[Aus dem hygienischen Institut der Universität Kiel.]

Ueber das Grundwasser von Kiel mit besonderer Berücksichtigung seines Eisengehaltes und über Versuche zur Entfernung des Eisens aus demselben.

Von

Prof. Dr. **Bernhard Fischer**,
Director des hygienischen Instituts in Kiel.

(Hierzu Taf. III.)

Die jüngste Choleraepidemie hat in besonders deutlicher Weise erkennen lassen, welche hervorragende Rolle das Wasser und namentlich das Trinkwasser bei der Verbreitung dieser Krankheit spielt, und finden wir es daher erklärlich, wenn sich in der letzten Zeit mehr als je das allgemeine Interesse der Frage der Wasserversorgung der Gemeinwesen zugewendet hat. Von allen Seiten wurde hierbei das Verlangen nach einem unverdächtigen, d. h. nach einem unter allen Umständen von Krankheitsstoffen freien Wasser geäußert. Ein solches glaubte man früher aus dem gewöhnlich in reichlichem Maasse zur Verfügung stehenden Wasser der fließenden oder stehenden Gewässer, aus dem sogenannten Oberflächenwasser mit Hülfe der üblichen Sandfiltration zu gewinnen. Man nahm an, dass man aus dem Wasser die in dasselbe vermöge seiner oberflächlichen Lage hineingelangten Verunreinigungen und darunter auch etwaige Krankheitsstoffe durch die Filtration mit aller Sicherheit zurückzuhalten im Stande sei. Seitdem nun aber bei einer im Frühjahr 1889 in Berlin, sowie bei einigen in den letzten Jahren in Altona vorgekommenen Typhusepidemien die epidemiologischen Nachforschungen mit zwingender Nothwendigkeit auf das Leitungswasser, d. h. auf das filtrirte Flusswasser als Vermittler für die Verbreitung der Typhus-

keime hingewiesen haben, und seitdem Fränkel und Piefke.¹ bei ihren bekannten, durch die erwähnte Berliner Typhusepidemie veranlassten Untersuchungen den Beweis geliefert haben, dass auch bei der sorgfältigsten Ausführung der Sandfiltration ein Hindurchgehen von Keimen, darunter auch der Krankheitserreger von Typhus und Cholera, durch das Filter stattfindet, haben unsere Anschauungen über die Leistungsfähigkeit der Sandfiltration eine wesentliche Einschränkung erfahren. Wir wissen jetzt, dass die Sandfiltration in der Reinigung der Wässer zwar Ausserordentliches, ja von allen mechanischen Reinigungsverfahren am meisten leistet, aber sie vermag uns doch nicht das von uns verlangte „unter allen Umständen von Krankheitsstoffen freie Wasser“ zu gewährleisten.

Dieser ersten und wichtigsten hygienischen Anforderung entspricht vielmehr nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen nur das von der Natur selbst bei seinem Durchgang durch den Boden gereinigte Wasser, das sogenannte Grundwasser, vorausgesetzt, dass es in geeigneter Weise gefördert wird. Aber gegen dieses besonders in neuester Zeit für die Wasserversorgung der Gemeinwesen warm empfohlene Grundwasser, welches auch sonst vielfache Vorzüge vor dem Oberflächenwasser besitzt, sind von jeher allerlei Bedenken erhoben worden. Vor allen Dingen soll die Beschaffung der nöthigen Menge, namentlich bei grösseren Gemeinwesen auf unüberwindliche Schwierigkeiten stossen, und ausserdem soll es sich wegen seines meist vorhandenen Eisengehaltes nicht zur Verwendung eignen.

Ein unumstösslicher Beweis dafür, dass sich für grössere Gemeinwesen die nöthige Menge aus dem Grundwasser in der nächsten Umgebung nicht beschaffen lässt, ist allerdings bisher nicht erbracht, und mit Recht bezeichnet daher Fränkel² die in Betreff der Menge erhobenen Bedenken als unbegründet, indem er zugleich darauf hinweist, dass bereits mehrere grössere Gemeinwesen ihren Bedarf aus dem Grundwasser ohne Schwierigkeit decken. Aber auch das zweite Bedenken hat an Gewicht bedeutend verloren, seitdem in der letzten Zeit einfache Verfahren zur Beseitigung des Eisens aus dem Wasser bekannt geworden sind.

Bei dieser augenblicklichen Lage der Dinge dürften die nachstehenden Mittheilungen vielleicht auch für weitere Kreise einiges Interesse bieten,

¹ C. Fränkel u. C. Piefke, Versuche über die Leistungen der Sandfiltration. *Diese Zeitschrift*. Bd.VIII. S. 1—40 und: Filteranlagen für städtische Wasserleitungen, Verhandlungen des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege in Braunschweig. *Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege*. Bd. XXIII. S. 38—94.

² C. Fränkel, Zur Frage der Wasserversorgung. *Deutsche medicin. Wochenschrift*. 1892. Nr. 41. S. 924.

denn sie betreffen ein grösseres, mit Grundwasser versorgtes Gemeinwesen, welches z. Z. damit umgeht, diese Grundwasserversorgung ganz wesentlich auszudehnen. Sie gestatten vermöge der auf zahlreiche Entnahmestellen ausgedehnten sowie der Jahre hindurch regelmässig ausgeführten Untersuchungen einen Einblick in das Verhalten des Grundwassers in örtlicher und zeitlicher Beziehung; sie lassen erkennen, wie sich das Grundwasser und besonders das Eisen in demselben unter natürlichen und künstlichen Bedingungen verhält, und sie bringen schliesslich die Erfahrungen, die in Kiel bei der Prüfung der bisher empfohlenen Enteisungsverfahren auf ihre Verwendbarkeit in der Praxis gewonnen worden sind.

I. Die Wasserversorgung der Stadt Kiel.

Die Stadt Kiel, am südlichen Ende der in fast nordsüdlicher Richtung tief in das Land einschneidenden Kieler Bucht und zwar auf deren westlichem Ufer belegen, mit einer Einwohnerzahl von etwa 70,000 Köpfen, besitzt eine Wasserleitung, die mit Grundwasser versorgt wird. Letzteres wird durch 2 Wasserwerke, das Gaardener und das Schulensee-Wasserwerk¹ zugeführt. Das erstere, im Dorfe Gaarden gelegen, befindet sich in nächster Nähe des südlichen Endes der Stadt Kiel. Es ist seit dem Jahre 1880 im Betrieb und bezieht das Wasser aus 17 gemauerten Kesselbrunnen, von denen 9 im sogenannten Eisenbahneinschnitt der Kiel-Altonaer Bahn südlich von der Pumpstation des Gaardener Wasserwerkes zu beiden Seiten des Bahnsteiges liegen, während die übrigen 8 Brunnen nordwestlich von der Pumpstation auf einem tiefliegenden, von einem kleinen Bach durchflossenen Wiesenterrain, der sogenannten Vollrathswiese, angelegt sind. Sämmtliche Brunnen sind bis zu 6—8^m Tiefe abgesenkt, und haben einen Durchmesser von 1.2—2^m.

Sie entsprechen den hygienischen Anforderungen, insofern sie in genügendem Abstand von menschlichen Wohnungen bleiben und sich auf einem Terrain befinden, zu welchem das Publikum keinen Zutritt hat. Die Umgebung der Brunnen ist mit Gras bewachsen bezw. unbebaut, ein Aufbringen von Dung findet nicht statt. Die Brunnen sind in ihrem oberen Abschnitt thunlichst abgedichtet, der Brunnenkranz überragt um $\frac{1}{2}$ —1^m das umgebende Erdreich. Sämmtliche Brunnen sind bedeckt, die „Einschnittbrunnen“ haben eiserne, die „Vollrathswiesenbrunnen“ hölzerne Deckel. Von den verhältnissmässig hochgelegenen Einschnittbrunnen wird das Wasser durch eine Heberrohrleitung dem bei der Pumpstation

¹ Die Angaben, betreffend Lage, Grösse, Construction, Betrieb u. s. w. der Wasserwerke, sind grösstentheils den Jahresberichten der Direction der städtischen Wasserwerke entlehnt.

befindlichen Hauptsammelbrunnen zugeführt. Das Wasser der tiefgelegenen Vollrathswiesenbrunnen muss dagegen, nachdem es mittels Heberrohre nach dem dem Hebewerk am nächsten gelegenen Brunnen geleitet ist, aus diesem durch eine kleine Maschine in den erwähnten Hauptsammelbrunnen gehoben werden.

Während das Gaardener Wasserwerk in der ersten Zeit seines Bestehens bis zu 4000 ^{cbm} Wasser täglich lieferte und Jahre hindurch allein die Stadt mit Wasser versorgte, ist späterhin die Ergiebigkeit der Brunnen bedeutend gesunken, so dass dieselben jetzt zusammen nur noch circa 2000 ^{cbm} Wasser pro Tag geben.

Das zweite Wasserwerk, seit 1889 im Betrieb, hat seinen Namen von dem Schulensee, in dessen unmittelbarer Nähe es erbaut ist. Derselbe stellt eine etwa 50 Hektar grosse und bis 2¹/₂ m tiefe, seeartige Erweiterung der Eider dar, und ist von der Stadt Kiel nicht ganz 5 km in südwestlicher Richtung entfernt. Das Wasserwerk, ursprünglich in der Absicht angelegt, die Stadt mit filtrirtem Wasser aus dem See zu versorgen, führt bis jetzt der Leitung nur Grundwasser zu. Bei den Vorarbeiten stiess man nämlich am Ufer an der nördlichen Ecke des Sees auf einen nicht unbeträchtlichen nach dem See hin gerichteten Grundwasserstrom. Um dem damals gerade herrschenden Wassermangel abzuhelpen, wurden daher dicht am Ufer 3 gemauerte Schachtbrunnen (Versuchsbrunnen) 6 m tief, 1.3 m im Durchmesser angelegt. Nachdem durch Bohrungen ausserdem das Vorhandensein grösserer Grundwassermengen unter dem See dargethan war, welches nicht von dem Seewasser herrühren konnte, da es in den eingeschlagenen Röhren einen um etwa 20 cm höheren Stand einnahm, als der Wasserspiegel im See, schritt man weiterhin zur Errichtung eines Brunnens im See, des sogenannten Seebrunnens. Derselbe wurde in 50 m Entfernung vom Ufer 20 m tief unter dem Wasserspiegel des Sees abgesenkt. Er hat unten 4, oben 2 m im Durchmesser, ist aus je 1 m hohen schmiedeeisernen Ringen zusammen-genietet und auf das Sorgfältigste gedichtet. Die obersten 4 Ringe haben doppelte Wandungen, deren Zwischenraum mit Beton ausgestampft ist, um den Zutritt von Seewasser abzuhalten. Der Brunnen durchsetzt ausser der dicht unter dem See befindlichen, mächtigen und wasserundurchlässigen Schlickschicht, eine ebenfalls mächtige Lage von sandsteinartig ausgebildetem (cämentirten) Bryozoensand und taucht mit seinem untersten Ende etwa 8 Meter tief in die wasserführende Kiesschicht ein.

Zugleich mit dem Seebrunnen wurde am Ufer ein 9 Meter tiefer, 1.2 Meter im Durchmesser haltender, eiserner Brunnen angelegt, zu welchem zwei Jahre später ein zweiter ganz ebenso beschaffener eiserner Brunnen in geringer Entfernung von dem ersten eisernen Brunnen hinzukam. Beide Brunnen bleiben mindestens 13 Meter vom See entfernt; sie

sind gut eingedeckt, der obere Brunnenrand überragt um mehr als $1\frac{1}{2}$ Meter das umgebende Erdreich. Die Umgebung des Brunnens ist unbebaut und für das Publikum nicht zugänglich.

Mittels Heberrohr wird das Wasser aus dem Seebrunnen und den beiden eisernen Landbrunnen einem vor dem Maschinenhaus belegenen, gemauerten und bedeckten Sammelbrunnen zugeführt, aus welchem es die Maschinen in das oberirdisch angelegte, 444 cbm haltende Reinwasserreservoir und von da in die nach der Stadt führende Leitung pumpen. Mit dem Wasserrohrnetz der Stadt, — einem beiläufig combinirten Circulations- und Verästelungssystem — in welches sowohl das Gaardener- als das Schulenseewasserwerk ihr Wasser hineinpumpen, stehen zwei Hochwasserreservoirs in Verbindung, eines im Süden der Stadt, welches 2000 cbm und eines am nordwestlichen Ende der Stadt, welches 2500 cbm fasst. Bei dem ersteren liegt der Oberwasserspiegel 51 m , bei dem letzteren 49 m über dem Nullpunkt des Hafenpegels.

Der mittlere Wasserspiegel des Schulensees liegt übrigens 12 Meter über Hafennull.

Die Brunnen des Schulenseewerkes geben zusammen im Durchschnitt 5000 cbm Wasser pro Tag (die noch vorhandenen drei Versuchsbrunnen werden für gewöhnlich nicht mit benutzt), sodass demnach für die Stadt Kiel z. Z. durchschnittlich täglich 7000 cbm Wasser zur Verfügung stehen. Hinter dieser Zahl ist der mittlere Tagesconsum bisher noch zurück geblieben, denn derselbe betrug pro 1889/90 = 4905, pro 1890/91 = 5353 und pro 1891/92 5787 cbm . Auf den Kopf der Bevölkerung kommen demnach für die letzten drei Jahre im Mittel nur 74 bis 83 Liter Wasser pro Tag. Dieser verhältnissmässig niedrige Wasserverbrauch findet seine Erklärung darin, dass ein Theil der Bevölkerung Kiels sein Wasser theilweise oder ganz aus den innerhalb der Stadt befindlichen Privatbrunnen bezieht, von denen im Jahre 1883 nicht weniger als 661 vorhanden waren, deren Zahl indess inzwischen auf etwa die Hälfte herabgegangen ist.

Wenn nun auch, wie gezeigt, von den Brunnen des Gaardener- und des Schulenseewerks der durchschnittliche Wasserbedarf gedeckt wird, so ist doch die baldige Heranziehung weiteren Grundwassers unerlässlich, da sich bei gesteigertem Wasserbedarf, wie er in der heissen Jahreszeit stattfindet (= $7000\text{—}9000\text{ cbm}$ pro Tag), in den letzten Jahren mehrfach bereits vorübergehend Wassermangel bemerkbar gemacht hat, und da bei der bisher beobachteten starken Bevölkerungszunahme¹ in Zukunft auf einen erhöhten Wasserverbrauch zu rechnen ist.

¹ Von 16000 im Jahre 1855 ist die Einwohnerzahl bis zum Jahre 1881 auf 44000 und bis 1892 weiter auf 70000 gestiegen. Am Schluss des Jahres 1892 betrug die Einwohnerzahl von Kiel schon 75000.

Es sind daher seit längerer Zeit bereits Vorarbeiten im Gange, um weiteres Wasser und zwar Grundwasser zu gewinnen, da die ursprünglich geplante Verwendung von Wasser aus dem Schulensee inzwischen aufgegeben ist. Diese Vorarbeiten sind von Erfolg gewesen, insofern es gelungen ist, in nächster Nähe des Schulensees, in einem östlich von demselben gelegenen, von einem kleinen Bach, der sog. Poppenbrügger Aue durchflossenen Thale, einen nach dem See hin gerichteten Grundwasserstrom aufzufinden. Derselbe liefert nach den Monate hindurch unter Leitung des Ingenieurs A. Thiem aus Leipzig an einem Versuchsbrunnen angestellten Pumpversuchen mindestens 10000 ^{cbm} Wasser pro Tag¹. Nachdem die Mittel für eine definitive Fassung des Grundwassers an der Poppenbrügger Aue sowie für die Ueberführung desselben nach dem Schulenseewasserwerk bereits bewilligt sind, steht zu erwarten, dass dieses Wasser noch im Frühjahr dieses Jahres zur Versorgung der Stadt mit herangezogen wird. Es besteht die Absicht, die bereits vorhandenen — zur bisherigen provisorischen Fassung gehörigen — eisernen Röhrenbrunnen an eine nach dem Sammelbrunnen des Schulenseewerks zu führende Heberrohrleitung anzuschliessen. Soweit das Wasser nicht durch Heberwirkung dem Sammelbrunnen zufliesst, soll es durch eine auf dem Schulenseewerk aufzustellende Maschine angepumpt werden. Damit würde Kiel selbst bei Fortdauer der bisherigen Bevölkerungszunahme auf mindestens 15 Jahre hinaus genügend mit Wasser versorgt sein. Aber auch für einen weiteren Bedarf in späterer Zeit würden sich nach den Ergebnissen der bisherigen Voruntersuchungen ohne Schwierigkeit die nöthigen Mengen von Grundwasser aus der nächsten Umgebung von Kiel beschaffen lassen. Denn abgesehen von kleineren Grundwassermengen, die durch Bohrversuche im oberen Eiderthale, südlich vom Schulensee, nachgewiesen worden sind, ist man bei den Ausschachtungen am Nordostseecanal an mehreren Stellen in nicht zu grosser Entfernung von Kiel, z. B. bei Holtenau und Levensau auf recht erhebliche Mengen von Grundwasser gestossen.

Auch die Erhebungen, welche der Professor der Geologie an der Kieler Universität Dr. H. Haas, im Auftrag der Stadt Kiel im Sommer 1890 anstellte, weisen auf das Vorhandensein grösserer Grundwasseransammlungen in der nächsten Umgebung von Kiel hin.

Nach Haas² ist das Diluvium in dem ganzen Osten von Schleswig-

¹ A. Thiem, *Bericht über die Ausgestaltung des Wasserwerkes der Stadt Kiel*. 29. October 1892.

² Gutachten des Prof. Dr. H. Haas, betreffend die Möglichkeit im Untergrunde der Umgebung Kiels Wasser in genügender Menge, um die Stadt damit versorgen zu können, zu finden. 1. August 1890.

