gebieterische Pflicht auf, dafür zu sorgen, dass für die Speisung der Filter stets ein möglichst reines, von organisirten Bestandtheilen freies Wasser zur Verwendung komme, welches den Filtern die Arbeit nicht unnöthig erschwert. Verhältnisse, wie sie zur Zeit für unser Wasserwerk vor dem Stralauer Thor zutreffen, müssen auch nach dieser Richtung hin als ganz unleidliche bezeichnet werden und machen die baldige Eröffnung der neuen Anlage am Müggelsee, der ein erheblich besseres Rohmaterial zur Verfügung stehen wird, besonders wünschenswerth.

Wir sahen ferner, dass die Schnelligkeit der Filtration von entscheidendstem Einfluss auf die Beschaffenheit des Filtrats ist und

also volle Berücksichtigung bei der Regelung des Betriebes verlangt. Allerdings ist diese Forderung eine sehr viel eingreifendere, als man auf den ersten Blick vielleicht annehmen möchte. Die Normalgeschwindigkeit, mit welcher die Berliner Sandfilter arbeiten, beträgt 100 mm, und das Tegeler Werk hält dieselbe in der That auch regelmässig ein, während Stralau, der Noth gehorchend, häufig weit über dieses Maass hinausgeht. Nun haben unsere Versuche ergeben, dass bei der genannten Bewegungsgrösse die Zurückhaltung der Mikroorganismen keineswegs in annähernd vollkommenem Maasse erfolgt. Freilich lieferten uns erheblich geringere Werthe, 50 mm und selbst 25 mm, auch keine ganz befriedigenden Resultate, aber der Unterschied, der bei einer Vergleichung der einzelnen hier in Betracht kommenden Zahlen sofort in die Augen springt, ist doch ein so grosser, dass er wohl den Wunsch rechtfertigt, die Geschwindigkeit weit unter die bisher übliche herabzusetzen und die Filtration mit höchstens 50 mm stattfinden zu lassen.

Das heisst aus Worten in Thatsachen übertragen, eine Verdoppelung der jetzigen und auch der beabsichtigten Anlagen nach Ausdehnung und Verwaltung, also für unsere Verhältnisse eine Ausgabe von vielen Millionen Mark. Diese kostspielige Folgerung, welche sich aus der Aufstellung des Satzes: „Nur eine langsame Filtration ist eine wirksame,“ ableitet, fällt gewiss nicht eben zu Gunsten der Sandfilter in's Gewicht und macht es begreiflich, dass die Specialtechnik sich sogar bemüht hat, gerade das Gegentheil zu erweisen¹ und darzuthun, das Resultat der Filtration werde nicht geschädigt, selbst wenn man mit Geschwindigkeiten arbeite, die für unsere Begriffe ganz ungeheuerliche sind, mit 400, selbst 500 mm in der Stunde.

Es ist hierauf einmal zu erwidern, dass die Befunde, welche die eben kurz angedeutete Anschauung erhärten sollen, alle so gewonnen sind, wie die oben ausführlich kritisirten Beobachtungen, d. h. allein auf einer Beurtheilung der unter natürlichen Bedingungen von den Filtern gelieferten Bacterienmengen fussen, also keineswegs einen unbedingt zuverlässigen Einblick in die wirklich vorliegenden Verhältnisse zu thun gestatten. Des Weiteren aber nehmen diejenigen Filter, an welchen diese auffallenden Ergebnisse ermittelt wurden, insofern eine ganz bevorzugte Ausnahmestellung ein, als sie mit einem besonders vortrefflichen Rohwasser zu rechnen haben, das an und für sich einer Reinigung leicht zugänglich ist. Denn nach dem eben Gesagten bedarf es wohl kaum noch einer eingehenden Erklärung, dass wenn die eine der beiden Bedingungen, die wir für das Zustandekommen eines guten Filtrationserfolges

¹ Bertschinger a. a. O.

erfüllt zu sehen wünschen, nämlich die Reinheit des unfiltrirten Wassers, in annäherndem Maasse gewährleistet wird, dann die andere, die Verlangsamung der Filtration, weit eher vernachlässigt werden oder zurücktreten kann, als im entgegengesetzten Falle.

Für die Einführung möglichst geringer Geschwindigkeiten im Filterbetriebe spricht aber noch ein anderes Moment; je energischer die Filter arbeiten, um so kürzer werden auch die einzelnen Perioden. Das hat einmal den Nachtheil, dass die quantitative Leistung auf die gleiche Zeit, beispielsweise das Jahr, berechnet, beim schnellen Filter häufig eine geringere ist, als beim langsamen, das gleichmässig weiter wirthschaftet und keine Unterbrechungen mit ihren nothwendigen Verlusten erfährt. Vor allen Dingen aber sind, wie unsere Versuche gezeigt haben, kurze Perioden deshalb von ausserordentlich ungünstigem Einfluss auch auf die Qualität des Filtrats, weil man bei jeder Eröffnung eines neuen Abschnitts auf eine recht geraume Frist gefasst sein muss, bis das Filter eine wirksame Beschaffenheit erlangt hat. Vorher hat es nur die Eigenschaften eines feinen Siebes und lässt grosse Mengen von Bacterien anstandslos passiren.