Holstein und besonders in der Umgebung von Kiel ganz eigenartig ausgebildet, insofern der untere Geschiebemergel in der Diluvialzeit durch das Inlandeis gewaltige Stauchungen erfahren hat. Dadurch ist es zur Entstehung mehr oder minder grosser muldenartiger Vertiefungen gekommen, deren Boden der wasserundurchlässige Geschiebemergel bildet und die mit den wasserdurchlässigen diluvialen Ablagerungen, insbesondere dem sogenannten Korallen- oder Bryozoensand, und dem ebenfalls durchlässigen oberen Geschiebemergel ausgefüllt sind. Das bei seinem Vordringen in den Boden vom unteren Geschiebemergel aufgehaltene Wasser sammelt sich in diesen muldenartigen Vertiefungen; diese Mulden repräsentiren daher Wasserbecken. Ob diese Mulden, welche zu mehreren mit einander in Verbindung stehen können, und welche in Folge der gewaltigen Stauchungen zum Theil eine ganz erhebliche Tiefe besitzen, mit grossen in hercynischen Kreidemulden verlaufenden Untergrundwasserströmen in Verbindung stehen, lässt Haas zunächst noch unentschieden. Das Gaardener Wasserwerk bezieht nach Haas sein Wasser aus einer kleineren in sich abgeschlossenen Mulde und erklärt Haas die oben (Seite 254) erwähnte Abnahme der Ergiebigkeit des Gaardener Wasserwerks damit, dass dieser kleinen Mulde Jahre hindurch mehr Wasser entzogen worden ist, als ihr durch die jährlichen Niederschlagsmengen zugeführt werden konnte. Dagegen weist Haas in nächster Nähe von Kiel grössere Mulden von solcher Ausdehnung nach, dass das in ihrem Gebiete in den Boden versickernde Meteorwasser zur Deckung des Wasserbedarfs von Kiel auf lange Zeit ausreicht.

II. Die Untersuchung des Wassers.

Wenn es nach Obigem auch keine Schwierigkeiten macht, die für die Versorgung der Stadt erforderlichen Wassermengen aus dem Grundwasser von Kiel bzw. dessen nächster Umgebung zu gewinnen, so ist die Beschaffenheit dieses Grundwassers, wie weiterhin gezeigt werden wird, eine derartige, dass es nicht rathsam erscheint dasselbe ohne Weiteres für die Versorgung der Stadt zu verwenden.

Einen gewissen Einblick in die Zusammensetzung des Grundwassers von Kiel gestatten zunächst die im Herbst 1883 durch das agriculturchemische Laboratorium der landwirthschaftlichen Versuchsstation zu Kiel ausgeführten Untersuchungen der Brunnenwässer Kiels¹. Diese in Folge

¹ *Das Trinkwasser von Kiel auf Grundlage von Analysen aller Brunnenwässer Kiels ausgeführt im Herbst 1883 im Auftrage der städtischen Gesundheitscommission durch das agriculturchemische Laboratorium der landwirthschaftl. Versuchsstation.* Kiel 1886. Verlag von Lipsius u. Tischer.

der damaligen Annäherung der Cholera an Europa in der Absicht unternommen, unter den Brunnen von Kiel die verunreinigten ausfindig zu machen und ihre Ausserbetriebsetzung zu veranlassen, beschränkten sich im Wesentlichen auf die Feststellung der als Indicatoren für die Verunreinigung geltenden Stoffe, wie der organischen Substanzen, der salpetrigen Säure, der Salpetersäure, des Ammoniaks, des Chlors und der Härte. Die salpetrige Säure wurde stets, Ammoniak in der Regel nur qualitativ bestimmt, zuweilen wurde die Menge einzelner Stoffe nur annäherungsweise ermittelt. Auf Grund dieser Prüfung wurden von 661 Brunnen 309 als unverdächtig, die übrigen als in mehr oder minder hohem Grade verdächtig bezw. unbrauchbar bezeichnet. 352 Brunnen hatten mehr als 20, 50 mehr als 35 deutsche Härtegrade.

Weitere Auskunft über die Beschaffenheit des Grundwassers von Kiel wurden durch die in den letzten Jahren im hygienischen Institut ausgeführten Untersuchungen gewonnen. Bereits im Spätsommer 1887 waren daselbst Untersuchungen über den Keimgehalt des Wassers der Kieler Leitung und zwar sowohl über den Keimgehalt der Brunnen des Gaardener Wasserwerks, als auch des Wassers der Leitung innerhalb der Stadt angestellt worden, über welche im Jahre 1888 Jacob Breunig¹ in seiner Dissertation berichtete. Seit September 1889 finden nach einer mit der Stadt Kiel getroffenen Vereinbarung regelmässige Untersuchungen des Trinkwassers der Stadt Kiel statt. Anfangs zwei Mal, seit 2 Jahren nur ein Mal im Monat wird das Wasser aus dem Seebrunnen, aus dem zuerst angelegten eisernen Landbrunnen des Schulenseewerks (der Einfachheit halber ist derselbe weiterhin stets als Landbrunnen bezeichnet), aus dem Gaardener Hauptsammelbrunnen sowie aus drei bestimmten Zapfstellen aus der Leitung innerhalb der Stadt untersucht. Die Zapfstellen sind derartig ausgewählt, dass die erste vorwiegend vom Gaardener Wasserwerk, die zweite dagegen vorwiegend vom Schulenseewasserwerk gespeist wird, während die dritte im hygienischen Institut befindliche Zapfstelle meist gemischtes Wasser erhält. Nach der erwähnten Vereinbarung mit der Stadt hatte es das hygienische Institut auch übernommen, monatlich sechs Privatbrunnen innerhalb der Stadt auf ihre Brauchbarkeit zu untersuchen, später wurde die Zahl auf drei herabgesetzt, im Ganzen sind bis jetzt 180 solcher Brunnen, davon 30 doppelt, untersucht.

Zu diesen regelmässigen Untersuchungen kam noch die Untersuchung von Grundwasserproben, welche im vergangenen Jahre bei den

¹ *Bakteriologische Untersuchung des Trinkwassers der Stadt Kiel im August und September 1887.*

bereits erwähnten Versuchen, weiteres Grundwasser zu gewinnen, an der Obereider bzw. an der Poppenbrügger Aue 8 bzw. 4^{km} südwestlich von Kiel erbohrt worden waren, sowie von Grundwasser, auf welches man gelegentlich der Arbeiten am Nordostseecanal in Holtenau, 6^{km} nördlich, sowie in Levensau, 8^{km} nordwestlich von Kiel gestossen war. Im September und October d. J. wurde das von dem an der Poppenbrügger Aue inzwischen angelegten Versuchsbrunnen bei den erwähnten Pumpversuchen geförderte Wasser wiederholt untersucht.

Abgesehen von den vorstehend aufgezählten, in der Regel gleichzeitig physikalisch-chemischen und mikroskopisch-bakteriologischen Untersuchungen wurden im Laufe der Zeit noch zahlreiche Einzelproben von dem Wasser der städtischen Leitung auf das Verhalten der Mikroorganismen oder auf das Verhalten einzelner Stoffe in demselben geprüft.

Die Entnahme der Proben für die physikalisch-chemische Untersuchung erfolgte in der allgemein üblichen Weise. Um Wasser aus den tieferen Wasserschichten der Brunnen für die Untersuchung zu erlangen, wurden Flaschen mit doppelt durchbohrtem Gummistopfen verwendet, in deren einer Durchbohrung ein bis auf den Boden der Flasche reichendes Glasrohr steckte, während das in der zweiten befindliche Glasrohr den Pfropfen nach unten nicht überragte. Auf die aus dem Pfropfen hervorstehenden Enden der Glasröhren war je ein durch ein Glasstäbchen geschlossenes Stück Gummischlauch lose aufgesetzt. Waren die Flaschen bis zur gewünschten Tiefe des Brunnens in der angegebenen Weise verschlossen hinabgelassen, so konnten mittels einer Schnur die als Verschlüsse dienenden Kautschukschläuche abgezogen werden, worauf sich die Flaschen mit Wasser aus der Tiefe füllten.

Zur Entnahme der Wasserproben für die bakteriologische Untersuchung wurden stets sterilisierte Reagensgläser verwendet, die nach der Füllung mit dem Wattepfropfen wieder verschlossen, in einer zum Umhängen eingerichteten, mit Fächern für jedes einzelne Glas versehenen Blechbüchse transportirt wurden. Um aus den Brunnen der Wasserwerke die bakteriologischen Proben zu erlangen, wurde von folgender einfacher Vorrichtung Gebrauch gemacht. Das zur Aufnahme der bakteriologischen Probe bestimmte sterilisierte Reagensröhrchen wurde in einem Stück Bleirohr mittels einer Feder derart eingeklemmt, dass etwa die obere Hälfte mit der Mündung aus dem Bleirohr herausragte. Das Bleirohr war etwas oberhalb seiner Mitte an einer Schnur aufgehängt, so dass seine Längsachse, wenn dasselbe frei hing, ebenso wie auch die des eingesteckten Glasröhrchens mit der horizontalen einen Winkel von etwa 30 Grad bildete. Vor jedesmaliger Benutzung wurde die Schnur angefeuchtet. Auf diese Weise gelang es, die Wasserprobe vor dem Hinzutritt von Staub bzw.

von Verunreinigungen, namentlich auch vor solchen von der Aufhängevorrichtung, thunlichst zu schützen.

Zur Entnahme bakteriologischer Proben aus den tieferen Abschnitten der Brunnen fand gewöhnlich ein Apparat Verwendung, der im Wesentlichen dem Tiefseewasserschöpfapparat von Sigsbee nachgebildet, aber von mir mit einer besonderen Einrichtung zur bequemerem und sicheren Entnahme der Proben für die mikroskopisch-bakteriologische Untersuchung versehen ist und den ich mit Erfolg gelegentlich der Deutschen Planktonexpedition im Jahre 1889 zur Entnahme bakteriologischer Wasserproben aus grösserer Meerestiefe benutzt habe.¹

Der auf der Tafel III skizzirte Apparat besteht aus einem Messingcylinder *a* (Figg. 1 u. 2) von etwa 200^{ccm} Inhalt, welcher an seinem unteren Ende durch den Ventilsitz *b* und den Ventilkegel *c*, am oberen Ende durch den Ventilsitz *d* und den Ventilkegel *e* abgeschlossen wird. In den Führungsschaft des oberen Ventilkegels ist eine Stange *f* eingeschraubt, welche in der Ausbohrung *g* des unteren Ventilkegels geführt wird.

An dem oberen Ventilsitz ist ein Rahmen *h* mit dem Steg *i* befestigt. In das obere Ende dieses Rahmens ist ein Stift *k* eingeschraubt, welcher in die Ausbohrung *l* der Flügelschraube *m* greift und dieser als Führung dient. Die Flügelschraube hat nach unten einen mit Gewinde versehenen Ansatz *n*, welcher in dem in der Mitte gleichfalls mit Gewinde versehenen Steg *i* geführt wird. An dem Rahmen *h* ist ein um die Halteschrauben *p* drehbarer Aufhängebügel *o* angebracht.

Lässt man den an einer Leine befestigten Apparat in's Wasser fallen, so werden die Ventile durch den Auftrieb gehoben und tritt fortwährend Wasser durch den durchbrochenen unteren Ventilsitz ein und durch den oberen wieder aus, bis zu dem Augenblick, in welchem der Apparat zum Stillstand kommt bzw. in die Höhe gezogen wird. In demselben Augenblick fallen die Ventile herab und schliessen das gerade im Cylinder vorhandene Wasser ein. Geschieht das Emporziehen des Apparates im Wasser nicht zu langsam, dann wird durch den Wasserdruck die Flügelschraube *m* in dem Sinne gedreht, dass sich der Ansatz *n* immer mehr gegen das obere Ventil verschiebt und dasselbe schliesslich gegen den Ventilsitz andrückt. Durch Vermittelung der Stange *f* wird jetzt auch das untere Ventil verschlossen gehalten. Auf diese Weise ist es möglich, den Apparat mit Wasser aus derjenigen Tiefe, bis zu welcher derselbe in's Wasser abgelassen wurde, zu füllen und solches, ohne dass weiterhin eine Ver-

¹ Der Apparat war gelegentlich des X. internationalen medicinischen Congresses in Berlin 1890 ausgestellt. Katalog Nr. 92.

mischung mit Wasser aus den höheren Wasserschichten stattfindet, für die Untersuchung zu erlangen.

Der Apparat wird jedesmal vor dem Gebrauch gereinigt und alsdann im strömenden Dampf sterilisirt. Zur Untersuchung des Wassers wird der abschraubbare obere Ventilsitz sammt dem Rahmen und der Stange (vgl. Fig. 3) entfernt und können dann mit sterilisirter Pipette die erforderlichen Mengen für die bakteriologische Untersuchung aus dem Cylinder entnommen werden.

Dadurch, dass beim Hinablassen das Wasser der oberen Schichten den Apparat durchströmt, wird zwar ein Fehler bedingt, indess haben besondere Versuche dargethan, dass, falls es sich nicht um zu geringe Tiefen (weniger als fünf Meter) handelt, und falls der Apparat thunlichst rasch bis zu der gewünschten Tiefe herabgelassen wird, eine starke Durchspülung desselben zu Stande kommt, sodass der durch Beimengung von Wasser aus den oberen Schichten bedingte Fehler minimal und für praktische Verhältnisse ohne Bedeutung ist.

Die Entnahme der Wasserproben geschah in der Regel durch Angestellte der Wasserwerke, welche darin besondere Unterweisung erhalten hatten. Von Zeit zu Zeit wurde die Entnahme der Proben von dem Personal des Instituts überwacht bzw. zur Controle von dem letzteren ausgeführt.

Alle Proben wurden auf ihre Farbe und Durchsichtigkeit, ihren Geruch sowohl bei gewöhnlicher Temperatur als auch beim Erwärmen, sowie auf ihren Geschmack geprüft. In der Mehrzahl der Fälle wurde auch das Verhalten von Stehproben beobachtet. In chemischer Beziehung wurde in der Regel die Reaction ermittelt und der Trockenrückstand, der Glühverlust, die Oxydirbarkeit (Kaliumpermanganatverbrauch), der Gehalt an Chlor, Eisen, Ammoniak und — falls dieselben überhaupt vorhanden — auch an Salpetersäure und salpetriger Säure quantitativ festgestellt. Die Härte wurde meist mittels Seifenlösung nach Clark bestimmt, nachdem indess bei mehrfacher gleichzeitiger quantitativer Bestimmung von Kalk und Magnesia stets um einige Grade höhere Werthe für die Härte gefunden worden waren, wurde in der letzteren Zeit statt der Härtebestimmung nach Clark die quantitative Bestimmung von Kalk und Magnesia mit gleichzeitiger Bestimmung der Schwefelsäure ausgeführt.

Die bei der chemischen Untersuchung angewandten Methoden waren die allgemein üblichen, erwähnt mag nur werden, dass der Trockenrückstand stets bei 110° ermittelt, und das Eisen meist kolorimetrisch nach Proskauer¹ mit Rhodanammonium nachgewiesen wurde.

¹ B. Proskauer, Beiträge zur Kenntniss der Beschaffenheit von stark eisenhaltigen Tiefbrunnenwässern und die Entfernung des Eisens aus denselben. *Diese Zeitschrift*. Bd. IX. S. 178.

Bei den erwähnten regelmässigen Untersuchungen der Wasserproben aus den städtischen Wasserversorgungsanlagen wurde nur vierteljährlich einmal die quantitative Bestimmung in der soeben besprochenen Weise ausgeführt. Für gewöhnlich war die chemische Untersuchung hier eine abgekürzte, indem nur die Oxydirbarkeit quantitativ, Salpetersäure und salpetrige Säure aber qualitativ bestimmt wurden. Durch Vergleich mit einer Lösung von 2^{ms} Ammoniak bzw. von 30^{ms} Chlor im Liter wurde ausserdem kolorimetrisch geprüft, ob Ammoniak bzw. Chlor in grösseren Mengen als in den erwähnten Lösungen vorhanden waren.

Bei der bakteriologischen Untersuchung wurde thunlichst darauf geachtet, dass die Proben so rasch als angängig in's Laboratorium gebracht wurden, und alsdann auch sofort zur Aussaat gelangten. Bei den zum Theil recht grossen Entfernungen liess es sich hierbei allerdings nicht umgehen, dass von der Entnahme bis zur Aussaat 1—2 Stunden in einigen Fällen bzw. für einige Proben sogar 3—4 Stunden vergingen.

In den meisten Fällen wurden 0.5 und 0.1^{cem} der Wasserprobe, manchmal daneben auch noch 1^{cem} zur Aussaat genommen. Bei dem oft sehr keimreichen Wasser der Brunnen in der Stadt wurde regelmässig noch eine Aussaat von 0.01^{cem} gemacht. In der ersten Zeit wurde die abgemessene Wassermenge in die Reagensgläschen mit flüssiger Gelatine gebracht und die Gelatine alsdann nach gehöriger Durchmischung in Petri'sche Schalen ausgegossen. Die entleerten Röhrchen wurden alsdann mit dem Wattepfropfen verschlossen aufbewahrt und beobachtet, ob bzw. wie viel Colonieen in denselben erschienen, und die gewachsenen Colonieen den für die Schälchen ermittelten zugezählt. Späterhin wurde die Untersuchung dadurch wesentlich vereinfacht, dass die zur Aussaat bestimmte Menge sofort in die Petri'schen Schälchen gebracht und weiterhin die erforderliche Menge der verflüssigten Gelatine hinzugesetzt wurde.

In einigen Fällen wurden Proben aus den Brunnen der Wasserwerke gleichzeitig und in ganz gleicher Weise nicht nur auf gewöhnliche ganz schwach alkalische Nährgelatine sondern auch auf solche ausgesät, die nach vollständiger Neutralisation einen Zusatz von 5, 10 bzw. 20^{cem} Normalnatronlauge bzw. von 5^{cem} Normalsäure pro Liter erhalten hatte. Da hierbei das Wachsthum regelmässig am üppigsten auf der gewöhnlichen, nur ganz schwach alkalischen Nährgelatine ausfiel, wurde dieselbe weiterhin ausschliesslich zur Bestimmung des Keimgehaltes benutzt.

III. Die Zusammensetzung des Grundwassers von Kiel.

a) Das Grundwasser in der Umgebung von Kiel.

Es dürfte sich empfehlen, zuerst die Zusammensetzung derjenigen Grundwasserproben zu besprechen, welche aus der Umgebung von Kiel zur Untersuchung gelangten. Dieselben waren sämtlich dem Boden an Stellen entnommen, die von menschlichen Wohnungen genügend weit entfernt blieben; sie entstammten ferner einem Boden, der augenscheinlich nicht durch menschliche bzw. thierische Abfallstoffe verunreinigt war. Man durfte daher erwarten, dass bei diesem Wasser gerade die demselben in Folge der Bodenbeschaffenheit zukommende Zusammensetzung möglichst rein zum Ausdruck kam. Die hierher gehörigen Versuchsergebnisse sind auf der Tabelle I zusammengestellt. In Betreff der Ergebnisse der physikalischen Untersuchung mag hinzugefügt sein, dass alle Wasserproben unmittelbar nach der Entnahme vollkommen klar und meist auch vollkommen farblos waren. Nur einige Bohrlochproben bei der Poppenbrügger Aue sowie das Wasser des Versuchsbrunnens daselbst zeigten gewöhnlich eine ganz leichte gelbliche Farbe. Wie sich dieses klare Wasser beim Stehen nachträglich verändert; wie es in demselben regelmässig zu einer Trübung und schliesslichen Ausscheidung von Eisen kommt, soll in einem weiteren Kapitel eingehende Besprechung finden.

In der Regel zeigte das Wasser neben etwas Schwefelwasserstoffgeruch einen mehr oder minder starken, oft allerdings erst beim Erwärmen auftretenden moorigen Geruch. Stets machte sich an den Wasserproben ein tintenartiger Geschmack (= Geschmack nach Eisen), daneben gewöhnlich ein schwacher fauliger und ausserdem auch noch oft ein leichter mooriger Beigeschmack bemerkbar. In Betreff der Reaction mag erwähnt sein, dass dieselbe stets schwach alkalisch gefunden wurde.

Ein Blick auf die Tabelle I genügt, um erkennen zu lassen, dass das an den verschiedensten Stellen in der Umgebung von Kiel (bis 8^{km} südwestlich, 6^{km} nördlich und 8^{km} nordwestlich von Kiel) entnommene Grundwasser sich in seiner Zusammensetzung ausserordentlich ähnlich verhält und dass die Zusammensetzung desselben eine eigenartige ist, insofern stets geringe Mengen von Eisen und bei einem verhältnissmässig hohen Gehalt an organischen Substanzen regelmässig kleine Mengen von Ammoniak nachgewiesen wurden, während salpetrige Säure und Salpetersäure vollständig fehlten, so dass man beispielsweise auch an dem durch Eindampfen stark eingeeengten Wasser mit Diphenylamin keine Reaction bekam.

Wir werden später sehen, dass auch das Wasser der Privatbrunnen innerhalb der Stadt Kiel sehr oft genau dieselbe typische Zusammensetzung zeigte, und dass man annehmen darf, diese typische Zusammensetzung finde sich in der Regel bei den Brunnen der Stadt, sobald sie von dem eigentlichen Grundwasser, nicht von Sicker- bzw. Schichtwasser gespeist werden und sobald sie vor Verunreinigung geschützt sind.

Entsprechend dem hohen Gehalt an organischen Substanzen, wie er durch den hohen Glühverlust bzw. den hohen Kaliumpermanganverbrauch angezeigt wird, ist auch der Trockenrückstand etwas hoch, so hoch, dass er bisweilen den für ein reines Wasser gewöhnlich angenommenen Grenzwert von 500^{mg} im Liter überschreitet.

Dabei ist der Gehalt an Härte machenden Substanzen nur ein mässiger und muss auch der Chlorgehalt als ein mässiger bezeichnet werden. (Der auffallend hohe Chlorgehalt bei der Grundwasserprobe von der Holtenauer Schleusse dürfte wohl mit der Nähe des Kieler Hafens in Verbindung zu bringen sein.)

Eine eingehende Analyse des Wassers vom Landbrunnen ergab die nachfolgenden Werthe:

SiO ₂ = 25.5 ^{mg} i. L.	Cl = 18.0 ^{mg} i. L.
FeO = 3.7 „ „ „	P ₂ O ₅ = 5.0 „ „ „
Al ₂ O ₃ = 0.8 „ „ „	NH ₃ = 1.6 „ „ „
CaO = 137.6 „ „ „	K ₂ O = 4.7 „ „ „
MgO = 18.2 „ „ „	Na ₂ O = 22.0 „ „ „
SO ₃ = 6.7 „ „ „	
Gesamtkohlensäure = 303.7 ^{mg} i. L.	
Monocarbonatsäure = 133.0 „ „ „	
Freie Kohlensäure = 39.0 „ „ „	
Specifisches Gewicht = 1.0003.	

Wie schon erwähnt, besass das Wasser stets eine alkalische Reaction, die es nicht nur einer empfindlichen Lackmustinctur, sondern auch gewöhnlichem Lackmuspapier gegenüber erkennen liess. Auch gegen Rosolsäure, Congoroth, Methylorange und Cochenille verhält sich das Wasser alkalisch. Worauf diese alkalische Reaction des Wassers zu beziehen ist, lässt sich mit Bestimmtheit nicht sagen. Der Umstand, dass in der Regel Ammoniak vorhanden war, legte die Vermuthung nahe, dass diese alkalische Reaction durch das Ammoniak bedingt sei. Von dem Ammoniak liess sich bei mehreren Versuchen mit dem Wasser der Schulenseebrunnen sowie mit dem Leitungswasser nachweisen, dass es beim Eindampfen des Wassers vollständig verschwand, und dass es nicht nur beim Kochen, sondern schon bei längerem Erwärmen auf 75° C. eine erhebliche Ab-

Tabelle I. Grundwasser in der Umgebung von Kiel.

Entnahmestelle	Zahl d. Untersuch.	Trocken- rückstand	Gefährverlust	Oxydirbarkeit (Kaliumper- manganat ² verbrauch)	Ammoniak	Salpethrige Säure mg i. L.	Salpeters. mg i. L.	Chlor mg i. L.	Eisenoxydul mg i. L.	Mit Seifenlösung nach Clark be- stimmte Gesamt- Härte Deutsche Härte- grade	Calciumoxyd mg i. L.	Magnesium- oxyd mg i. L.	Schwefelsäure mg i. L.
Seeburrunen Landburrunen Vom Seehülen- Gaarden	16	391 ¹ 348-520	114 47-168	12.8 ³ 5.3-32.6	0.7 0.2-1.4	0	0	18.9 16.7-20.0	2.0 1.4-2.5	14.0 12.7-16.4	141.1 124.4-150	22.4 19.2-25.6	Spuren
	11	399 350-513	133 59-257	15.2 ³ 7.3-24.2	1.2 0.15-2.1	0	0	18.9 14.8-20.0	2.4 1.2-3.7	13.7 12.6	137.7-155	18.2-23.4	Spuren (6.6)
	12	349 320-455	111 57-175	6.1 ³ 0.8-19.8	0.11 0.1-0.25	0	0	17.3 14.4-21.3	1.3 0.4-3.4	12.6	112-125	14.4	37.7
	4	345 333-357	89 72-123	16.6 13.8-19.5	0.31 0.25-0.35	0	0	17.2 16.0-19.0	1.03 0.87-1.36	13.0 12.8-13.7	141.2 130-150	13.7 12.3-15.0	31.6 28.0-34.8
Versuchsbrunnen b. d. Poppenbrügger Aue	1	242-395	28-92	4.8-24.2	0-0.6	0	0	9.8-14.9	0.27-3.75	9.0-17.7			
6 Bohrlöcher bei der Poppenbrügger Aue	1	243-388	13-80	3.9-9.6	0-0.15	0	0	10.2-23.3	0.4-2.2	9.4-13.2			
5 Bohrlöcher an der Obereider	1	727.5	475 (1)	7.4	0.9	0	0	229.5	3.6	13.7			
Grundwasser 2. Nordsee- Canal bei Holtensau	1	287	43-3	8.5	0.25	0	0	17.9	1.28	10.7			
Levensau	1												

¹ Die grossen Zahlen bedeuten die Mittelwerthe aus sämtlichen Untersuchungen, die kleinen die Einzelwerthe, bezw. die minimalen und maximalen.

² Die Zahlen beziehen sich auf 48 Einzeluntersuchungen.

³ Einschliesslich des für das Eisenoxydul nothwendigen Kaliumpermanganats.

nahme erfuhr, indess konnte die alkalische Reaction des Wassers doch nicht auf dieses freie bzw. in einer leicht flüchtigen Verbindung vorhandene Ammoniak bezogen werden, da das Wasser, nachdem es längere Zeit gekocht war, ebenso wie der wieder gelöste Eindampfrückstand des selben noch deutlich alkalisch reagirte. Ob die alkalische Reaction in derselben Weise, wie das Trillich¹ für die Münchener Hochquellenleitung nachgewiesen hat, auf Magnesiumcarbonat zurückzuführen ist, lässt sich auf Grund der bisherigen Untersuchungen nicht mit Bestimmtheit angeben, immerhin erscheint dieses von vornherein nicht unwahrscheinlich, nachdem im Grundwasser von Kiel ähnliche Mengen von Magnesia und auch ein ähnlich hoher Gehalt an Kohlensäure nachgewiesen sind.

Der Gehalt des Grundwassers an organischen Substanzen ist ein hoher und starken Schwankungen unterworfen, wie das die Maxima und Minima des Glühverlustes und des Kaliumpermanganatverbrauches, namentlich bei den Schulensee- und bei dem Gaardener Brunnen, erkennen lassen. Dabei fallen die höchsten Werthe für den Glühverlust und die Oxydirbarkeit auf den Herbst, während beim Trockenrückstand im Allgemeinen im Sommer die höchsten Werthe beobachtet wurden.

Ein Theil der organischen Substanzen scheint sich leicht zu verflüchtigen, denn bei 2 mit dem Leitungswasser angestellten Versuchen ging die Oxydirbarkeit in Folge Kochens bzw. Eindampfens von

14.47^{mg} pro L. auf 10.14 bzw. 9.97 resp. von

9.3 „ „ „ „ 6.7 „ 6.3^{mg} pro L.

herab. Die Oxydirbarkeit erfuhr aber in je einem Versuche mit dem Wasser des See- und des Landbrunnens schon eine deutliche Abnahme, wenn das Wasser nur 1 Stunde lang auf 50° C. erwärmt worden war, der Kaliumpermanganatverbrauch fiel hiernach beim Seebrunnen von 12.64^{mg} pro L. auf 6.3, und beim Landbrunnen von 14.9 auf 11.4^{mg} pro Liter.

Eine Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl ergab:

	Rück- stand	Glüh- verlust	Oxydir- barkeit	Ammoniak	Gesamtstickst. als Ammoniak
beim Seebrunnen	371.7	83.3	12.8	0.8	2.55 ^{mg} pro L.
„ Landbrunnen	350.0	81.7	16.3	2.1	5.06 „
„ Gaardener					
Sammelbrunnen	328.3	71.7	8.6	0.15	1.46 „

¹ H. Trillich, *Die Münchener Hochquellenleitung aus dem Mangfallthale*. München 1890. Rieger'sche Universitäts-Buchhandlung.

Der von Tiemann und Gärtner¹ angegebene Grenzwert von 0.2^{mg} Albuminoidammoniak ist mithin bei allen 3 Brunnen reichlich überschritten, der Landbrunnen zeigte hierbei nicht nur die grösste Oxydirbarkeit, sondern auch die höchsten Werthe für den Gesamtstickstoff und für Ammoniak.

Wie die Tabelle I erkennen lässt, wurden bei dem Landbrunnen im Allgemeinen nicht nur für Rückstand, Glühverlust, Oxydirbarkeit und Ammoniakgehalt, sondern auch für Eisen etwas höhere Werthe gefunden als beim Seebrunnen, dagegen war der Chlorgehalt sowie der Gehalt an Kalk, Magnesia und Schwefelsäure bei beiden Brunnenwässern etwa derselbe. Das Gaardener Wasser unterschied sich von dem Wasser der Schulenseebrunnen dadurch, dass alle in demselben untersuchten Stoffe in geringerer Menge vorhanden waren, mit Ausnahme der Schwefelsäure, von welcher sogar verhältnissmässig viel nachgewiesen wurde. Vergleichende Untersuchungen des Wassers aus den Vollrathswiesenbrunnen und den Eisenbahneinschnittbrunnen ergaben für die ersteren durchweg etwas höhere Werthe als für die letzteren. Das Wasser aus dem Versuchsbrunnen hatte im Vergleich zu den benachbarten Schulenseebrunnen einen niedrigen Eisen- und Magnesiagehalt, dagegen enthielt es fast ebenso viel Schwefelsäure als das Gaardener Wasser.

Die Tabelle I lässt übrigens deutlich erkennen, dass die Clark'sche Methode zur Bestimmung der Härte bei dem hiesigen Grundwasser nicht angewendet werden sollte, da sie stets um mehrere Grade zu niedrige Werthe lieferte. So betrug beispielsweise die aus Kalk und Magnesia berechnete Härte bei 3 Analysen des Versuchsbrunnens 16.5 bzw. 16.9 bzw. 14.8 Härtegrade, während in denselben Proben mittels Seifenlösung nach Clark nur 12.5 bzw. 13.7 bzw. 13.1 Härtegrade gefunden wurden, und bei den übrigen Grundwässern zeigten sich ähnliche Unterschiede.

Was nun die Herkunft der organischen Substanzen in den Wässern betrifft, so ist es schon nach der Oertlichkeit der Brunnen, Bohrlöcher u. s. w. ausgeschlossen, dass dieselben etwa von menschlichen oder thierischen Abfallstoffen herrühren, sie müssen vielmehr von pflanzlichen Resten im Boden abstammen. Der dem Wasser in der Regel anhaftende moorige Geruch und Geschmack einerseits, das weitverbreitete Vorkommen von Mooren in der Umgebung von Kiel sowie die gar nicht seltene Einlagerung von Torfschichten in dem wasserführenden Broyzoensand andererseits machen es vielmehr wahrscheinlich, dass die genannten Stoffe von den

¹ F. Tiemann u. A. Gärtner, *Die chemische und mikroskopisch-bakteriologische Untersuchung des Wassers*. Braunschweig 1889. S. 651.

Moorvegetationen bzw. den Torfeinlagerungen abstammen, sodass sie demnach als Humussubstanzen aufzufassen sind. Sind nun auch unsere Kenntnisse von der Zusammensetzung der Humussubstanzen bis jetzt nur sehr unvollkommen, so ist doch ihr allgemeines Verhalten im Boden einigermaßen bekannt. So weiss man, dass sie ein starkes Auflösungsvermögen auf die verschiedensten Mineralien äussern und so unter Anderem das Wasser befähigen, aus dem Boden Eisen in der Form von Oxydulverbindungen aufzunehmen. Nach Wolffhügel¹ wird das im Erdreich als Oxyd und Oxydhydrat vorhandene Eisen unter Mitwirkung von reducirenden Stoffen (Torflagern, vermodernden Baumresten und dergl.) in Oxydul übergeführt und von dem kohlensäurehaltigen Grundwasser als Bicarbonat in Lösung aufgenommen.

Nach Piefke² sind Wässer, die starker Verunreinigung mit organischen Substanzen ausgesetzt waren, reicher an Eisen als solche, die davon verschont geblieben. Nach Proskauer³ besitzen die Humussubstanzen die Fähigkeit mit dem Eisenoxydul in kohlensäurehaltigem Wasser lösliche Verbindungen einzugehen und auf diese Weise den Gehalt des Wassers an Eisen zu steigern.

Mit der Annahme dass die organischen Substanzen im Kieler Grundwasser als humöse aufzufassen und auf den Moor- und Torfgehalt des Bodens zurückzuführen sind, erklärt es sich demnach auch zugleich, warum in unserer Gegend im Grundwasser gewöhnlich Eisen in grösserer Menge angetroffen wird. Durch die Aufnahme der humösen Stoffe aus dem Moor bzw. Torf ist das Wasser, wie wir gesehen haben, befähigt, Eisen aufzulösen, solches wird ihm aber auf seinem Wege durch den Boden in unserer Provinz in reichlichem Maasse geboten, da die wasserführende Bryozoensandschicht stark eisenhaltig ist.

Sobald wir annehmen, dass die im Kieler Grundwasser reichlich vorhandenen gelösten organischen Stoffe wesentlich von den Pflanzenresten der Moor- bzw. der Torflager herrühren, findet auch das regelmässige Vorkommen von Ammoniak im Wasser eine befriedigende Erklärung. Das stete Fehlen von salpetriger Säure und Salpetersäure bei fortwährender Anwesenheit von Ammoniak weist darauf hin, dass im Boden Verhältnisse vorliegen, welche einer völligen Nitrification der organischen Substanz entgegen stehen, so dass es hierbei stets nur zur Bildung von

¹ Wolffhügel, Wasserversorgung. *Handbuch der Hygiene* von Pettenkofer. Th. II. Abth. 1. 2. Hälfte. S. 19.

² C. Piefke, Ueber die Nutzbarmachung eisenhaltigen Grundwassers für die Wasserversorgung von Städten. *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*. 1891. S. 62.

³ *Diese Zeitschrift*. Bd. IX. S. 154.

Ammoniak, nie aber zu derjenigen von salpetriger Säure und Salpetersäure kommt. Nun ist es aber bekannt, dass im moor- bzw. torfhaltigen Boden die Zersetzung der organischen Substanz nicht die gewöhnliche zu sein pflegt. Soyka¹ äussert sich beispielsweise in seiner Monographie über den Boden dahin, dass in gewissen, an organischen Stoffen sehr reichen Bodenarten, z. B. dem Torfe der Mineralisirungsprocess mit der Ammoniakbildung beendet zu sein scheint und sich die Nitrification auch nach längerem Zeitraum nicht einstellt.