Wohl wird dieser Thatsache auch bei dem bisherigen Betriebe schon Rechnung getragen und das während der ersten 24 Stunden aus den Filtern ablaufende Wasser nicht weiter verwerthet. Doch muss diese Schonzeit nach den eben mitgetheilten Resultaten als eine zu geringe erscheinen, und es sind auch nur die Anforderungen des dringenden Bedarfs, welche diese Grenze festgesetzt haben. Selbst im besten Falle aber, selbst wenn man mehrere Tage hindurch auf den Ertrag der Filter verzichten wollte und könnte, wird damit ein Mangel nicht aus der Welt geschafft, dessen Bedeutung gewiss keine geringe ist, nämlich die Verunreinigung oder, wie wir sagen können, die Infection der tieferen Filterschichten, die im Beginn einer jeden neuen Periode in Folge der Undichtheit der Filteroberfläche statthaben muss. Dieselbe ist um so bedenklicher, als etwaigen Krankheitskeimen, die erst bis hierhin einmal vorgedrungen sind, nun kein weiteres Hinderniss mehr in den Weg gelegt werden kann, früher oder später in das Filtrat überzugehen. Es ist das ein Fehler, der in der Natur der Sache selbst begründet ist und sich deshalb vollständig überhaupt nicht beseitigen lassen wird; aber er kann gemildert und in seinen Folgen abgeschwächt werden dadurch, dass man mit möglichst geringen Filtrationsgeschwindigkeiten arbeitet, welche die Einführung langer Perioden gestatten und jene verhängnissvollen Unterbrechungen auf das nothwendigste Maass beschränken.

Auf jeden Fall sind die Sandfilter, selbst wenn ihr Betrieb von berufenster und sachkundigster Hand, unter Be-

rücksichtigung der von uns ermittelten Thatsachen geleitet wird, doch nicht im Stande, eine vollständige Sicherheit für ausreichende Säuberung des Trinkwassers von schädlichen, infectiösen Stoffen zu geben. Mag man auch, unter Hinweis auf unsere Zahlen, die Wahrscheinlichkeit des Ueberganges pathogener Bacterien in das Filtrat als eine sehr geringfügige hinstellen, mag man hervorheben, dass so gewaltige Mengen von gefährlichen Mikroorganismen, wie sie in unseren Versuchen verwendet wurden, um den Durchtritt durch die Filter zu erzwingen, unter natürlichen Verhältnissen niemals vorkommen werden, so muss man doch zunächst die Möglichkeit eines derartigen unglücklichen Zufalls unbedingt zugeben. Und weiter wird uns eine nähere Ueberlegung dahin führen, auch auf unsere scheinbar günstigen Befunde nicht mit allzu grossem Vertrauen hinzublicken. Die Quantität des untersuchten Filtrates betrug jedesmal nur 1 cm³, war ein verschwindend kleiner Bruchtheil der Gesamtmenge, und wenn sich hier im gegebenen Falle nur wenige pathogene Keime entdecken lassen, so werden daraus doch, auf das Ganze berechnet, recht erhebliche Zahlen, die genügen, um die ausgedehnteste Epidemie zu veranlassen.

Nimmt man endlich an, dass die Bacterien sich innerhalb des Filters vermehren und durch dasselbe hindurchwachsen können, so vermag schon ein einziger Anfangskeim auf diesem Wege schliesslich das grösste Unheil anzurichten. Wir wissen gerade von den Typhusbacillen, dass sie nicht eben sehr empfindlicher Natur sind und sich in Concurrenz mit anderen, saprophytischen Arten über längere Zeit im Wasser zu halten, ja selbst zu entwickeln vermögen, und namentlich während der Sommermonate sind die für ihr Gedeihen sonst erforderlichen Bedingungen, günstige Temperaturverhältnisse u. s. w., in unseren Filtern jeder Zeit vorhanden.

So muss der unbedingte Glaube an die Zuverlässigkeit der Sandfilter allerdings eine entschiedene Einschränkung erfahren, und wenn wir an die Stelle zurückkehren, von der wir ausgegangen sind, so wird die Frage, ob das Berliner Leitungswasser im Zusammenhange mit der im Frühling dieses Jahres beobachteten Typhusepidemie gestanden habe, zwar nicht rückhaltslos bejaht, aber sicherlich ebensowenig kurzer Hand verneint werden können. Im Hinblick auf die schon erwähnten epidemiologischen Thatsachen wird man mit Recht sogar der Meinung zuneigen, dass eine derartige Beziehung zwischen Ursache und Wirkung in der That bestanden habe.