Wir müssen uns vorstellen, dass durch die stark reducirend wirkenden humösen Substanzen der Sauerstoff, den das Wasser bei seinem Eindringen in den Boden mitbringt, rasch aufgebraucht wird, dass es daher schon in verhältnissmässig geringer Tiefe vollständig an dem zu einer völligen Nitrification erforderlichen Sauerstoff fehlt, dass es aus diesem Grunde gar nicht zur Bildung von salpetriger Säure bzw. Salpetersäure kommen kann. Wie später gezeigt wird, gaben directe Bestimmungen des Sauerstoffes in aus der Tiefe der Schulenseebrunnen entnommenen Proben so geringe Werthe, dass man annehmen darf, das Wasser dieser Brunnen und mithin auch das Grundwasser daselbst enthält schon in geringer Tiefe keinen freien Sauerstoff mehr. Wollte man bei dem Kieler Grundwasser das Auftreten des Ammoniaks auf die Wirkung reducirender Mikroorganismen zurückführen, wie das für gewisse Fälle in der That gilt, dann würden sich wenigstens zeitweise noch Spuren von salpetriger Säure und Salpetersäure vorfinden müssen, was aber, wie erwähnt, nicht beobachtet worden ist.

Rühren die organischen Stoffe, sowie das Ammoniak im Kieler Grundwasser nun von den Moorvegetationen und Torfschichten im Boden her, dann ist damit auch zugleich gesagt, dass ihr Vorhandensein im Wasser zu hygienischen Bedenken keine Veranlassung bietet; es kommt ihnen alsdann nicht etwa die Bedeutung zu wie den organischen Substanzen und dem Ammoniak im Wasser des verunreinigten Städteuntergrundes, wo das Vorkommen dieser Stoffe uns auf die Gefahr des Hineingelagens von Krankheitserregern in das Wasser aufmerksam macht.

Ist aber die Ansicht richtig, wonach die in verhältnissmässig reichlicher Menge vorhandenen organischen Substanzen, sowie das Ammoniak von den pflanzlichen Resten des Bodens herrühren, wonach auch der Eisengehalt des Grundwassers von dem moor- bzw. torfhaltigen Boden indirect abhängig ist, dann steht zu erwarten, dass auch in anderen Gegenden beim Vorhandensein von Mooren und Torfeinlagerungen das Grundwasser eine ähnliche Zusammensetzung zeigt wie in Kiel.

¹ Soyka, Der Boden. *Handbuch der Hygiene* von Pettenkofer. Thl. I Abth. 2. Hft. 3. S. 183.

Tabelle II. Tiefbrunnenwasser aus Oldenburg in Holstein.

Tiefbrunnen-Nr.	Tiefe des Brunnens in m	Schichtenfolge	Trockenrückstand	Glühverlust	Oxydirbarkeit. ¹ Kaliumpermanganat	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpetersäure	Chlor	Eisenoxydul	Calciumoxyd	Schwefelsäure	Magnesiumoxyd	Keimgeh. im ccm ²	Reaction	Farbe und Durchsichtigkeit	Geruch a) bei gewöhnlicher Temperatur; b) beim Erwärmen	Geschmack	Bemerkungen
I.	43	28 m blauer Thon, darunter Trieb sand	490.0	78.0	8.22	0.5	0	0	76.0	3.99	150.0	26.9	26.5	647	alk.	schwach gelb, trübe mit flockigem Bodensatz	a) ohne besonderen Geruch. b) schwach moorig	nach Eisen	Artesischer Brunnen
II.	60	Blauer Thon nahe zu 60 m, darunter grober Kies	883.3	91.7	10.63	1.25	0	0	217.0	3.48	127.5	30.35	84.75	203	alk.	flockig getrübt	a) etwas faulig, b) schwach moorig	stark nach Eisen	
III.	15	13 m blauer Thon, darunter grober Kies	801.66	143.3	4.8	1.85	0	0	167.1	18.83	206.5	57.97	69.76	626	alk.	gelb, stark getrübt mit flockigem Bodensatz	a) sehr schwach faulig, Eisen etwas moorig	stark nach Eisen etwas faulig	

¹ Nach Abzug des für das Eisenoxydul erforderlichen Kaliumpermanganats.

² Aussaat erst etwa 24 Stunden nach der Entnahme der Wasserproben.

In der That beobachtete nun Proskauer¹ bei dem eisenhaltigen Wasser von Tiefbrunnen in Berlin und Umgegend das stete Vorhandensein von Ammoniak bei gleichzeitigem Fehlen von salpetriger Säure und nur seltenem und dann immer nur spurenweisem Vorkommen von Salpetersäure. Dabei war zum Unterschied von dem Kieler Grundwasser die Oxydirbarkeit fast durchweg eine geringe, der Chlorgehalt dagegen vielfach ein ganz bedeutender.

Dass nicht alle Tiefbrunnenwässer in Norddeutschland eine geringe Oxydirbarkeit besitzen, lassen drei solche Wässer aus Oldenburg² in Holstein, deren Analysen auf der Tabelle II mitgetheilt sind, erkennen. Hier kommt die Oxydirbarkeit bei den Brunnen I und II etwa der beim Kieler Grundwasser ermittelten gleich, während der Chlorgehalt ein ähnlich hoher wie bei den Berliner Tiefbrunnen ist; Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure verhalten sich genau so, wie beim Kieler Grundwasser, auch der moorige Geruch ist vorhanden. Eisen findet sich in grösserer Menge bei dem III. Brunnen, der nur 15 Meter tief ist, in weit grösserer Menge sogar als bei sämmtlichen von Proskauer in der mehrfach erwähnten Abhandlung zusammengestellten Analysen von Tiefbrunnenwässern.

Dieser III. Brunnen war noch durch seinen ausserordentlichen Gehalt an härtemachenden Substanzen ausgezeichnet. Dieselbe war so bedeutend, dass der übliche Zusatz von 2^{cem} Sodalösung und 1^{cem} Aetznatronlösung zu 300^{cem} des auf Ammoniak nach der Methode von Frankland und Armstrong zu prüfenden Wassers noch nicht genügte, um Kalk und Magnesia völlig auszufällen. Alle Tiefbrunnenwässer, welche Proskauer untersuchte, enthielten Kohlensäure in reichlicher Menge, wogegen Sauerstoff entweder gar nicht, oder nur in Spuren vorhanden war. Wir fanden bei dem Grundwasser am Schulensee ähnlich niedrige Werthe für Sauerstoff wie Proskauer (0,27^{cem} Sauerstoff im L.) und beobachteten auch das Vorhandensein reichlicher Mengen von Kohlensäure in demselben. (298 bis 324^{mg} i. L. Gesamtkohlensäure und 167 bis 181^{mg} freie und halbgebundene Kohlensäure.)

Weniger gross ist die Uebereinstimmung in der Zusammensetzung zwischen dem Kieler Grundwasser und einigen von Proskauer untersuchten³, zum Theil stark eisenhaltigen Flachbrunnen (der Eisengehalt kommt hier mehrfach dem beim III. Oldenburger Tiefbrunnen gefundenen fast gleich). Dieselben haben eine recht grosse Oxydirbarkeit und

¹ *Diese Zeitschrift.* Bd. IX. S. 150 u. 151.

² Hr. Kreisphysikus Dr. Schröder aus Oldenburg hatte die Freundlichkeit, mir diese Proben zuzustellen, ihm verdanke ich auch die Angaben über die Bodenverhältnisse.

³ *Diese Zeitschrift.* Bd. IX. S. 154.

Tabelle III. Zusammensetzung einiger Oberflächenwässer.

		Trocken- rückstand	Glühverlust	Oxydirbar- keit. Kalium- permanganat	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpetersäure	Chlor	Eisenoxydul	Härte nach Clark Ge- sammt- Härtegrade	Calciumoxyd	Schwefelsäure	Magnesium- oxyd	Reaction
Schulensee	6	287 276— 300	77.7 58— 131	34.1 ¹ 17.0— 72.7	0.08 0—0.26	0	0	16.8 14.1— 21.0	0.25 0.1— 0.5	9.7 —	3.1	90.0 17.2— 19.9	18.5 10.1— 11.5	10.8 alk.
Drecksee	1	288.3	106.7	19.6	0.15	0	0	16.5	0.11	8.1	2.1	85.0	26.7	11.3 alk.
Schwennefluss. Etwas oberhalb der Mündung in den Kieler Hafen	2	245 230— 260	74.3 62.0— 86.6	28.0 22.4— 33.5	Spur— 0.19	0	0— Spur	31.4 29.5— 33.3	0.1 0.04— 0.17	7.1 ²	2.4	— 105.0 ²	— 18.9 ²	— 13.9 ² alk.
bei Schulan . . .	1	—	—	25.3	0.35	0	0	312	—	—	—	—	—	— neutr.
Elbe unter- halb Hamburg bei Tinsdal . . .	1	745.3	174.0	19.97	0.81	0	0	295	—	—	—	137.5	55.8	23.58 alk.

¹ 88 Einzelbestimmungen.² Bei der ersten Untersuchung die Härte nach Clark, bei der $\frac{1}{2}$ Jahr später ausgeführten = CaO, MgO und SO₃ gewichts-
analytisch bestimmt.

einen zum Theil ausserordentlich hohen Ammoniakgehalt, daneben aber regelmässig Salpetersäure, wenn auch gewöhnlich nur in Spuren, dagegen fehlte die salpetrige Säure meist. Proskauer brachte übrigens den Eisengehalt sowohl als auch das Vorhandensein der Stickstoffverbindungen bei diesen Flachbrunnen mit den im Boden direct nachgewiesenen Torfschichten in Zusammenhang.

Nach obigen Erfahrungen zweifle ich nicht daran, dass auch an vielen anderen Stellen Norddeutschlands das Grundwasser die zunächst für Kiel als typisch erkannte und bezeichnete Zusammensetzung besitzt, d. h. verhältnissmässig hohe Oxydirbarkeit und Vorhandensein von Ammoniak bei völligem Fehlen von salpetriger Säure und Salpetersäure in dem meist nach Schwefelwasserstoff riechenden, eisenhaltigen und nicht nur tintenartig schmeckenden, sondern etwas moorig riechenden und mit moorigem Beigeschmack versehenen Wasser.

Die geschilderte eigenartige Zusammensetzung des Wassers lässt sich bis zu einem gewissen Grade auch noch an den stehenden und fliessenden Gewässern der hiesigen Gegend erkennen, wie aus der Tabelle III ersichtlich ist, die alle hierhergehörigen Analysen von Oberflächenwässern, welche im Institut ausgeführt worden sind, enthält. Bei allen findet sich eine hohe Oxydirbarkeit, regelmässiges Vorkommen von Ammoniak, wenn auch zum Theil nur noch in Spuren, dagegen fehlen salpetrige Säuren stets und Salpetersäure fast immer. Das Eisen ist natürlich zum grössten Theil ausgefallen. Mooriger Geruch bezw. Geschmack waren meist nachzuweisen, beim Schulensee sogar gewöhnlich in hohem Grade. Das Wasser des Schulensees ist ausserdem auch durch eine nicht unbeträchtliche gelbe Färbung ausgezeichnet, welche bei früher ausgeführten Sandfiltrationsversuchen ebenso wenig wie der moorige Geruch und Geschmack eine Veränderung erfuhr. Während die früheren Analysen des Schulenseewassers wesentlich mit Rücksicht auf die ursprünglich geplante Verwendung des Seewassers für die Wasserversorgung Kiels ausgeführt waren, hatten die letzten beiden im Herbst v. J. ausgeführten Analysen, ebenso wie die des Wassers aus dem in nächster Nähe des Schulensees befindlichen Drecksee den Zweck darzuthun, dass nicht etwa, wie in Kiel von mancher Seite behauptet wird, von dem Versuchsbrunnen an der Poppenbrügger Aue direct Wasser aus diesen Seen gepumpt wird. Der grosse Unterschied in der Zusammensetzung zwischen dem Wasser des Versuchsbrunnens und demjenigen des Schulensees schliesst einen directen Zufluss aus.

Aber auch ein indirecter Zufluss von Wasser aus dem Schulensee, ein Filtriren des Seewassers durch den Seeuntergrund nach dem Versuchsbrunnen hin, ist wenigstens für die gewöhnlichen Verhältnisse und bei

dem gewöhnlichen Wasserstand im Schulensee nicht wahrscheinlich. Der Schulensee verhält sich in dieser Beziehung genau wie die meisten Seen. Durch sein verschlammtes Bett, an welches sich, wie erwähnt, eine mächtige Schlickschicht anschliesst, kann kein Wasser in den Untergrund hindurch treten. Es würde sich demnach nur noch um die Frage handeln, ob das unter bzw. neben dem Schulensee befindliche Grundwasser, u. A. auch dasjenige Grundwasser, welches dem Laufe der Eider folgend bis zum Schulensee gelangt ist, von dem Brunnen an der Poppenbrügger Aue angepumpt wird. In diesem Falle wäre zu befürchten, dass die Ergiebigkeit der Schulenseebrunnen (eventuell umgekehrt die des Versuchsbrunnens) im Laufe der Zeit eine Abnahme erfährt. Ingenieur Thiem hält auch diese Befürchtung für unbegründet. Die von ihm während der Pumpversuche angestellten Grundwasserstandsbeobachtungen hält er für beweisend dafür, dass der Versuchsbrunnen sein Wasser aus einer nach dem See hin gerichteten Grundwasserströmung entnimmt.

Aber auch, wenn durch den Versuchsbrunnen Wasser aus dem See gepumpt würde, so würde gegen dieses Wasser in gesundheitlicher Beziehung nichts einzuwenden sein, da der Versuchsbrunnen um 150^m vom See entfernt bleibt, und das Wasser demnach eine so weite Strecke durch den Boden zurückzulegen hätte, dass man hierbei auf eine genügende Reinigung desselben von etwa in den Schulensee gelangten Krankheitsstoffen mit Sicherheit rechnen könnte. Denn die in Kiel von mancher Seite vertretene Ansicht, dass der Boden am Schulensee insbesondere wegen der daselbst vorhandenen Moore abnorm durchlässig sei, erscheint nach den directen Untersuchungen nicht begründet. Die in der Nähe des Versuchsbrunnens, woselbst sich an der Bodenoberfläche eine mindestens 1^m hohe Moorschicht findet, an mehreren Stellen aus verschiedenen Bodentiefen entnommene Bodenproben liessen bei der bakteriologischen Untersuchung erkennen, dass der in den oberflächlichen Bodenschichten sehr hohe Keimgehalt mit dem Vordringen in die Tiefe eine ähnlich rasche Abnahme erfährt, wie das anderwärts an gewachsenem Boden regelmässig beobachtet worden ist.

So wurden 20^m westlich vom Versuchsbrunnen (d. h. in der Richtung nach dem Schulensee hin) im Cubikcentimeter des Bodens gefunden:

in 1^m Tiefe 56576 Keime

2 „ „ 2856 „

3 „ „ 1054 „

und eben so weit östlich vom Versuchsbrunnen

in 1^m Tiefe 15360

2 „ „ 5627

2.6 „ „ 2465.

Dementsprechend zeigte das Wasser von dem Versuchsbrunnen bei wiederholter Untersuchung auch regelmässig einen niedrigen Keimgehalt, nämlich 121 bezw. 22 bezw. 43 Keime pro ^{cem}.

Tabelle IV.

Keimgehalt des Wassers aus den städtischen Wasserversorgungsanlagen.

Bei je 52 maliger Untersuchung in den Jahren 1889—1892 wurden gefunden:

		See- brunnen	Beim Land- brunnen	Gaardener Sammel- brunnen	Bei den Zapfstellen der Leitung inner- halb der Stadt		
					Nr. I	Nr. II	Nr. III
Entwickelungs- fähige Keime im Cubikctm. Wasser	im Mittel	1001	1572	2391	307	299	151
	im Maximum	10 841	12 908	60 000	7000	2300	926
	im Minimum	7	12	5	12	4	4
Weniger als 300 Keime .		12 ×	17 ×	38 ×	40 ×	37 ×	48 ×
300—600 Keime . . .		14 ×	11 ×	5 ×	7 ×	10 ×	3 ×
600—1000 Keime . . .		11 ×	3 ×	3 ×	4 ×	2 ×	1 ×
1000—2000 Keime . . .		8 ×	11 ×	3 ×	—	3 ×	—
Ueber 2000 Keime . . .		7 ×	10 ×	3 ×	1 ×	—	—

Zu der Vermuthung, dass der Boden namentlich am Schulensee abnorm durchlässig, und dass daher das Grundwasser daselbst nicht, wie gewöhnlich, bakterienfrei sei, hat wohl am Meisten der Umstand beigetragen, dass das Wasser aus den Schulenseebrunnen gewöhnlich einen auffallend hohen Keimgehalt aufwies. Wie die Tabelle IV zeigt, wurden durchschnittlich im Seebrunnen 1001, und im Landbrunnen 1572 Keime pro Cubiccentimeter gefunden. Im Gaardener Sammelbrunnen war der durchschnittliche Keimgehalt sogar noch weit grösser, nämlich 2391 Keime pro Cubiccentimeter. Wie aber aus der Tabelle ersichtlich ist, war dieser besonders hohe Durchschnittsgehalt dadurch bedingt, dass einige Male ein auffallend hoher Keimgehalt (z. B. 60 000 Keime pro Cubiccentimeter) gefunden wurde. Sonst war der Keimgehalt beim Gaardener Sammelbrunnen niedriger als bei den Schulenseebrunnen, allein 38 Mal von 52 Untersuchungen überschritt er den für reine Brunnenwässer gewöhnlich angenommenen Grenzwert von 300 Keimen pro Cubiccentimeter nicht. Bei den Schulenseebrunnen dagegen war in der Regel der Keimgehalt ein hoher, gar nicht so selten betrug er mehr als 1000 bezw. mehr als 2000 Keime.

Für diesen auffallend hohen namentlich an den Schulenseebrunnen beobachteten Keimgehalt liess sich lange Zeit keine genügende Erklärung finden, denn die Annahme, dass die Brunnen von einem Grundwasser gespeist würden, welches nicht genügend von Bakterien befreit sei, widersprach nicht nur allen bisherigen Erfahrungen, sondern sie stand auch mit den erwähnten directen Beobachtungen über das Verhalten der Bakterien im hiesigen Boden im Widerspruch. Zudem wäre es bei einer solchen Annahme völlig unaufgeklärt geblieben, warum bei einem, wie gezeigt, so hohen Keimgehalt in den die Leitung mit Wasser versorgenden Brunnen, in der Leitung selbst im Allgemeinen ein weit niedrigerer Keimgehalt gefunden wurde. Denn wie ein Blick auf die Tabelle IV ergibt, überschritt der durchschnittliche Keimgehalt nur bei der Zapfstelle I um Weniges den Grenzwert von 300 Keimen, bei der Zapfstelle III aber wurde er sogar nur etwa zur Hälfte erreicht. Die Tabelle zeigt aber auch, dass bei der bei weitem grössten Mehrzahl der Untersuchungen das Leitungswasser weniger als 300 Keime enthielt. Es mag noch hinzugefügt werden, dass einmal auch bei zwei Wochen hindurch täglich ausgeführter Untersuchung des Leitungswassers im hygienischen Institut stets weniger als 300 Keime gefunden wurden. Wie verträgt sich dieser verhältnissmässig so günstige Keimgehalt mit dem in der Regel auffallend hohen der Brunnen?

Da die Proben regelmässig in der Reihenfolge, wie sie auf der Tabelle IV angeordnet sind, nach einander entnommen wurden, und da mithin bei den Proben aus den Schulenseebrunnen bzw. aus dem Gaardener Sammelbrunnen von der Entnahme bis zur Aussaat gewöhnlich etwas mehr Zeit verging als bei den den Zapfstellen innerhalb der Stadt entnommenen Proben, so musste man daran denken, dass vielleicht in den Proben aus den Brunnen inzwischen eine Vermehrung der Keime stattgefunden hatte, und so der gewöhnlich höhere Keimgehalt der Brunnen zu erklären sei.

Indess war dieser Zeitunterschied doch zu kurz, um allein den grossen Unterschied in dem Keimgehalt der Brunnen und der Zapfstellen zu erklären, und ausserdem wurde auch bei mehreren Versuchen, bei welchen die den Schulenseebrunnen entnommenen Proben an Ort und Stelle sofort zur Aussaat gelangten, ein auffallend hoher Keimgehalt nachgewiesen. Der Umstand, dass die im hygienischen Institut belegene Zapfstelle Nr. III, aus welcher die Proben stets unmittelbar nach der Entnahme auch zur Aussaat gelangten, sich in bakteriologischer Beziehung am günstigsten von allen stellte, scheint übrigens darauf hinzuweisen, dass die Zeit, welche von der Entnahme bis zur Aussaat verging, in dieser Beziehung nicht ganz ohne Einfluss war, indess, wie erwähnt, zur Erklärung der beobach-

teten grossen Differenzen im Keimgehalt genügte dieser Einfluss unter keinen Umständen.

Eine Zeit lang wurde daran gedacht, dass dieser Unterschied im Keimgehalt der Brunnen und der Leitung auf Vorgänge, die sich innerhalb der Leitung abspielen, zurückzuführen sei.

Schon im Jahre 1887 hatte Breunig (vgl. S. 258), welcher neben einem auffallend hohen Keimgehalt in dem Gaardener Sammelbrunnen in der damals nur von dem Gaardener Werk gespeisten städtischen Leitung regelmässig bedeutend weniger Keime fand, versucht, diese scheinbare Abnahme des Keimgehaltes innerhalb der Leitung durch den theilweisen Abschluss der Luft in der Leitung zu erklären, es gelang ihm jedoch nicht, die Richtigkeit dieser Anschauung durch entsprechende Versuche darzuthun. Auch die Vermuthung, dass die, wie später gezeigt wird, innerhalb der Leitung bereits vor sich gehende Eisenausscheidung eine Verminderung des Keimgehaltes herbeiführe, indem durch das ausfallende Eisen ein Theil der Bakterien mit niedergerissen würde, erwies sich weiterhin als nicht begründet. Denn, wie die zur Klärung dieser Frage unternommenen, weiter unten mitgetheilten Absitzversuche (vergl. Tabelle VIII) erkennen lassen, zeigten die Stehproben des Schulenseegrundwassers Nr. I. und II innerhalb der ersten sechs Stunden nach der Ankunft im Laboratorium, während welcher Zeit ja der grösste Theil des Eisens ausgeschieden wurde, wohl eine Abnahme des Bakteriengehaltes, dieselbe war aber viel zu gering, um den im Verhältniss bedeutend geringeren Keimgehalt in der Leitung zu erklären.

Nun blieb aber zunächst die Frage zu beantworten, ob überhaupt eine Verminderung des Keimgehaltes innerhalb der Leitung statt hatte. Es war ja denkbar, dass der Leitung trotz des im Brunnenwasser in der Regel gefundenen hohen Keimgehaltes, stets ein an Keimen ärmeres Wasser zugeführt wurde, dass beispielsweise bei der Probenentnahme aus den Brunnen ein Wasser erlangt wurde, welches sich von dem fortwährend der Leitung zugehenden in seinem Keimgehalt unterschied. Ein weiteres Verfolgen dieser Frage ergab zunächst, dass bei den Schulenseebrunnen auch bei fortwährender Benutzung derselben die oberste Wasserschicht stagnirt. Da die Saugventile der Heberrohre, welche das Wasser nach dem Sammelbrunnen hinführen, auch wenn der Wasserspiegel im Brunnen auf das äusserst zulässige Maass abgesenkt ist, immer noch 1,5 m unter Wasser liegen, muss das Wasser demnach in einer mindestens 1½ m hohen Schicht stagniren. In dieser oberflächlichen Schicht findet eine Erneuerung des Wassers bei dem gewöhnlichen Betrieb nicht, oder doch wenigstens nur ganz allmählich statt, so dass es daselbst wahrscheinlich zu einer stärkeren Vermehrung der Wasserbakterien kommt.

Bei der oben beschriebenen Art der Probeentnahme, füllten sich die in den Brunnen hinabgelassenen Reagentgläser stets mit Wasser aus dieser stagnirenden Schicht, und erklärt sich auf diese Weise ungezwungen der in der Regel beobachtete auffallend hohe Keimgehalt der Brunnen.

Wenn bei dem Gaardener Sammelbrunnen nur hier und da ein besonders hoher Keimgehalt durch die Untersuchung nachgewiesen wurde, so hat das jetzt nichts Auffallendes mehr, denn bei diesem Sammelbrunnen kann es nur dann zu einem Stagniren der oberen Wasserschichten kommen, wenn die Vollrathswiesenbrunnen abgestellt sind, und nur das Wasser aus den Eisenbahneinschnittbrunnen durch die Heberrohrleitung zufließt. Denn, wie oben erwähnt, wird das Wasser der Wiesenbrunnen durch eine kleine Maschine in den Sammelbrunnen hineingedrückt, wobei das Wasser bis in seine obersten Schichten in Bewegung versetzt bzw. erneuert wird.

Dass in stagnirendem Brunnenwasser eine lebhafte Vermehrung der Keime stattfinden kann, ist bekannt, und ist auch u. A. durch die Untersuchungen von Rubner¹ festgestellt, dass hiermit in der Regel ein Absinken der Keime nach dem Boden des Brunnens hin einhergeht. Die unbeweglichen bzw. unbeweglich gewordenen Bakterien sinken, so weit sie ein höheres specifisches Gewicht besitzen, allmählich zu Boden, sie wirken auf diese Weise der Vermehrung der Keime in den oberen Schichten entgegen, sie führen aber gleichzeitig dahin, dass das von unten hinzutretende, in der Regel keimfreie Grundwasser eine gewisse Anzahl Bakterien beigemischt erhält. Bei den im Betrieb befindlichen Schulenseebrunnen wird sich dieses Absinken der Keime im Wesentlichen auf die stagnirende Wasserschicht beschränken, denn in den unterhalb der Saugventile befindlichen Brunnenabschnitten zeigt das Wasser bei der gewöhnlichen Benutzung der Brunnen eine recht beträchtliche, aufwärtsgerichtete Bewegung. (Dieselbe ist bei dem Seebrunnen z. B. auf ca. 5—20^{mm} in der Secunde zu veranschlagen.)

An der Grenze zwischen dem stagnirenden und dem aufwärts strömenden Wasser wird an das letztere bei der Vermischung mit dem ersteren fortwährend ein Theil der Bakterien aus demselben abgegeben werden. Ausserdem kommt das unten in den Brunnen einströmende Wasser mit der Brunnenwandung, mit dem Heberrohr und mit allerlei sonstigen Theilen des Brunnens in Berührung, die, wie die Erfahrung lehrt, regelmässig von einer Bakterienhaut überzogen sind. Selbst wenn

¹ Beitrag zur Lehre von den Wasserbakterien. *Archiv für Hygiene*. Bd. XI. S. 377.

das Wasser, wie wir annehmen müssen, keimfrei in den Brunnen tritt, wird es daher bei seinem Durchgang durch den Brunnen eine Anzahl von Bakterien beigemischt erhalten. Diese Zahl wird gewissen Schwankungen, je nach dem Keimgehalt der stagnirenden Schicht, nach der Beschaffenheit der Bakterienhaut in dem Brunnen, nach der Strömungsgeschwindigkeit u. s. w. unterliegen, sie wird unter Umständen gar nicht unbeträchtlich sein, sie wird aber bei dem gewöhnlichen Betrieb voraussichtlich stets bedeutend hinter der Keimzahl in der stagnirenden Schicht zurückbleiben. Erklärt es sich auf diese Weise ungezwungen, inwiefern bei dem gewöhnlichen Betrieb dem Heberrohr und damit der Leitung ein Wasser zugeführt wird, welches nur einen mässigen Keimgehalt besitzt, während gleichzeitig der Brunnen in seiner oberen stagnirenden Wasserschicht einen ungemein hohen Keimgehalt aufweisen kann, so ist es auch nicht schwer zu zeigen, dass zeitweise grössere Mengen von Bakterien aus dem Brunnen in die Leitung gelangen können. Wird nämlich der Brunnen abgestellt, so hört nach einiger Zeit die aufwärtsgehende Bewegung auf, es findet jetzt ein Absinken der Keime aus der oberen keimreicheren Schicht statt, es kann ausserdem noch zu einer Vermehrung derselben kommen und, wenn nunmehr der Brunnen wieder in Betrieb genommen wird, so muss zunächst ein Wasser in die Leitung gelangen, welches weit mehr Bakterien enthält als sonst bei ununterbrochenem Betrieb.

Es mag hier auch noch erwähnt werden, dass die wegen der Eisenschlammabsonderung in der Leitung erforderlichen, regelmässig ausgeführten Durchspülungen der Leitung ebenfalls vorübergehend zu einem stärkeren Keimgehalt in den der Leitung entnommenen Proben zu führen im Stande sind.

Dass die vorstehende Auffassung richtig ist, geht aus länger fortgesetzten vergleichenden Versuchen hervor, wobei zur selben Zeit jedesmal eine Probe von der Oberfläche und von etwa 5^m unterhalb des Wasserspiegels aus dem Landbrunnen mittels des oben beschriebenen Tiefseewasserschöpfapparates entnommen wurde.

Sechsmal war bei sieben Versuchen der Keimgehalt der Probe aus 5^m Tiefe wesentlich niedriger als bei der Oberflächenprobe. Bei diesen sieben Versuchen wurden in den Oberflächenproben im Durchschnitt 803, in den aus der Tiefe entnommenen Proben dagegen nur 312 Keime pro Cubikcentimeter nachgewiesen.

Noch deutlicher ging der Unterschied zwischen dem Keimgehalt der oberflächlichen und der tieferen Schichten aus einem Versuch am Seebrunnen hervor. Hier wurden in den rasch nacheinander in der nachstehenden Reihenfolge entnommenen Proben gefunden:

bei 2 Proben aus 17 Meter Tiefe	95 bzw. 114 Keime,
„ 1 Probe „ 10 „ „	38 Keime,
„ 1 „ „ 5 „ „	197 „
in der Probe von der Oberfläche	1073 „

In einer am selben Tage eine Stunde früher von der Oberfläche entnommenen Probe, welche erst mit den obigen Proben zugleich zur Aussaat gelangte, wurden übrigens nur 448 Keime pro Cubikcentimeter nachgewiesen.

In den Brunnen des Schulensee- und des Gaardener Wasserwerks, sowie in dem Wasser der Leitung wurden durch die bakteriologische Untersuchung in erster Linie natürlich Bakterien, aber auch gelegentlich und in geringerer Anzahl Hefen- und Schimmelpilze nachgewiesen. Mehrere Male wurden auch aus dem Seebrunnen und je einmal aus dem Land- und Gaardener Sammelbrunnen Culturen von *Cladothrix* erlangt, die sich übrigens von einander constant in derselben Weise unterschieden, so dass es sich allem Anschein nach um verschiedene Spielarten handelte. Während alle drei Arten bei der Untersuchung mit starker Vergrösserung sich ganz gleich verhielten, war die aus dem Landbrunnen gezüchtete *Cladothrix* dadurch ausgezeichnet, dass sie bei Brüttemperatur anfänglich überhaupt nicht wuchs und erst bei lange Zeit nachher wieder aufgenommenen Versuchen ein sehr kümmerliches Wachsthum erkennen liess. Von den anderen beiden *Cladothrix*arten unterschied sie sich ferner dadurch, dass ihre Colonieen auf der Gelatine und auf Kartoffeln gelbbraun gefärbt waren, dass dagegen der Nährboden keine oder doch nur eine schwache Braunfärbung annahm, und sich die Gelatine erst sehr spät und in geringem Maasse verflüssigte. Die *Cladothrix* aus dem Seebrunnen dagegen wuchs ebenso wie die aus dem Gaardener Sammelbrunnen im Brütapparat regelmässig üppig, bei ihr waren die Culturmassen selbst gewöhnlich wenig oder gar nicht braun gefärbt, wohl aber war der Nährboden gefärbt, bei der *Cladothrix* aus dem Seebrunnen stark und frühzeitig, bei der anderen trat immer erst spät und in geringer Ausdehnung die Verfärbung hervor. Einen besonders hübschen Anblick boten Kartoffelculturen der *Cladothrix* aus dem Seebrunnen mit ihren üppigen, warzighöckerigen trockenen Auflagerungen auf dem weithin vollständig schwarz verfärbten Nährboden. Alle drei Spielarten wuchsen in Bouillon, und ebenso, wenn auch langsam, in Milch, wobei es zu einer schönen gelbbraunen Verfärbung der Rahmschicht kam. Uebertragungsversuche mit den in dem Brütapparat wachsenden Arten auf Mäuse und Meerschweinchen blieben ohne Erfolg. Die Culturen der letzteren Spielarten waren übrigens dadurch erlangt worden, dass die

Proben des Brunnenwassers auf Nähragar in den Brütapparat gebracht waren. Bei derartigen Versuchen wuchsen in der Regel bedeutend weniger Arten als auf Agarplatten, die bei gewöhnlicher Temperatur gehalten wurden, und die bei mehreren Versuchen regelmässig zu demselben Keimgehalt führten, wie die Aussaaten auf Nährgelatine.

Während wie erwähnt die Cultur von *Cladothrix* mehrfach leicht gelang, war es trotz der in der mannigfachsten Weise mehrfach wiederholten Versuche nicht möglich von der mikroskopisch in den Schulenseebrunnen, sowie in der Leitung stets leicht nachweisbaren (bei den Gaardener Brunnen dagegen nie beobachteten) *Crenothrix* Culturen auf festen Nährböden zu erlangen. Nur, als nach Verwendung der verschiedensten Nährböden von einer schwach sauren Eisengelatine Gebrauch gemacht wurde, die in einfachster Weise durch Zusatz von Gelatine zu dem mit Eisen versetzten Leitungswasser hergestellt war, zeigte sich an den meisten überimpften *Crenothrix*fäden zweifelloses Wachsthum, dasselbe blieb aber beschränkt, so dass übertragbare Reinculturen nicht gewonnen wurden. Es ist dies zu bedauern, insofern dadurch die ursprüngliche Absicht, die Beziehungen dieser *Crenothrix* zu der Eisenausscheidung einem näheren Studium zu unterwerfen, vereitelt wurde.

In Betreff der durch die bakteriologische Untersuchung nachgewiesenen Bakterien ist zu erwähnen, dass im Laufe der Zeit etwa 40 verschiedene Arten angetroffen sind, meist solche, von denen bekannt ist, dass sie im Trinkwasser häufiger vorkommen. Ueber einige, bisher noch nicht beschriebene Arten soll an einer anderen Stelle Mittheilung gemacht werden.

Zu keiner Zeit gelang es im Leitungswasser und den die Leitung speisenden Brunnen Bakterien, welche als Krankheitserreger bekannt sind, nachzuweisen, ja es verdient hervorgehoben zu werden, dass auch solche Arten, welche sich in der Cultur den bekannten Krankheitserregern ähnlich verhielten, so gut wie gar nicht angetroffen wurden. Dass auch mehrfach Uebertragungsversuche von Wasser bezw. von den aus demselben erlangten Reinculturen auf die gebräuchlichen Versuchsthiere ohne Erfolg blieben, mag der Vollständigkeit halber erwähnt sein.

Für gewöhnlich fanden sich in den Brunnen 7 bis 8, in der Leitung meist nur 4 bis 5 Arten, doch wurden fast alle in den Brunnen beobachteten Arten auch in der Leitung gefunden.

Hervorzuheben dürfte noch sein, dass sich bei vergleichenden Versuchen in dem dem Schulensee dicht neben dem Seebrunnen entnommenen Wasser nicht nur im Allgemeinen ein bedeutend höherer Keimgehalt, sondern auch eine ganz andere Bakterienflora ergab, als in den

zur selben Zeit dem Seebrunnen entnommenen Proben. In beiden kamen natürlich einige Arten, die sich im Wasser häufig finden, wie z. B. der wurzelförmige Erdbacillus vor, im Uebrigen war aber das Bild, welches eine Platte vom See- und auch vom Landbrunnen darbot, regelmässig ein ganz anderes wie das vom Schulensee, in welchem namentlich verflüssigende und wenig gefärbte Arten vertreten waren, während sich die See- bzw. Landbrunnenplatten gewöhnlich durch ihre zahlreichen nicht oder nur langsam verflüssigenden Pigmentbakterien in erster Linie unterschieden.