Lässt sich an diesen wenig idealen Zuständen etwas ändern? Es ist hier natürlich nicht der Ort, umfangreiche Verbesserungsvor-

schläge zu machen und zu erörtern; es wird vielmehr genügen, wenn wir ganz kurz auf die wesentlichsten Punkte hinweisen, die nach dieser Richtung in Betracht zu ziehen wären.

Von den Maassnahmen, durch welche die Sandfiltration selbst auf die Höhe erreichbarer Vollkommenheit gebracht werden kann, (reines Rohmaterial, langsame Filtration, verständige Behandlung der Filter,) haben wir bereits des Eingehenderen gesprochen, und es wird Sache der speciellen Filtertechnik sein müssen, diese Punkte noch im Einzelnen näher zu formuliren und die Ueberführung der aufgestellten Grundsätze in die Praxis zu bewirken.

Will man auf die Benutzung der Sandfiltration ganz verzichten, so kann nur eine Wasserversorgung in Frage kommen, die entweder reines, der nachträglichen Säuberung nicht mehr bedürftiges Oberflächenwasser verwerthet, also eine Hochquellenleitung, oder eine Hebung und Verwendung des Grundwasserstromes. Beides hat seine Bedenken; von den Mängeln der erstgenannten Einrichtung wissen Wien, Frankfurt, Wiesbaden und andere Orte ein Lied zu singen, die alle die Erfahrung haben machen müssen, dass die Menge des so gewonnenen Wassers nur allzu oft dem Bedarf nicht zu entsprechen vermag und dann ein zeitweiliger oder gar dauernder Ersatz durch minderwerthiges Wasser eintreten muss, wodurch natürlich die Vorthelle der ganzen Anlage illusorisch werden.

Das Grundwasser hat an und für sich gewiss alle Eigenschaften, die es zum Gebrauche empfehlenswerth machen. Die atmosphärischen Niederschläge erfahren bei ihrem langsamen Durchgange durch den Boden eine Veredelung in jeder Hinsicht und werden so zu einem wahren Genussmittel, im Gegensatz zum gewöhnlichen Oberflächenwasser, dem Niemand diesen Titel zuerkennen wird, der einmal während der Sommermonate das lauwarme, fade schmeckende filtrirte Spreewasser zu trinken genöthigt war.

Des Weiteren wird das Wasser auf seinem Wege zu den tieferen Schichten aber auch so vollständig von etwaigen schädlichen Stoffen befreit, wie dies durch kein sonstiges Mittel erreicht werden kann. Unmittelbare Untersuchungen¹ haben gezeigt, dass selbst das verhältnissmässig dicht unter der stark verunreinigten Oberfläche des Berliner Bodens fliessende Grundwasser völlig bacterienfrei ist, eine Thatsache, die ihre Erklärung findet in der filtrirenden, zurückhaltenden Kraft des Bodens. Derselbe wirkt wie ein gewaltiges Sandfilter, nur mit dem Unter-

¹ C. Fränkel, Untersuchungen über den Keimgehalt des Grundwassers u. s. w. *Diese Zeitschrift*, Bd. VI.

schiede, dass er unter erheblich günstigeren Verhältnissen arbeitet als ein solches, vor allen Dingen mit einer so verlangsamten Bewegung der Wassertheilchen zu rechnen hat, wie wir sie bei der künstlichen Filtration niemals erreichen können.

Gegenüber diesen Vorzügen hat das Grundwasser aber auch seine Mängel. Es ist wenigstens in unseren Gegenden, sobald es aus etwas tieferen Schichten stammt, durchweg eisenhaltig. Die in ihm gelösten Eisenoxydulverbindungen gehen mit dem Augenblick, wo sie an die Oberfläche gefördert werden und in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft kommen, in die Oxyde über und fallen als solche aus. Der auf diese Weise in den Leitungen abgelagerte Eisenschlamm dient regelmässig dem Brunnenfaden, der *Crenothrix polyspora* als Brutstätte; der Fadenpilz verstopft die Röhren, bräunlich gefärbte Theile des Eisensatzes trüben das Wasser, und so kommt es zur Ausbildung aller jener Uebelstände, welche wir hier in Berlin in wahrhaft klassischer Weise haben studiren können, und die uns gerade veranlasst haben, von dieser Art der Wasserversorgung abzugehen.

Nun verfügen wir zur Zeit aber schon über Mittel, diesem Mangel dadurch fast vollständig zu begegnen, dass man das Wasser, bevor es in die Leitungen eintritt, von seinem Eisengehalt befreit, und von dieser Seite wäre also wohl gegen den Gebrauch des Grundwassers nichts mehr einzuwenden.

Dagegen ist ein anderes Bedenken schwerwiegender. So erhebliche Mengen von Wasser, wie sie eine grosse Stadt täglich verbraucht, lassen sich dem Grundwasserströme nicht entnehmen, ohne dass er unter Umständen leidet und schliesslich in Gefahr geräth zu versiegen, eine Möglichkeit, die jedenfalls in Betracht gezogen werden muss, damit man vor unliebsamen Enttäuschungen bewahrt bleibe.