Erwähnt mag noch sein, dass sich während der letzten Cholera-epidemie, während welcher das Wasser der Schulenseebrunnen und des Schulensees eine Zeit lang fast täglich bakteriologisch untersucht wurde, weder im Brunnen- noch im Seewasser Arten fanden, die sich in ihren Culturen denen der Cholera derartig ähnlich verhalten hätten, dass ihre Unterscheidung von der Cholera nicht auf den ersten Blick möglich gewesen wäre.

b) Das Grundwasser innerhalb der Stadt Kiel.

Wenden wir uns nunmehr zu den Privatbrunnen in der Stadt, von denen, wie bereits erwähnt, im Ganzen bisher 180 aus den verschiedensten Theilen der Stadt einer physikalisch-chemischen und bakteriologischen (30 davon einer wiederholten) Untersuchung unterworfen worden sind.

Da die Wiedergabe aller Analysen zu umständlich sein würde, haben nur im Ganzen 40 und zwar die 20 besten und die 20 schlechtesten Brunnen in die nachstehenden Tabellen Aufnahme gefunden.

Bei der Auswahl der Brunnen wurde jeder zunächst daraufhin angesehen, wie sich die einzelnen untersuchten Bestandtheile zu den früher für reines Trinkwasser aufgestellten Grenzwerten verhielten. Sobald ein Bestandtheil des Wassers einen Grenzwert überschritt, wurde das als ein Fehler in Anrechnung gebracht. Die Tabelle V enthält diejenigen Brunnen, welche in diesem Sinne die wenigsten Fehler aufwiesen und bei welchen die Grenzwerte nur wenig überschritten wurden, die Fehler demnach als geringe zu bezeichnen waren. Bei gleicher Anzahl von Fehlern wurde hier dem mit geringeren Fehlern behafteten Brunnen der Vorzug gegeben. Von zwei oder mehreren benachbarten Brunnen mit gleich vielen und annähernd gleichgrossen Fehlern aber wurde immer nur ein einziger und zwar der beste für die Tabelle ausgewählt. Die Tabelle VI enthält dagegen die Brunnen mit den meisten und grössten Fehlern, d. h. einmal die in obigem Sinne absolut schlechtesten Brunnen, dann aber

auch noch alle Brunnen, mit dem höchsten Werth für einen Bestandtheil d. h. die Brunnen mit dem höchsten Rückstand, bezw. Glühverlust bezw. der höchsten Oxydirbarkeit u. s. w.

Ueberblickt man die Tabelle V und vergleicht man die für die einzelnen Bestandtheile ermittelten Werthe mit den früher allgemein angenommenen Grenzwerten, so macht man zunächst die Wahrnehmung, dass auch nicht ein einziges Brunnenwasser vollständig innerhalb dieser Grenzwerte bleibt. Nach früherer Auffassung würde demnach kein einziger Brunnen in Kiel ein brauchbares Wasser liefern. Die besten enthalten ja Ammoniak (Nr. 3), oder zu viel Chlor (Nr. 18), oder neben Ammoniak zu viel Chlor (Nr. 1), oder salpetrige Säure und daneben zu viel Salpetersäure (Nr. 2), oder Ammoniak und daneben Eisen (Nr. 4 bis 14) u. s. w.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Tabelle V fällt die grosse Uebereinstimmung der Brunnen Nr. 4 bis 14 in ihrer Zusammensetzung auf, und erkennt man bei ihnen auf den ersten Blick die oben für das Grundwasser in der Umgebung von Kiel als typisch bezeichnete Zusammensetzung wieder: Bei stetem Vorhandensein von Ammoniak fehlen salpetrige Säure und Salpetersäure regelmässig vollständig, alle enthalten verhältnissmässig viel organische Substanz, alle sind eisenhaltig, bei vielen ist der Geruch nach Schwefelwasserstoff, bei den meisten ein mooriger Geruch verzeichnet. Ohne weitere chemische Untersuchung sind sie alle schon daran kenntlich, dass sie, wenn sie nicht bereits getrübt in das Laboratorium kamen, bald nachtrübten und dass es schliesslich zur Ausscheidung eines rostfarbenen Bodensatzes bei ihnen kommt.

Sieht man von den geringen Mengen Ammoniak und von dem Eisengehalt ab, so ist das Wasser bei den meisten als rein zu bezeichnen, nur bei einigen ist ausserdem die Oxydirbarkeit eine recht beträchtliche oder der Chlorgehalt etwas erhöht. Jedenfalls aber zählen die Brunnen Nr. 4 bis 14 zu den besten und reinsten Brunnenwässern von Kiel. Nicht weniger als acht dieser elf Wässer werden von artesischen Brunnen geliefert und zwar von solchen mit einer verhältnissmässig geringen Tiefe (7—25 Meter). Mit einer einzigen Ausnahme (Brunnen Nr. 19) gehören überhaupt alle untersuchten artesischen Brunnen von Kiel (= 12 an der Zahl) hierher.

Die Tabelle VI mit den schlechten Wässern enthält nur Analysen von Kesselbrunnen, es findet sich kein einziger artesischer Brunnen darunter. Die drei Kesselbrunnen, welche ausser den acht artesischen die typische Zusammensetzung des Grundwassers von Kiel zeigen (Nr. 6, 9 und 13), sind 20 bezw. 9 bezw. 14^m tief.

Tabelle V. Brunnen-

Laufende Nr.	Lage des Brunnens	Art des Brunnens K = Kessel- B = Röhren- A = Artesisch.	Tiefe des Brunnens Trockenrück- stand	Glühverlust	Oxydirbarkeit	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpetersäure	Chlor	Eisenoxydul	
											m
1	Villa Forsteck	K	4	—	—	2·5	Spur ¹	0	8	32	—
2	Holtenuaer Strasse 220	„	7	—	—	0	0	0·72	24·7	28·5	—
3	Sophienblatt 60	„	18	330	—	0·15	Spur	0	Spur	24·8	—
4	Prüne 5	A	—	337·5	97·5	5·52	1·0	0	0	16·6	1·5
5	Dammstrasse 1	„	—	345·5	—	3·07	0·2	0	0	17·8	—
6	Vorstadt 44	K	18	364	—	4·96	0·6	0	0	21·3	—
7	Friedrichsstrasse 1	A	25	376·6	60·0	13·1	0·6	0	0	17·4	5·0
8	Fährstrasse 10	„	7	361·6	38·3	6·1	0·3	0	0	18·8	1·3
9	Flämischestrasse 25	K	9	387·5	150·0	8·0	0·5	0	0	23·0	—
10	Klinke 24	A	—	381·5	160·0	6·1	1·0	0	0	22·5	—
11	Fleethörn, alte Gas- anstalt	„	17	526·6	96·6	8·74	0·5	0	0	31·1	3·0
12	Walkerdamm 19	„	20	440·0	101·7	11·9	0·4	0	0	52·4 45·0 ²	3·5
13	Bergstrasse 17	K	14	456·6	91·6	12·8	0·18	0	0	48·7	1·3
14	Königsweg 29a	A	19	443·0	96·7	2·68	Spur	0	0	26·6	Spur
15	Niemannsweg 13	K	10 ¹ / ₂	—	—	1·5	Spur	1·1	8·4	41·0	—
16	Schwanenweg 24	„	7 ¹ / ₂	531·5	—	0·76	Spur	0·8	6·7	42·6	—
17	Hospitalstrasse 21	R	17	—	—	9·6	0 ³	0·8	26·0	60·3	—
18	Bergstrasse 26	K	12	—	—	0·5	0	0	0	56·8	—
19	Ringstrasse 52	A	18	475	68·0	0·65	0	2·1	15·0	36·7	0·14
20	Sternwarte	K	9	417	155·5	4·7	0	0·5	34·4	27·3	—

wässer der Stadt Kiel A.

Härte nach Clark		Keingehalt pro cem	Aussehen		Geruch	Geschmack	Bemerkungen
Ge- samt- Härtegrade	Blei- bende Deutsche Härtegrade		Farbe	Durch- sichtigkeit			
19.5	3.7	28	farblos	stark trübe	schwach erdig	schwach erdig	¹ bei später wiederholter Untersuchung Spuren von Ammoniak nachgewiesen.
12.4	7.0	128	fast farblos	fast klar	moorig erdig	moorig erdig	
11.7	4.9	67	farblos	klar	ohne Geruch	erdig	beim Stehen nicht nach- getrübt.
13.8	3.6	82	schmutzig grau	trübe	moorig	nach Eisen	stark nachgetrübt.
13.4	3.7	1	gelblich	trübe	moorig und nach H ₂ S	„	„
12.7	3.7	38	grauweiss	trübe	„	„	„
19.2	6.1	70	grau	trübe	faulig, nach H ₂ S	„	„
15.9	3.7	94	fast farblos	etwas trübe	moorig	erdig	„
14.3	3.9	133	gelblich- weiss	fast klar	moorig faulig	nach Eisen	„
11.6	4.3	7	„	„	„	„	schwach nachgetrübt.
19.6	5.1	10	grauweiss	trübe	nach H ₂ S moorig	faulig und stark nach Eisen	stark nachgetrübt.
18.3	4.9	33	„	etwas trübe	„	nach Eisen	stark nachgetrübt. ² bei wiederholter Untersuch. 45 ^{ms} Cl. und stark schwefelsäurehaltig.
16.0	6.3	7400	schmutzig grau	etwas trübe	moorig	faulig nach Eisen	stark nachgetrübt.
15.4	6.9	—	farblos	klar	„	moorig faulig	bei wiederholter Unter- suchung Geschmack nach Eisen und stark nach- getrübt.
19.0	7.6	40	farblos	klar	ohne	ohne	nicht nachgetrübt.
17.6	5.4	218	„	„	„	„	„
17.9	9.4	87	„	„	—	etwas ad- stringierend	³ bei später wiederholter Untersuchung Spuren von Ammoniak gefunden.
20.6	8.0	602	„	„	moorig erdig	moorig	nicht nachgetrübt.
17.4	6.5	90	fast farblos	„	schwach moorig	ohne bes. Geschmack	nicht nachgetrübt.
9.7	4.4	1036	„	„	sehr schwach moorig	s. schwach moorig und faulig	

Die Brunnenwässer mit der typischen Zusammensetzung haben mit einander demnach das gemein, dass sie ihr Wasser nicht aus den oberflächlicheren Bodenschichten entnehmen. Ausser den von uns untersuchten zwölf artesischen Brunnen waren durch das agriculturchemische Laboratorium im Jahre 1883 (vgl. S. 257, Anm.) noch 14 z. Th. inzwischen eingegangene artesische Brunnen untersucht worden. Von diesen 14 artesischen Brunnen enthielten damals 13 Ammoniak in geringen Mengen — nur zweimal war dasselbe quantitativ mit $0.3\text{--}0.4\text{ mg}$ i. L. bestimmt — alle 14 Brunnen waren frei von salpetriger Säure, nur bei einem derselben fanden sich Spuren von Salpetersäure, sonst fehlte diese vollständig. Bis auf je eine Ausnahme enthielten sie nicht mehr als 30 mg Chlor im Liter, und hatten sie keine grössere Härte als 20 deutsche Härtegrade. Nur bei zwei dieser artesischen Brunnen wurde damals die organische Substanz quantitativ bestimmt und zwar zu 29 bzw. 33 mg i. L. Die Uebereinstimmung in der Zusammensetzung mit der von uns bei den artesischen Brunnen gefundenen ist eine so grosse, dass wir wohl nicht irre gehen, wenn wir annehmen, dass sie sich auch in Bezug auf den damals nicht geprüften Geruch, Geschmack und Eisengehalt analog den von uns als typisch bezeichneten Grundwasserproben verhalten haben. Reißen wir aber diese 14 artesischen Brunnen unseren 14 bereits über die ganze Stadt vertheilten mit der typischen Zusammensetzung an, dann haben wir nicht weniger als 28 Brunnen, welche dieselbe Zusammensetzung zeigen wie das nicht verunreinigte Grundwasser ausserhalb der Stadt. Sie finden sich in der ganzen Ausdehnung der Stadt von Süd nach Nord, wir begegnen ihnen zwar grösstentheils in den tiefgelegenen östlichen Stadttheilen, einige treffen wir aber auch in den höher gelegenen westlichen Abschnitten der Stadt an.

Sehen wir uns nunmehr die übrigen Brunnen der Tabelle V (Nr. 1 bis 3 und 15 bis 20) auf ihre Lage an, so befinden sie sich sämmtlich in den höher gelegenen Stadttheilen, die meisten ausserdem zugleich an der Peripherie der Stadt oder wenigstens in den neueren weitläufig gebauten Theilen der Stadt und endlich haben einige eine sehr geringe Tiefe. Wenn diese Brunnen ein eisenfreies Wasser liefern, so beruht das vermuthlich darauf, dass in den hochgelegenen Stadttheilen kein Moorboden vorhanden ist, dass auch Torfeinlagerungen daselbst wenigstens in den oberen Bodenschichten wohl gar nicht vorkommen, und dass die Brunnen in Folge ihrer absolut oder doch im Verhältniss zur Höhenlage geringen Tiefe gar nicht von eigentlichem Grundwasser gespeist werden, sondern von sogenanntem Schichtwasser. Und wenn andererseits das Wasser dieser Brunnen ziemlich rein gefunden wurde, so rührt das wohl daher, dass in den weitläufig gebauten neueren Stadttheilen der Boden noch nicht so

stark verunreinigt ist, bezw. dass die Brunnen in grösserer Entfernung von den Wohnungen angelegt sind und auch sonst weniger hygienische Mängel aufweisen als die mehr oder minder stark verunreinigten Brunnenwässer von Kiel, von denen die Tabelle VI eine Auswahl der schlechtesten enthält. Dieselben finden sich ebenfalls über die ganze Stadt zerstreut, sowohl in den tiefer als auch in den höher gelegenen Stadttheilen, sie finden sich aber grösstentheils in den dichter bebauten centralen Stadttheilen und haben grösstentheils eine sehr geringe Tiefe. Zweifellos liefern manche derselben Grundwasser, aber ein mehr oder minder verunreinigtes. So sieht man den — übrigens den tiefergelegenen Stadttheilen angehörigen — Brunnen Nr. 21 und 23 trotz ihrer Verunreinigung die dem Grundwasser von Kiel zukommende Zusammensetzung noch an, bei dem Brunnen Nr. 25 aber gelingt das schon nicht mehr. Von den in den höheren Stadttheilen belegenen Brunnen können mehrere in Anbetracht ihrer geringen Tiefe überhaupt kein Grundwasser liefern. Dementsprechend wurde auch bei der localen Besichtigung einiger solcher Brunnen festgestellt, dass sie nur sehr wenig Wasser enthielten, so dass der Brunnen schon nach wenigen Minuten lang fortgesetztem Pumpen kein Wasser mehr gab. Nicht nur an solchen ganz flachen, sondern auch an den tieferen der hierhergehörigen, bei der Untersuchung als stark verunreinigt erkannten Brunnen wurden nun aber bei der Besichtigung all die hygienischen Mängel aufgefunden, denen man heutzutage bei den Brunnen innerhalb der Ortschaften leider noch allzuhäufig begegnet. Sie finden sich fast durchweg in zu grosser Nähe der Wohnungen, der Waschküchen, Müllkästen bezw. Düngergruben, sehr häufig vor allen Dingen in zu grosser Nähe von undichten Ausgüssen, Abzugscanälen, u. s. w. u. s. w. Gar nicht selten fand sich der Brunnen an der tiefsten Stelle des Hofes, dazu überragte der Brunnenkranz gewöhnlich nicht oder doch nicht genügend das umgebende Erdreich, die Eindeckung der Brunnen war in der Regel eine mangelhafte und auch der Brunnenmantel in seinem oberen Abschnitt durchlässig. Regelmässig wurde eine zweckmässige Einrichtung zur gründlichen Beseitigung des von am Brunnen ausgeführten Reinigungsarbeiten herrührenden Spül- bezw. Schmutzwassers vermisst, nach den Ergebnissen der localen Besichtigung musste es vielmehr in der Regel als wohl möglich bezeichnet werden, dass derartige in der nächsten Nähe des Brunnens gewöhnlich zurückbleibende Schmutzwässer allmählich wieder mehr oder minder direct in das Brunneninnere zurückgelangten. Wie gross unter solchen Verhältnissen die Verunreinigung des Brunnenwassers werden kann, davon liefert die Tabelle VI ein recht anschauliches Bild. Wir beobachteten einen Trockenrückstand bis zu 2475^{mg}, einen Glühverlust bis zu 1050^{mg}, eine Oxydirbarkeit bis zu 74.4^{mg}, einen Ammoniakgehalt bis

Tabelle VI. Brunnen-

Lfd. Nr.	Lage des Brunnens	Tiefe des Brunnens	Trocken- rückstand	Glühverlust	Oxydierbarkeit	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpetersäure	Chlor	Eisenoxydul
		m	mg i. L.	mg i. L.	mg i. L.	mg i. L.	mg i. L.	mg i. L.	mg i. L.	mg i. L.
21	Klinke 1	4	668.5	250.0	20.62	<u>13.0</u>	0	0	92.5	0.04
22	Ringstrasse 15	7	737.5	252.5	8.48	0.05	0	133.0	54.2	0.21
23	Friedrichsstrasse 16	4 1/2	810.0	130.0	29.6	12.5	0	0	75.7	<u>6.0</u>
24	Karlstrasse 16, Pumpe 8	—	846.5	39.0	<u>74.4</u>	0.3	2.7	7.2	79.0	—
25	Friedrichsstrasse 17	15	653.3	95.0	5.82	0.3	Spur	47.3	47.3	0.57
26	Dammstrasse 15	12	1032.5	546.5	18.1	11.0	0.6	37.4	100.0	0.18
27	Koldingstrasse 11	15	1030.0	490.0	61.3	0.1	2.2	168.8	85.9	—
28	Burgstrasse 4	10	1568.3	298.3	15.85	—	0.2	356.6	119.8	0.04
29	Lehmberg 10	8	1332.0	500.5	8.8	0.05	1.5	45.9	139.8	Spur
30	Koldingstrasse 4	12	1665.0	822.5	14.1	0.1	1.24	290.5	254.0	—
31	Ringstrasse 68	8	1665.0	690.0	5.5	4.0	<u>4.0</u>	474.4	184.2	0.02
32	Kleiner Kuhberg 36	7	—	—	18.2	Spur	1.5	578.4	287.3	—
33	Zum Kuhfelde 13	6	1823.3	333.0	16.15	Spur	0	327.5	150.9	—
34	Fleckenstrasse 30	5	1630.0	315.0	16.06	0	Spur	516.5	154.2	0
35	Holstenstrasse 13	5 1/2	1764.0	851.5	23.4	0.1	0.82	230.9	236.0	—
36	Hohestrasse 2	5	—	—	35.29	4.0	Spur	214.9	<u>809.6</u>	—
37	Walkerdamm 12	6	—	—	24.95	0.25	Spur	<u>887.8</u>	245.6	—
38	Fischerstrasse 33	9	2030.0	<u>1050.0</u>	21.0	Spur	0.32	488.3	196.0	—
39	Hussstrasse 24	9	2042.5	812.5	55.7	1.0	2.83	199.2	308.0	—
40	Knooperweg 2	7	<u>2475.0</u>	1005.0	32.4	0.1	2.0	434.8	229.0	—

wässer der Stadt Kiel B.