Wo der Bedarf freilich kein so gewaltiger oder der Strom des Grundwassers ein so mächtiger ist, dass eine Erschöpfung desselben nicht zu befürchten, da wird sich, wie wir glauben, in Zukunft die Aufmerksamkeit der betheiligten Kreise mit Vortheil wieder mehr dem unterirdischen Wasser und seiner Verwerthung zuwenden, und die immerhin unzuverlässigen Erfolge der Sandfiltration mögen das ihrige dazu beitragen, uns von einem unnöthigen Verzicht auf die unter unseren Füßen strömenden Wasservorräthe abzuhalten.

Tabelle Ia. (Wasserwerke.)

1889	Unfiltrirtes Wasser		Filtrirtes Wasser aus Filter A				Filtrirtes Wasser aus Filter B				Täglich abfiltrirte Wassermenge	
	Keime in 1 cem		Keime in 1 cem		stündl. Filtr.-Geschw.	verbrauchter Druck	Keime in 1 cem		stündl. Filtr.-Geschw.	verbrauchter Druck	Liter	
	insgesamt	davon viol.	insgesamt	davon viol.	mm	mm	insgesamt	davon viol.	mm	mm	A	B
Juni 1.	25344	1920	6318	972	300	70	7540	825	100	32	2880	960
„ 2.	43100	4620	400	10	300	68	—	—	100	34	2880	960
„ 3.	6102	mehrere	2604	6	300	70	1427	3	100	26	2880	960
„ 4.	3860	62	?	5	300	73	?	0	100	28	2880	960
„ 5.	—	—	—	—	300	78	—	—	100	30	2880	960
„ 6.	5656	61	551	2	300	77	261	0	100	30	2880	960
„ 7.	17650	300	442	0	300	78	218	0	100	28	2880	960
„ 8.	4083	3483	327	2	300	80	537	2	100	28	2880	960
„ 9.	14900	510	202	1	300	85	336	7	100	30	2880	960
„ 10.	9780	5940	270	2	300	108	344	6	100	30	2880	960
„ 11.	11220	180	186	8	300	155	320	11	100	30	2880	960
„ 12.	13180	520	517	41	300	188	258	2	100	30	2880	960
„ 13.	—	—	—	—	300	210	—	—	100	30	2880	960
„ 14.	1260	fast nur blaue	420	245	300	230	230	40	100	32	2880	960
„ 15.	—	—	—	—	300	252	—	—	100	34	2880	960
„ 16.	sehr viele	fast nur blaue	452	177	300	274	620	115	100	37	2880	960
„ 17.	—	—	—	—	300	304	—	—	100	40	2880	960
„ 18.	23098	fast nur blaue	727	146	300	337	426	76	100	44	2880	960
„ 19.	—	—	—	—	300	379	—	—	100	47	2880	960
„ 20.	13846	fast nur blaue	356	42	300	453	227	26	100	50	2880	960
„ 21.	—	—	—	—	300	520	—	—	100	51	2880	960
„ 22.	2489	26	1326	107	300	665	260	64	100	53	2880	960
„ 23.	—	—	—	—	300	700	—	—	100	54	2880	960
„ 24.	1386	2	203	28	300	728	240	6	100	52	2880	960
„ 25.	—	—	—	—	300	762	—	—	100	52	2880	960
„ 26.	268	2	87	20	300	800	93	3	100	53	2880	960
„ 27.	—	—	—	—	300	847	—	—	100	55	2880	960
„ 28.	433	1	128	32	300	852	106	0	100	55	2880	960
„ 29.	—	—	—	—	300	858	—	—	100	57	2880	960
„ 30.	363	0	102	20	300	—	120	0	100	58	2880	960
Sa.				894				361			86400	28880

Tabelle Ib. (Hygienisches Institut.)