Härte nach Clark Ge- Bl.- sammt- bende Deutsche Härtegrade		Keimgehalt pro cem	Aussehen		Geruch	Geschmack	Bemerkungen. .
			Farbe	Durch- sichtigkeit			
21.3	4.4	11 000	grauweiss	trübe	moorig	faulig	Bei später wiederholter Untersuchung starker Geschmack nach Eisen u. starke durch Eisen- abscheidung bedingte Nachtrübung.
54.3	20.6	350	—	klar	erdig	erdig	
28.9	3.25	120 000	gelblich	trübe	faulig	nach Eisen	
28.7	5.6	880	gelb	„	schwach faulig	schwach faulig	
21.7	10.7	360 000	farblos	klar	desgl.	nach Eisen	
30.4	6.2	11 000	graugelb	fast klar	faulig	faulig	
26.7	14.8	250	gelb	klar	moorig	widerlich	
27.3	17.2	3000	gelblich	etwas trübe	schwach faulig	schwach faulig	
38.2	16.5	922	fast farblos	fast klar	moorig- faulig	faulig	Nicht nachgetrübt.
41.9	27.6	1500	desgl.	klar	unbe- stimmt	schwach moorig	desgl.
45.5	24.3	2060	desgl.	„	faulig	salzig	desgl.
40.0	28.6	4500	grünlich- gelb	„	moorig- faulig	moorig- faulig	desgl.
44.7	23.6	9000	gelblich	„	schwach faulig	schwach faulig	
40.0	27.5	3800	farblos	„	ohne bestimmten Geruch	desgl.	
35.9	8.8	240	gelb	„	unbe- stimmt	fade	desgl.
44.0	17.9	7000	gelblich- grün	„	brenzlich	faulig- salzig	
62.9	42.6	6400	grünl.-gelb	„	dungartig	desgl.	
40.6	23.4	357	gelb	„	faulig	faulig	Nicht nachgetrübt.
38.2	11.1	840	gelblich	stark trübe	schwach faulig	—	
75.5	52.3	148	gelbgrün	klar	modrig	faulig	

Tabelle VII. Brunnenwässer der Stadt Kiel C, welche im Herbst 1883,

Laufende Nr.	Lage des Brunnens	Trocken- rückstand mg i. L.	Glüh- verlust mg i. L.	Oxydir- barkeit mg i. L.			Ammoniak- gehalt mg i. L.			Salpetrige Säure mg i. L.		
				1883	1889	1892	83	89	92	83	89	92
41	Blocksberg 9	1103	307	10.0	4.8	34.3	0	Spur	Spur	schwach	1.1	0.6
42	Blocksberg 8	1640	473	49.8	22.7	32.9	0.2	Spur	Spur	stark!	2.7	Spur
43	Brunswieker- strasse 25	995	213	5.2	8.8	18.8	0	0.3	1.1	0	1.6	Spur
44	Muhliusstr. 13a	1047	110	4.8	8.4	9.6	nicht be- stimm- bare Spur	0	0	ganz schwach	1.7	0
45	Muhliusstr. 27	1420	130	11.5	11.1	15.1	0	0	0	schwach	1.4	Spur
46	Muhliusstr. 50	740	173	3.2	5.8	3.6	0	0	0	0	Spur	0
47	Muhliusstr. 70	1260	187	5.8	3.7	24.3	0	0	4.2	ganz schwach	1.9	2.4
48	Muhliusstr. 65	893	197	18.2	4.1	11.9	nicht be- stimm- bare Spur	0	0	stark	0.9	Spur
49	Bergstrasse 17 S. oben Nr. 13	457	92	—	0!	12.8	0	0.1	0.18	0	0	0

zu 16.0^{mg}, ferner das Vorhandensein von salpetriger Säure bis zu 4.0, von Salpetersäure bis zu 887.8, von Chlor bis 809.6 und von Eisenoxydul bis zu 6.0^{mg} im Liter. Die Gesamthärte steigt bis zu 75.5, die bleibende bis zu 52.3 deutschen Härtegraden.

Was nun noch die Zusammensetzung der Brunnenwässer Kiel's in zeitlicher Beziehung betrifft, so erscheint dieselbe zunächst von der Brunnenanlage abhängig. Die reines Grundwasser liefernden artesischen Brunnen Nr. 4, 5, 8, 10, 11, 12 und 14 liessen bei der Untersuchung im hygienischen Institut in den Jahren 1889/92 etwa dieselbe Zusammensetzung erkennen wie bei der im Jahre 1883 durch das agriculturchemische Laboratorium ausgeführten. Da damals bei diesen Brunnen die organischen Substanzen überhaupt nicht, Ammoniak nur qualitativ, Härte und Chlorgehalt aber nur annäherungsweise ermittelt waren, so lassen sich zwar genauere Vergleiche nicht anstellen, immerhin gestatten aber die vorliegenden Angaben den Schluss, dass bei all diesen artesischen Brunnen im Laufe der Jahre wesentliche Veränderungen in ihrer Zusammensetzung nicht stattgefunden haben. Letzteres gilt aber nicht von allen Kesselbrunnen, welche bei der Untersuchung in den Jahren 1889/92 ein

im Herbst 1889 und im Frühjahr 1892 untersucht worden sind.

Salpetersäure mg i. L.			Chlor mg i. L.			Gesamt- Härte. Deutsche Härtegrade			Bleibende Härte. Deutsche Härtegrade			Keim- gehalt pro cem		Bemerkungen
83	89	92	83	89	92	83	89	92	83	89	92	89	92	
55	188	169	70	158	157.4	18.5	31.3	31.8	8.7	20.2	20.9	73	1600	1892 Spur Eisen.
544	428	184	227	202	170	61.6	51.1	40.2	29.1	33.5	22.4	19900	600	1892 Spur Eisen.
100	126	158.4	96	101.2	92.6	19.6	21.8	26.5	7.8	9.1	11.7	640	10000	
258	198.2	192	91	112	91.7	27.4	29.3	30.6	14.3	19.7	17.5	651	600	
170	328	127	80	292	258	21.3	36.4	36.7	9.0	25.7	24.3	1450	274	
113	94	91.3	80	78	60.8	24.1	21.0	26.6	10.6	9.4	11.8	144	105	1892 Spur Eisen.
138	173	112	74	102	131	25.2	31.0	38.4	9.8	13.2	20.9	510	11500	1892 Spur Eisen.
14	46	77.6	108	83	81.0	32.5	34.9	31.9	14.3	17.3	19.1	622	600	
Spur	0	0	ca. 40	60.4	48.7	ca. 22	18.1	16.0	—	7.5	6.3	2580	7400	1892 1.3 ^{ms} Eisenoxydul.

reines oder doch nur wenig verunreinigtes Grundwasser lieferten. Denn die Brunnen Nr. 6 und 9 hatten im Herbst 1883 einen Salpetersäuregehalt von ca. 70 bzw. 60^{ms}, Nr. 9 einen Chlorgehalt von ca. 60^{ms} im Liter, und eine Härte von 35 Graden.

Da bei diesen Brunnen vermöge ihrer Lage, Bauart sowie baulichen Beschaffenheit das gelegentliche Hineingelangen verunreinigender Stoffe nicht ausgeschlossen ist, so haben diese Veränderungen in der Zusammensetzung nichts Auffallendes. Wenn aber der ebenfalls hierhergehörige Brunnen Nr. 13 bei der im Laufe von acht Jahren drei Mal ausgeführten Untersuchung (vergl. Tabelle VII, Nr. 49) derartige Schwankungen in seiner Zusammensetzung nicht hat erkennen lassen, so erklärt sich das in einfacher Weise dadurch, dass bei diesem, auf dem Hofe der Füsilierkaserne gelegenen, und in guter baulicher Verfassung befindlichen, ausserdem auch verhältnissmässig tiefen Brunnen, wie mir aus eigener Anschauung bekannt ist, jede Verunreinigung des Brunnens und seiner Umgebung auf das Sorgfältigste vermieden worden ist.

Die Tabelle VII enthält ausser dem soeben erwähnten Brunnen Nr. 13 noch acht Brunnen, welche, abgesehen von der im agriculturchemischen

Laboratorium im Herbst 1883 ausgeführten Untersuchung, zwei Mal im hygienischen Institut und zwar im October bezw. November 1889 sowie Ende März 1892 untersucht worden sind. Es handelt sich bei allen um Brunnen in den höher gelegenen Stadttheilen, welche bei ihrer geringen Tiefe nicht gut von dem eigentlichen Grundwasser gespeist werden können und dementsprechend auch in ihrer Zusammensetzung von derjenigen des Grundwassers abweichen. Sämmtliche Brunnen liessen bei der localen Besichtigung die oben angeführten, bei Kesselbrunnen so häufig anzutreffenden hygienischen Mängel in mehr oder minder hohem Maasse erkennen. Hier war demnach die Möglichkeit einer Verunreinigung des Brunnens, einer directen sowohl als auch einer indirecten gegeben, und finden sich daher auch im Laufe der Zeit zum Theil recht erhebliche Veränderungen. Während bei den Brunnen Nr. 41, 43, 45 und 47 die Verunreinigung im Allgemeinen seit 1883 zugenommen hat, lässt Nr. 42 eine allmähliche Abnahme derselben erkennen, dagegen erweisen sich Nr. 44, 46 und 48 im Ganzen wenig verändert.

Vom Herbst 1889 bis Frühjahr 1892 war bei den Brunnen 41, 44, 46 und 48 keine wesentliche Veränderung in der Zusammensetzung wahrzunehmen, die Brunnen 42 und 45 erfuhren dagegen in dieser Zeit eine deutliche Abnahme, die Brunnen 43 und 47 aber eine Zunahme der die Verunreinigung anzeigenden Stoffe. Ganz entsprechend verhielt sich übrigens mit Ausnahme des Brunnens 41 der Keimgehalt, welcher bei den Brunnen 44, 46 und 48 fast unverändert blieb, bei den Brunnen 42 und 45 aber wesentlich abfiel und bei den Brunnen 43 und 47 recht erheblich anstieg.

Was den Keimgehalt der Brunnen im Uebrigen betrifft so wurden im Cubiccentimeter

bei 51 Brunnen bis zu	500,
„ 34 „ zwischen	500 und 1000,
„ 64 „ „	1000 und 10,000,
„ 22 „ „	10,000 und 20,000,
„ 8 „ mehr als	30,000 entwickelungsfähige Keime

gezählt.

Sehr niedrig war der Keimgehalt im Allgemeinen bei den artesischen Brunnen. Von elf bakteriologisch untersuchten artesischen Brunnen enthielten nur zwei mehr als 100, nämlich 2000 bezw. 350 Keime im Cubiccentimeter, die übrigen dagegen nur 1, 14, 7, 82, 90, 33, 10 bezw. 94 Keime.

Auch bei den Brunnen wurden krankheitserregende Bakterien bei der Untersuchung nicht aufgefunden.

IV. Das Verhalten des Kieler Grundwassers nach der Entnahme aus dem Boden.

Das Kieler Grundwasser erfährt, soweit es die oben als typisch bezeichnete Zusammensetzung besitzt, nachdem es dem Boden entnommen ist, allerlei Veränderungen, unter denen die bereits erwähnte Eisenausscheidung ein besonderes Interesse beansprucht, insofern das Wasser in Folge derselben Eigenschaften annimmt, welche seiner Verwendung für Trink- und Nutzwasserzwecke entgegenstehen. Verdient die Eisenausscheidung schon aus diesem Grunde eine eingehende Berücksichtigung, so hat sie in diesem Capitel aber auch noch aus einem anderen Grunde eine ausführliche Behandlung erfahren. Zweifellos dürfen wir bei unseren Bestrebungen, aus dem Grundwasser das störende Eisen zu entfernen, um so mehr auf Erfolg rechnen, je genauer uns der Vorgang, durch welchen das zu Tage getretene Grundwasser unter natürlichen Verhältnissen von seinem Eisen befreit wird, bekannt ist.

Schon früher ist erwähnt, dass das den Brunnen frisch entnommene Wasser in der Regel klar und farblos gefunden wurde. Füllt man damit Gefässe und lässt man dieselben offen stehen, so stellt sich schon nach kurzer Zeit eine anfangs milchweisse Trübung ein, die allmählich zunimmt und in eine hellbräunliche und flockige übergeht. Die ausgeschiedenen Flocken senken sich allmählich zu Boden, es kommt zu einem anfangs lockeren später dichteren rostbraunen Bodensatz, während sich das überstehende Wasser nach und nach wieder völlig klärt und einmal klar geworden nunmehr auch dauernd klar bleibt. Der Bodensatz besteht aus Eisenoxydhydrat. Er erwies sich bei der mikroskopischen Untersuchung des Schulenseegrundwassers regelmässig untermischt mit zahlreichen gelbbraunlichen, von Eisenrost inkrustirten Fadenstücken der *Crenothrix polyspora*, während sich seltener daneben Vegetationen von *Cladothrix* vorfanden.

Die im Wasser der Schulenseebrunnen regelmässig vorhandene *Crenothrix* erfährt bei derartigen Stehproben eine starke Vermehrung. Besonders die anfangs entstehende lockere wolkenartige Ausscheidung schliesst ausserordentlich zahlreiche *Crenothrix*fäden ein. Hervorzuheben dürfte noch sein, dass in dem nach beendigter Eisenausscheidung wieder geklärten Wasser, wenn man dasselbe vorsichtig abhebt und in ein anderes Gefäss bringt, eine *Crenothrix*wucherung nicht mehr zu beobachten ist. Auch wenn man aus einem Wasser, in welchem sich die *Crenothrix* gerade in üppigster Wucherung befindet, grössere Mengen überträgt, tritt eine Trübung bezw. Wolkenbildung nicht mehr ein und ist eine Vermehrung der *Crenothrix* nicht mehr erkennbar, gleichgültig ob die Gefässe geöffnet

oder geschlossen, bei Zimmerwärme oder bei niederer Temperatur (5 bis 10° C.) am Lichte oder im Dunkeln stehend aufbewahrt werden. Ein derartiges durch die natürliche Eisenausscheidung von seinem Eisen befreites Wasser scheint hiernach für die Entwicklung der *Crenothrix* nicht mehr geeignet zu sein.

Wie bei den Stehproben, so kommt es auch innerhalb der städtischen Leitung zu einer Trübung und allmählichen Abscheidung von Eisenoxydhydrat, wodurch das Leitungswasser in seinem Aussehen ausserordentlich beeinträchtigt wird. Denn abgesehen von der gewöhnlich vorhandenen, mehr oder minder starken Trübung wird gelegentlich der in der Leitung abgelagerte, locker haftende Eisenschlamm losgelöst und kann derselbe dem Wasser in solcher Menge beigemengt werden, dass eine in ihrem Aussehen etwa einer dicken Lehmbrühe vergleichbare braune Flüssigkeit resultirt. Das Wasser ist deshalb nicht nur mehr oder weniger unappetitlich, es verbietet sich auch seine Verwendung für gewisse gewerbliche Zwecke, es kommt gelegentlich zu Verstopfungen, namentlich der Hausleitungen und damit zu Betriebsstörungen, es kommt schliesslich zu einer allmählichen Verschlammung der ganzen Leitungsanlage. Alle die angedeuteten Störungen haben sich bei der Kieler Wasserleitung übrigens erst gezeigt, nachdem das, wie gezeigt, stärker eisenhaltige Schulenseegrundwasser der Leitung zugeführt worden war. Wenn bisher die durch das Eisen bedingten Störungen noch nicht hochgradig geworden sind, so ist dies den seit Jahren zur Milderung dieser Uebelstände eingeführten Durchspülungen der Leitung zu verdanken. Mit Hilfe von besonderen in die Leitung eingebauten Spülschleusen wird jeder einzelne Abschnitt der Leitung einmal im Monat gründlich durchgespült und dadurch der abgelagerte Eisenschlamm jedesmal thunlichst entfernt. Diese Spülungen erfolgen in der Nacht. Dass derartige Spülungen sowie auch das durch Aenderung der Strömungsgeschwindigkeit bzw. der Strömungsrichtung innerhalb der Leitung bewirkte Aufrühren des Eisenschlammes, welcher nachgewiesenermassen entwicklungsfähige Bakterien in reichlicher Menge enthält, zu einer vorübergehenden Steigerung des Keimgehaltes des Leitungswassers führen können, ist ohne Weiteres ersichtlich.

Die regelmässigen chemischen Untersuchungen ergaben bei dem den Zapfstellen entnommenen Wasser entsprechend der bereits erfolgten theilweisen Eisenausscheidung in der Regel einen geringeren Gehalt an gelöstem Eisen, als in dem Wasser der Brunnen, auch fehlte der an dem Brunnenwasser regelmässig vorhandene Schwefelwasserstoffgeruch bei den Leitungsproben gewöhnlich oder war derselbe doch bedeutend schwächer als bei dem Brunnenwasser. Im Uebrigen zeigte das Wasser aus der Leitung eine Zusammensetzung, welche derjenigen der Schulenseebrunnen

bezw. der Gaardener Brunnen, bezw. einer Mischung aus beiden entsprach.