1889	Unfiltrirtes Wasser		Filtrirtes Wasser aus Filter A				Filtrirtes Wasser aus Filter B				Täglich abfiltrirte Wassermenge	
	Keime in 1 ccm		Keime in 1 ccm		stündl. Filtr.-Geschw.	verbraucher Druck	Keime in 1 ccm		stündl. Filtr.-Geschw.	verbraucher Druck	Liter	
	insge- sammt	davon viol.	insge- sammt	davon viol.	mm	mm	insge- sammt	davon viol.	mm	mm	A	B
	—	—	—	—	300	70	—	—	100	32	—	—
Juni 1.	—	—	—	—	300	70	—	—	100	32	2880	960
„ 2.	30000	5200	490	14	300	68	1400	22	100	34	2880	960
„ 3.	7800	380	1600	6	300	70	1280	2	100	26	2880	960
„ 4.	3800	sehr viele	360	8	300	73	40	3	100	28	2880	960
„ 5.	4000	2	210	8	300	78	36	2	100	30	2880	960
„ 6.	7000	90	410	4	300	77	196	1	100	30	2880	960
„ 7.	1800	360	320	2	300	78	124	0	100	28	2880	960
„ 8.	6000	400	140	2	300	80	440	3	100	28	2880	960
„ 9.	14000	fast nur viol.	180	0	300	85	230	1	100	30	2880	960
„ 10.	26000	?	200	0	300	108	1200	0	100	30	2880	960
„ 11.	12000	160	170	6	300	155	320	14	100	30	2880	960
„ 12.	14000	420	432	22	300	188	256	20	100	30	2880	960
„ 13.	4900	350	—	14	300	210	116	18	100	30	2880	960
„ 14.	12000	nur viol.	390	264	300	230	290	48	100	32	2880	960
„ 15.	1920	nur viol.	320	70	300	252	190	50	100	34	2880	960
„ 16.	un- zählig	un- zählig	400	180	300	274	310	65	100	37	2880	960
„ 17.	sehr viele	sehr viele	490	96	300	304	250	46	100	40	2880	960
„ 18.	sehr viele	sehr viele	630	160	300	337	390	68	100	44	2880	960
„ 19.	13200	fast nur viol.	890	110	300	379	244	48	100	47	2880	960
„ 20.	viele	viele	442	22	300	453	438	11	100	50	2880	960
„ 21.	?	?	236	64	300	520	196	42	100	51	2880	960
„ 22.	?	?	1100	96	300	665	?	50	100	53	2880	960
„ 23.	2300	19	1100	160	300	700	620	40	100	54	2880	960
„ 24.	1200	5	190	60	300	728	190	20	100	52	2880	960
„ 25.	980	10	190	22	300	762	170	16	100	52	2880	960
„ 26.	420	0	220	22	300	800	160	13	100	53	2880	960
„ 27.	120	4	214	36	300	847	96	0	100	55	2880	960
„ 28.	460	0	112	21	300	852	110	1	100	55	2880	960
„ 29.	212	0	150	40	300	858	120	2	100	57	2880	960
„ 30.	?	0	130	69	300	—	110	1	100	58	2880	960
Sa.				1578				607			86400	28800

Tabelle IIa. (Wasserwerke.)

1889	Unfiltrirtes Wasser		Filtrirtes Wasser aus Filter <i>A</i>				Filtrirtes Wasser aus Filter <i>B</i>				Täglich abfiltrirte Wassermenge	
	Keime in 1 cem		Keime in 1 cem		stündl. Filtr.-Geschw.	verbrauchter Druck	Keime in 1 cem		stündl. Filtr.-Geschw.	verbrauchter Druck	Liter	
	insgesamt	davon viol.	insgesamt	davon viol.			mm	mm			insgesamt	davon viol.
Juli 5.	—	—	—	—	300	180	—	—	50	37	2880	480
„ 6.	—	—	—	—	300	135	—	—	50	32	2880	480
„ 7.	—	—	—	—	300	211	—	—	50	44	2880	480
„ 8.	un-zählige	fast nur viol.	516	29	300	344	733	8	50	59	2880	480
„ 9.	—	—	—	—	300	402	—	—	50	57	2880	480
„ 10.	sehr viele	fast nur viol.	370	30	300	588	?	8	50	59	2880	480
„ 11.	—	—	—	—	300	710	—	—	50	60	2880	480
„ 12.	sehr viele	fast nur viol.	286	2	300	1048	143	0	50	63	—	480
„ 13.	gereinigt				300	124	—	—	50	63	2880	480
„ 14.	53552	sehr viel viol.	?	36	300	212	130	0	50	65	2880	480
„ 15.	—	—	—	—	300	340	—	—	50	64	2880	480
„ 16.	19832	fast nur viol.	786	49	300	400	?	3	50	78	2880	480
„ 17.	—	—	—	—	300	584	—	—	50	89	2880	480
„ 18.	20800	fast nur viol.	620	65	300	787	659	2	50	102	2880	480
„ 19.	—	—	—	—	300	840	—	—	50	120	2880	480
„ 20.	3145	fast nur viol.	?	6	300	1048	?	2	50	178	2880	480
„ 21.	gereinigt				—	—	—	—	50	210	—	480
„ 22.	21833	fast nur viol.	482	48	300	126	446	0	50	224	2880	480
„ 23.	—	—	—	—	300	198	—	—	50	236	2880	480
„ 24.	2620	fast nur viol.	191	10	300	335	940	3	50	258	2880	480
„ 25.	—	—	—	—	300	396	—	—	50	295	2880	480
„ 26.	22792	fast nur viol.	432	16	300	467	435	0	50	350	2880	480
„ 27.	—	—	—	—	300	588	—	—	50	397	2880	480
„ 28.	60000	fast nur viol.	93	10	300	700	272	0	50	490	2880	480
„ 29.	—	—	—	—	300	834	—	—	50	600	2880	480
„ 30.	24560	fast nur viol.	265	37	300	968	370	3	50	720	2880	480
„ 31.	—	—	—	—	300	1060	—	—	50	810	2880	480
Aug. 1.	30620	fast nur viol.	104	7	300	1060	280	8	50	968	2880	480
„ 2.	gereinigt				300	—	—	—	50	1060	—	480
Sa. (vom ganzen Monat)					345				37		74880	13920

Tabelle IIb. (Hygienisches Institut.)

1889	Unfiltrirtes Wasser		Filtrirtes Wasser aus Filter A				Filtrirtes Wasser aus Filter B				Täglich abfiltrirte Wassermenge		
	Keime in 1 cem		Keime in 1 cem		stündl. Filtr.-Geschw.	verbraucher Druck	Keime in 1 cem		stündl. Filtr.-Geschw.	verbraucher Druck	Liter		
	insgesamt	davon viol.	insgesamt	davon viol.	mm	mm	insgesamt	davon viol.	mm	mm	A	B	
Juli 5.	—	—	—	—	300	180	—	—	50	37	2880	480	
„ 6.	—	—	620	60	300	135	580	61	50	32	2880	480	
„ 7.	—	—	320	80	300	211	240	40	50	44	2880	480	
„ 8.	un-zählige	un-zählige	420	40	300	344	?	28	50	59	2880	480	
„ 9.	„	„	130	18	300	402	110	4	50	57	2880	480	
„ 10.	„	„	270	30	300	588	16	10	50	59	2880	480	
„ 11.	„	„	110	1	300	710	48	5	50	60	2880	480	
„ 12.	„	„	156	21	300	1048	92	1	50	63	2880	480	
„ 13.	gereinigt				300	124	130	0	50	63	—	480	
„ 14.	un-zählige	un-zählige	1390	130	300	212	26	0	50	65	2880	480	
„ 15.	„	„	240	50	300	340	14	0	50	64	2880	480	
„ 16.	„	„	460	90	300	400	14	2	50	78	2880	480	
„ 17.	„	„	520	60	300	584	13	3	50	89	2880	480	
„ 18.	„	„	420	26	300	787	129	3	50	102	2880	480	
„ 19.	„	„	320	40	300	840	286	2	50	120	2880	480	
„ 20.	„	„	160	28	300	1048	31	3	50	178	2880	480	
„ 21.	gereinigt				112	300	—	114	1	50	210	—	480
„ 22.	un-zählige	un-zählige	560	116	300	126	230	1	50	224	2880	480	
„ 23.	„	„	220	40	300	198	116	1	50	236	2880	480	
„ 24.	„	„	160	26	300	335	230	2	50	258	2880	480	
„ 25.	„	„	110	22	300	396	61	2	50	295	2880	480	
„ 26.	„	„	210	15	300	467	260	1	50	350	2880	480	
„ 27.	„	„	62	8	300	588	220	1	50	397	2880	480	
„ 28.	„	„	96	12	300	700	210	1	50	490	2880	480	
„ 29.	„	„	31	5	300	834	60	4	50	600	2880	480	
„ 30.	„	„	110	4	300	968	43	14	50	720	2880	480	
„ 31.	„	„	90	15	300	1060	96	21	50	810	2880	480	
Aug. 1.	„	„	90	6	300	1060	107	20	50	968	2880	480	
„ 2.	gereinigt				6	300	—	—	34	50	1060	—	480
Sa. (vom ganzen Monat)			1061				265				74880	13920	

Tabelle III a. (Wasserwerke.)

1889	Unfiltrirtes Wasser					Filtrirtes Wasser aus Filter A					Filtrirtes Wasser aus Filter B					Täglich abfiltrirte Wassermenge Liter		Bemerkungen			
	1 cem. enthielt entwicklungsfähige Keime					1 cem. enthielt entwicklungsfähige Keime					1 cem. enthielt entwicklungsfähige Keime					A	B				
	insges.	viol.	typh.	chol.	andere	insges.	viol.	typh.	chol.	andere	stündl. Filtr.-Geschw.	verbraucht. Druck	insges.	viol.	typh.				chol.	andere	stündl. Filtr.-Geschw.
Aug. 13.						—	—	—	—	—	300	140	—	—	—	—	—	50	34	2880	480
" 14.						—	—	—	—	—	300	147	—	—	—	—	—	50	35	2880	480
" 15.						6612	30	12	fraglich	—	300	179	—	5	6	3	—	50	37	2880	480
" 16.						—	—	—	—	—	300	210	—	—	—	—	—	50	42	2880	480
" 17.						520	26	17	10	—	300	245	—	912	6	2	2	50	43	2880	480
" 18.						—	—	—	—	—	300	300	—	—	—	—	—	50	47	2880	480
" 19.						1413	19	12	vorhanden; Zahl nicht festzustellen	—	300	360	—	166	2	1	fragl.	50	53	2880	480
" 20.						—	—	—	—	—	300	425	—	—	—	—	—	50	68	2880	480
" 21.						617	17	28	5	—	300	505	—	123	1	1	2	50	74	2880	480
" 22.						225	10	38	8	—	300	634	—	140	1	fragl.	1	50	79	2880	480
" 23.						—	2	16	3	—	300	806	—	77	0	0	0	50	87	2880	480
" 24.						1722	0	18	fraglich	—	300	973	—	100	2	12	fragl.	50	105	2880	480
" 25.							104	141	26	—			—	17	22	8	—	50	130	34560	480
" 26.						—	—	—	—	—	25	25	—	—	—	—	—	50	175	240	480
" 27.						470	0	0	0	—	25	27	—	480	3	6	5	50	236	240	480
" 28.						—	—	—	—	—	25	45	—	—	—	—	—	50	367	240	480
" 29.						—	—	—	alles verlaufen	—	25	90	—	2408	0	0	0	50	508	240	480
" 30.						—	—	—	—	—	25	115	—	—	—	—	—	50	610	240	480
" 31.						—	—	—	alles verlaufen	—	25	122	—	—	—	—	—	50	635	240	480
Sept. 1.						—	—	—	—	—	25	133	—	—	—	—	—	50	740	240	480
" 2.						3929	0	0	?	—	25	135	—	2618	0	0	mehrere	50	867	240	480
" 3.						—	—	—	—	—	25	148	—	—	—	—	—	50	1008	240	480
" 4.						?	2	nicht sicher fest-	—	—	25	170	—	—	3	4	3	50	1008	240	480
" 5.						—	—	—	—	—	25	178	—	—	—	—	—	50	—	240	480
Summa																				2460	11520

Pro Tag ca. 500 ^{cem} Bouillon in das Mischgefäss aufgeben: zur Speisung von je 125 ^{cem} unfiltrirtes Spreewasser verwendet.

Pro Tag ca. 500 cem Bouillon in Portionen von je 125 cem in das Mischgefäß aufgegeben; zur Speisung des unfiltrirten Sphreewassers verwendet.

nicht festzustellen

Summa

Summa

Tabelle III b. (Hygienisches Institut.)

1889	Unfiltrirtes Wasser					Filtr. Wasser aus Filter A					Filtr. Wasser aus Filter B					Täglich abfiltrirte Wassermenge Liter		Bemerkungen		
	1 cem enthielt entwickelte Keime					1 cem enthielt entwickelte Keime					1 cem enthielt entwickelte Keime					A	B			
	insges.	viol.	typh.	chol.	anthr.	insges.	viol.	typh.	chol.	stündl. Filtr.-Geschw.	verbrauchter Druck	insges.	viol.	typh.	chol.	stündl. Filtr.-Geschw.	verbrauchter Druck			
Aug. 13.	220	—	—	—	—	220	—	—	—	300	140	—	4	—	—	50	34	2880	480	Filter A gereinigt. Filter B arbeitet ohne Unterbrechung weiter.
14.	3500	58	9	14	—	1120	60	9	1	300	147	420	5	4	—	50	35	2880	480	
15.	430	8	3	—	—	290	38	14	18	300	210	190	10	1	—	50	37	2880	480	
16.	430	8	3	1	—	290	38	14	18	300	245	220	1	3	—	50	42	2880	480	
17.	290	38	14	18	—	480	50	15	9	300	300	43	6	—	2	50	47	2880	480	
18.	480	50	15	9	—	110	22	14	56	300	360	63	1	3	—	50	53	2880	480	
19.	110	22	14	56	—	120	20	14	12	300	425	42	0	4	—	50	68	2880	480	
20.	120	20	14	12	—	620	16	58	6	300	505	92	0	0	—	50	74	2880	480	
21.	620	16	58	6	—	290	8	10	2	300	638	102	0	1	—	50	79	2880	480	
22.	290	8	10	2	—	210	6	4	6	300	806	43	3	0	1	50	87	2880	480	
23.	210	6	4	6	—	1300	2	4	—	300	973	100	1	1	—	50	105	2890	480	
24.	1300	2	4	—	—															
25.	Summa					288	154	124	—	—	—	—	31	17	3	50	130	34560	480	
26.	300	1	3	—	—	300	1	3	—	25	25	—	11	—	—	50	175	240	480	Filter A und B abgestellt.
27.	220	2	1	3	—	220	2	1	3	25	27	430	4	0	—	50	236	240	480	
28.	230	2	1	5	—	1200	0	0	0	25	90	196	4	2	—	50	367	240	480	
29.	1900	0	0	0	—	1190	0	0	0	25	115	230	0	3	0	50	610	240	480	
30.	1190	0	0	0	—	1490	0	0	0	25	133	296	4	0	2	50	635	240	480	
31.	1490	0	0	0	—	1200	0	0	0	25	135	416	10	2	1	50	740	240	480	
Sept. 1.	1200	0	0	0	—	130	2	3	0	25	148	160	4	4	0	50	867	240	480	
2.	130	2	3	0	—	160	1	0	3	25	170	42	16	4	5	50	1008	240	480	
3.	160	1	0	3	—	—	—	—	—	25	178	40	2	2	0	50	—	240	480	
4.	—	—	—	—	—	8	8	11	—	—	—	—	66	22	8	—	—	2640	11520	
5.	—	—	—	—	—	Summa	8	8	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Filter A und B
abgestellt.

Tabelle IV.

1889	Unfiltrirtes Wasser					Filtrirtes Wasser aus Filter A					Filtrirtes Wasser aus Filter B					Täglich abfiltrirte Wassermenge Liter				
	1 cem. enthielt entwicklungsfähige Keime					1 cem. enthielt entwicklungsfähige Keime					1 cem. enthielt entwicklungsfähige Keime					A	B			
	Insgesamt	viol.	typh.	chol.	andhr.	Insges.	reineigt und angefüllt				Insges.	reineigt und angefüllt						stündl. Filtr.-Geschw.	Verbrauchter Druck	
							(330)	(0)	(2)	(0)		(616)	(0)	(3)	(0)					
Sept. 6.	—	—	—	—	—	75	0	0	0	0	41	31	0	0	0	50	56	240	480	
" 9.	—	—	—	—	—	35	0	0	1	25	43	118	0	3	1	50	60	240	480	
" 12.	28800	?	?	?	?	19	0	0	0	25	57	71	0	1	3	50	78	240	480	
" 15.	3080	80	160	"	0	31	0	0	0	25	74	202	0	0	0	50	100	240	480	
" 16.	14490	?	55	"	0	32	0	0	0	1	25	77	119	0	1	0	50	100	240	480
" 17.	5620	?	—	"	0	108	0	0	0	2	25	78	117	1	0	1	50	102	240	480
" 18.	5060	?	—	"	0	60	0	1	2	25	78	66	1	0	4	50	102	240	480	
" 19.	5291	155	—	"	0	34	0	1	0	25	78	89	0	0	0	50	103	240	480	
" 20.	18000	1380	20	"	0	144	0	1	0	25	78	113	1	0	4	50	103	240	480	
" 21.	2460	40	21	"	0	33	0	2	1	25	79	118	1	3	2	50	104	240	480	
" 22.	19315	1430	150	"	0	88	0	0	1	25	79	296	1	2	3	50	104	240	480	
" 23.	38050	3330	65	"	0	73	0	1	1	25	79	453	4	9	6	50	105	240	480	
" 24.	19700	1324	100	1000	0	147	0	1	1	25	79	680	4	9	6	50	105	240	480	
" 25.	19400	1870	180	1200	0	53	0	3	0	25	79	219	2	8	4	50	107	240	480	
" 26.	65200	800	450	zahlr.	0	381	0	0	0	25	79	167	2	5	3	50	108	240	480	
" 27.	117000	1400	200	"	0	57	0	1	0	25	80	180	3	2	1	50	110	240	480	
" 28.	139130	550	300	"	0	49	0	0	0	25	81	125	2	2	1	50	110	240	480	
" 29.	101200	1900	400	"	0	20	0	1	0	25	83	194	2	6	2	50	111	240	480	
" 30.	44500	10400	473	"	0	68	0	1	1	25	84	150	0	2	2	50	111	240	480	
Oct. 1.	55000	2450	376	"	0	49	0	1	1	25	84	150	0	2	2	50	111	240	480	
" 2.	30150	1050	800	"	0	55	1	1	1	25	84	150	0	2	2	50	111	240	480	
" 3.	53200	600	650	200	0	65	1	2	0	25	84	93	0	0	0	50	113	240	480	
" 4.	50500	1113	700	zahlr.	0	49	1	0	0	25	85	102	2	1	1	50	113	240	480	
" 5.	53200	725	330	400	0	310	0	0	0	25	85	151	1	2	8	50	114	240	480	
" 6.	29200	2700	200	zahlr.	0	42	0	0	0	25	86	128	20	12	12	50	115	240	480	
" 7.	42800	9100	?	?	0	91	0	0	0	25	87	110	12	10	9	50	116	240	480	
" 9.	69300	6025	500	400	0	237	5	0	0	25	88	158	9	13	10	50	117	240	480	
" 11.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	—	—	50	119	240	480	
" 13.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Red.-V.	1029586	48422	5810	4000	—	2291	8	15	11	—	—	4253	70	93	93	—	6240	12480	—	
						1:450	1:6000	—	—	—	—	1:240	1:700	—	—	—				

Erläuterung zu Tafel I.

Die rothen Ziffern bedeuten die Berliner Standesamtsbezirke, deren officielle, im Communalblatt der Stadt Berlin veröffentlichte Listen der hier durch verschiedene Tönung bezeichneten Abgrenzung der Stadttheile zu Grunde gelegen haben. Die Bezirke mit hohen Zahlen sind roth, die mit mittleren röthlich, die fast völlig oder völlig verschont gebliebenen weiss gehalten.