Näheres über die freiwillige Eisenausscheidung und besonders über die zeitlichen Verhältnisse wurde durch die auf Tabelle VIII zusammengestellten Absitzversuche ermittelt. Das in 5 Liter haltigen Flaschen thunlichst aus der Tiefe des Landbrunnens geschöpfte Wasser wurde jedesmal in den bis an den Rand gefüllten und mit Glasstöpseln verschlossenen Flaschen in's Laboratorium gebracht, woselbst alsbald eine Anzahl gleichgrosser, weiter, offener Gefässe damit gefüllt wurden. Nach Ablauf bestimmter Zeitabschnitte wurden die Proben auf ihr Aussehen geprüft und jedesmal eine Stehprobe zur Bestimmung des Eisens, der Kohlensäure, bezw. des Bakteriengehaltes benützt, endlich ein Theil filtrirt und auf sofortige oder nachträgliche Trübung beobachtet. Beim zweiten Versuch fanden die Eisenbestimmungen in der jedesmal erst filtrirten Stehprobe statt.

Aus diesen Versuchen ist ersichtlich, dass die freiwillige Eisenausscheidung beim Schulenseegrundwasser verhältnissmässig rasch vor sich geht. Die Hauptmasse des Eisens wird schon innerhalb der ersten drei Stunden nach dem Schöpfen ausgefällt, die Trübung setzt sehr früh ein, nimmt aber schon nach zwei Tagen wieder ab und ist nach spätestens sieben Tagen vollständig wieder verschwunden.

Die Eisenausfällung erfolgte weit rascher als in dem von Proskauer¹ mitgetheilten Falle, bei welchem das Mischwasser des Potsdamer Wasserwerks mit einem anfänglichen Eisengehalt von 3.1^{mg} FeO i. L. nach 48stündigem Stehen erst auf etwa die Hälfte (1.6^{mg}) vermindert war, bei welchem die Trübung später begann, sich erst am fünften Tage etwas verminderte, und die freiwillige Eisenausscheidung sogar nach 14 tägigem Stehen noch nicht vollständig beendet war.

Auch bei einem von Piefke² untersuchten Berliner Tiefbrunnenwasser erfolgte die Eisenausscheidung weit langsamer als bei dem Schulenseegrundwasser, dort sank innerhalb 24 Stunden der Eisengehalt von 3.24 auf 0.59, hier in derselben Zeit von 2.22 auf 0.081 FeO i. L.

Die Tabelle VIII zeigt, dass auch die Kohlensäure bei derartigen Stehproben eine fortwährende Abnahme erfuhr.

Der Bakteriengehalt liess, wie schon früher erwähnt, bei den Absitzversuchen zweimal im Laufe des ersten Tages eine Abnahme erkennen, woran sich dann weiterhin eine erhebliche Steigerung schloss.

¹ *Diese Zeitschrift*. Bd. IX. S. 152.

² *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*. 1891. S. 63.

Tabelle VIII.

Absitz-Versuch Nr. I.					Nr. II.					Nr. III.		Nr. IV.			
Zeitpunkt der Untersuchung n. der Ankunft im Laboratorium	Verhalten der Stehprobe		Verhalten des Filtrats		Eisenoxydul	Verhalten der Stehprobe		Verhalten des Filtrats		Eisen- oxydul	Freie Kohlensäure	Bakterienzahl	Bakterienzahl	Bakterienzahl	
	Trübung	Bodensatz			mg l. L.	Trübung	Bodensatz			mg l. L.	mg l. L. pro cem	pro cem	pro cem	pro cem	
sogleich	schwach (opales- cend)	0	—	2.22	298.1	schwach (opales- cend)	0	—	—	1.49	1.08	38.0	126	3710	1770
2 Std.	do. (milchig)	0	trübe	0.61	290.8	—	—	—	—	—	—	—	2180	—	—
3 "	—	—	—	—	—	stark (etwas bräunlich)	0	—	—	0.3	36.0	—	—	—	—
6 "	stärker (kleine Flocken)	beginnend	do.	0.83	282.1	zahlreiche bräunliche Flocken	soeben erkennbar	—	—	0.1	36.0	744	—	—	3240
24 "	stark (grosse Flocken)	etwas mehr	grün wenig trübe	0.081	276.6	sehr stark (grössere Flocken)	etwas mehr	bleibt klar	—	0.001	35.0	583	52000	16300	—
31 "	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27.4	4695	—	—
2 Tage	etwas geringer (gr. Flock.)	voluminös	fast klar	0.079	260.0	do.	voluminös	do.	—	Spur	24.6	56000	—	—	—
3 "	weit geringer (kein Flock. mehr)	dicht	etwas nach- getrübt in Folge Aus- scheidens von kohlens- saur. Kalk	0.014	258.0	etwas geringer	dicht	do.	—	—	—	5090	2530.0	564000	—
4 "	—	—	—	—	—	sehr gering	do.	do.	—	—	—	16.0	—	—	—
5 "	fast klar	do.	bleibt klar	0.0068	250.0	fast klar	do.	—	—	—	—	13.4	—	286000	529000
6 "	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	259000	—
7 "	vollst. klar	do.	do.	—	—	vollst. klar	do.	—	—	—	—	—	—	163000	371000

Da sich die Stehproben regelmässig in der Nähe eines nach Norden gerichteten Fensters befanden, ist es nicht ausgeschlossen, dass die anfängliche Abnahme wenigstens zum Theil auf die bakterienfeindliche Wirkung des zerstreuten Tageslichtes zu beziehen ist. Zu erwähnen ist übrigens, dass während anfänglich wie gewöhnlich 4—5 verschiedene Arten in den Stehproben vorhanden waren, am zweiten bezw. dritten Tage nach der eingetretenen Vermehrung der Keime wesentlich nur noch eine Art gefunden wurde.

Da Proskauer¹ in mehreren eisenhaltigen Wässern aus Tief- und Flachbrunnen nach der Abscheidung des Eisens in der Regel eine Verminderung der Oxydirbarkeit und des Ammoniakgehaltes beobachtet hatte, wurde auch bei dem Kieler Grundwasser das Verhalten der organischen Substanzen sowie des Ammoniaks in Stehproben (in nicht ganz gefüllten, verschlossen gehaltenen Flaschen) beobachtet.

Beim Wasser des Seebrunnens wurde hier in zwei Versuchen einmal eine starke Abnahme der Oxydirbarkeit von 21.6^{mg} Kaliumpermanganatverbrauch pro Liter (immer nach Abzug des für das Eisenoxydul erforderlichen Kaliumpermanganats) auf 13.6^{mg}, das andere Mal aber nur ein minimaler Abfall von 13.4 auf 12.9^{mg} gefunden. Bei der letzteren Stehprobe hatte sich auch der Ammoniakgehalt von 1.25^{mg} i. L. auf 1.0 vermindert. Beim Wasser des Versuchsbrunnens an der Poppenbrügger Aue dagegen wurde trotz etwa gleichhohen Gehaltes an organischen Bestandtheilen bei zwei Versuchen jedesmal eine Abnahme derselben in der Stehprobe vermisst, und blieb auch der allerdings geringe Ammoniakgehalt (0.3 bezw. 0.25^{mg} pro Liter) nach beendigter Eisenausscheidung beide Male unverändert.

		Oxydirbarkeit mg i. L.		Ammoniak mg. i. L.	
		vor	nach	vor	nach
		Abscheidung des Eisens		Abscheidung des Eisens	
Tiefbrunnen Nr.	I	8.22	7.65 ²	0.50	0.33
„	II	10.63	9.98 ²	1.25	0.7
„	III	4.8	9.64 ²	1.85	1.6.

Auch bei den Tiefbrunnenwässern aus Oldenburg (vgl. Tabelle II) war nach der Abscheidung des Eisens die Oxydirbarkeit nur wenig herab-

¹ Diese Zeitschrift. Bd. IX. S. 156.

² Das nach der Eisenausscheidung gelöst gebliebene Eisen war hier nicht bestimmt, es konnte daher auch ein Abzug für dasselbe vom Kaliumpermanganatverbrauch nicht gemacht werden. Da man annehmen darf, dass der Eisengehalt nach Beendigung der freiwilligen Eisenausscheidung nur noch geringfügig war, so würden durch die Reduction die Werthe für die Oxydirbarkeit wahrscheinlich nur wenig verändert werden.

gesetzt (einmal sogar anscheinend gesteigert) wohl aber hatte sich der Ammoniakgehalt regelmässig vermindert, wie dies die vorstehende Zusammenstellung erkennen lässt.

Bevor wir uns nunmehr zu der Frage wenden, wodurch bei den Stehproben bzw. bei dem dem Boden entnommenen Wasser die Eisenausscheidung veranlasst wird, dürfte es sich empfehlen, erst noch einige Angaben über das Verhalten des Sauerstoffes sowie der Kohlensäure im hiesigen Grundwasser zu machen, da beide, wie bald gezeigt werden soll, mit der freiwilligen Eisenausscheidung in Beziehung gebracht worden sind.

Der Sauerstoff wurde nach der Methode von Schützenberger und Risler¹ und zwar beim Landbrunnen sowohl in der Tiefe als auch an der Oberfläche des Brunnens und ausserdem noch wiederholt in der Leitung am Schulensee bestimmt. In den unter thunlichster Vermeidung von Luftzutritt mit Hülfe der oben beschriebenen, besonders erwähnten und ausserdem mit Wasserstoffgas gefüllten Flaschen aus der Tiefe des Brunnens entnommenen Proben fanden sich nur 0.27^{ccm} Sauerstoff, in den aus den oberen Wasserschichten des Brunnens entnommenen Proben 0.89^{ccm} und in der Leitung zwischen 1.76 und 2.2^{ccm} Sauerstoff im Liter Wasser.

Kohlensäurebestimmungen wurden beim Landbrunnen an Proben aus der Tiefe und von der Oberfläche, ferner aus dem Seebrunnen, an Proben der Leitung sowohl am Schulensee als auch innerhalb der Stadt und, wie bereits erwähnt, auch bei den Stehproben, Tabelle VIII, ausgeführt.

Fast regelmässig wurde die Gesamtkohlensäure, meist aber ausserdem auch noch die freie und halb gebundene, die Monocarbonatkohlensäure und die freie Kohlensäure bestimmt.

Die Bestimmung der Gesamtkohlensäure erfolgte nach der von Liebig-Poggendorf angegebenen, von Fresenius verbesserten Methode. Die durch Zusatz von Calciumhydrat gefällte Kohlensäure wurde aus dem Niederschlag durch Salzsäure ausgetrieben und von Natronkalkröhrchen aufgenommen. Einige Male wurde die Bestimmung derselben auch nach Trillich² ausgeführt, nachdem in derselben Probe vorher in der ebenfalls von Trillich² angegebenen Weise die freie und halbgebundene Kohlensäure bestimmt war.

¹ Tiemann und Gärtner, *Die chemische und mikroskopisch-bakteriologische Untersuchung des Wassers*. Braunschweig 1889, S. 288.

² Trillich, die Münchener Hochquellenleitung. *Hygienische Tagesfragen VIII*. München 1890. S. 98.

Die Vorschrift von Trillich lautet:

100^{cem} Wasser werden mit 5^{cem} einer Baryumchloridlösung 1 : 10 und 45^{cem} Barytwasser versetzt und wohl verschlossen zwölf Stunden stehen gelassen. Von der klaren Flüssigkeit werden 100^{cem} entnommen und in 50^{cem} das noch enthaltene Barythydrat durch Titiren mit Salzsäure, wovon 1^{cem} = 1^{mg} Kohlensäure, bestimmt. Der Säureverbrauch wird mit 3 multiplicirt und von dem Säureverbrauch für 45^{cem} ursprüngliches Barytwasser abgezogen. Von der erhaltenen Zahl ist in Abzug zu bringen der Säureverbrauch für das gefällte Magnesiumhydrat, den man erhält durch Multiplication des Magnesiumoxyds in 100^{cem} mit 1.1. Die Differenz giebt die freie + halbgebundene Kohlensäure.

Man titirt dann den Niederschlag mit den 50^{cem} Flüssigkeit mit derselben Salzsäure unter Benutzung von Cochenille als Indikator, zieht von dem Gesamtverbrauch an Säure den für 50^{cem} Flüssigkeit ab und verändert die erhaltene Zahl um die mit 1.1 multiplicirte Menge Magnesiumoxyd in 100^{cem} Wasser. Die Differenz giebt die Gesamtkohlensäure.

Wie die Tabelle IX zeigt, war die Gesamtkohlensäure in der Tiefe des Landbrunnens wesentlich höher als an der Oberfläche der Brunnen. Hier sowie in der Leitung am Schulensee verhält sich die Gesamtkohlensäure ziemlich constant. Nach der Methode von Trillich wurden, wie man aus der Tabelle ersieht, etwa dieselben Werthe gefunden, wie nach der Methode von Fresenius; Parallelversuche mit beiden Methoden fanden nicht statt.

Bei der Bestimmung der freien + halbgebundenen Kohlensäure nach Trillich wurden sowohl unter sich als auch mit den übrigen Kohlensäurebestimmungen gut übereinstimmende Resultate gefunden, sobald jedes Mal die Magnesia in der Probe bestimmt worden war. (= Probe Nr. II, III und VI.) Der bei der Probe I gefundene, viel zu hohe Werth hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass hier nicht die Magnesia in derselben Probe bestimmt wurde. Die Verwendung des bei einer früheren Untersuchung gefundenen Magnesiagehaltes bei der Berechnung erscheint hiernach nicht zulässig. Es erklärt sich das wohl aus den bei den Schulenseebrunnen beobachteten verhältnissmässig nicht unbedeutlichen Schwankungen des Magnesiagehaltes. Giebt die Methode von Trillich demnach auch genaue Resultate, so erscheint dieselbe für das hiesige Wasser doch wegen der jedes Mal auszuführenden Magnesiabestimmung etwas umständlich.

Bei der Bestimmung der Monocarbonate wurden stets viel zu niedrige Werthe gefunden, wenn, wie dies bei der Probe II, III und IV geschah, das Wasser mit Salzsäure übersättigt, die Kohlensäure dann durch Kochen vertrieben und nun mit Natronlauge unter Benutzung von Phenolphthaläin als Indicator zurücktitirt wurde. Dagegen stimmte bei

der Probe VI der für die Monocarbonate gefundene Werth mit dem berechneten gut überein; hier war nach dem Vorschlag von Trillich¹ mit Salzsäure, wovon 1^{cem} = 1^{mg} Kohlensäure, in der Kälte auf Sauer titirt, nur war die von Trillich für gewöhnlich empfohlene Cochenilletinctur durch Methylorange ersetzt, weil sich erstere, worauf auch schon Trillich aufmerksam macht, nicht für eisenhaltige Wässer eignet.

Tabelle IX.
Uebersicht über die Ergebnisse der Kohlensäurebestimmungen.

Nummer der Probe.	Entnahmestelle.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
		Gesamtkohlensäure nach Fresenius	Freie + halbgebundene Kohlensäure nach Trillich	Monocarbonatkohlensäure		Freie Kohlensäure	nach Trillich
		mg i. L.	mg i. L.	berechnet aus 1 u. 2 mg i. L.	gefunden mg i. L.	berechnet aus 1 u. 3 mg i. L.	
I.	Leitung	300.0	181.0 ¹	119.0			
II.	am	301.1	171.2 ¹	129.9	191.1	41.3	37.0
III.	Schulensee	298.7	170.4 ¹	128.3	120.9	42.1	39.6
IV.		298.1	167.3	130.8	114.5	36.5	37.0
V.	Landbrunnen	<div> <div>nach Trillich</div> <div>298.8</div> </div>	—	—	—	—	—
VI.	Oberfläche						
		303.7	171.7 ¹	132.0	133.0	39.7	39.0
VII.	Landbrunnen Tiefe	324.0	—	<div> <div>berechn. aus 1 u. 6</div> <div>132.5</div> </div>			
VIII.	Seebrunnen Oberfläche	<div> <div>nach Trillich</div> <div>200.2</div> </div>	167.2 ²		130.0	34.2	36.0

¹ Magnesia in derselben Probe gewichtsanalytisch bestimmt.

² Der für den Landbrunnen am selben Tage ermittelte Magnesiagehalt in Anrechnung gebracht.

Dass die zuerst erwähnte Methode (mit Vertreibung der Kohlensäure durch Kochen) regelmässig viel zu niedrige Werthe liefert, ergeben auch Parallelversuche mit dem Leitungswasser in der Stadt.

¹ A. a. O. S. 70.

Im Mittel von je drei gut übereinstimmenden Bestimmungen wurden gefunden:

gefunden:	Monocarbonate
nach der ersten Methode	123.5 mg
nach der zweiten Methode unter Verwendung von Cochenille-	
tinctur	133.3 „
do. unter Verwendung von Methylorange	135.3 „

Aus der guten Uebereinstimmung der mit Methylorange gefundenen Monocarbonate mit den berechneten geht übrigens auch noch hervor, dass sich die Kieselsäure im Schulenseegrundwasser in freier Form findet, da sie nicht mittitrirt worden sein kann.

Die freie Kohlensäure wurde ebenfalls nach Trillich¹ bestimmt, und zu dem Zwecke 100 ^{cem} Wasser im Kölbchen mit einigen Tropfen Phenolphthaleinlösung versetzt und mit Natriumcarbonatlösung, wovon 1 ^{cem} = 1 ^{mg} Kohlensäure, bis zur bleibenden Röthung titirt. Die Methode liefert, wenn man sich erst auf dieselbe eingeübt hat, recht brauchbare Resultate wie dies der Vergleich der gefundenen freien Kohlensäure mit der berechneten in Tabelle IX erkennen lässt. Man ersieht aus der Tabelle auch, dass die höhere Gesamtkohlensäure in der Tiefe des Brunnens durch einen höheren Gehalt an freier Kohlensäure bedingt war. In einem Falle, bei welchem die besonders armirte Flasche in der Tiefe des Brunnens gefüllt war, wurden im Mittel von mehreren gut übereinstimmenden Versuchen sogar 87.6 ^{mg} freie Kohlensäure nachgewiesen, eine Bestimmung der Gesamtkohlensäure hatte in diesem Falle nicht stattgefunden.

Es dürfte nun jetzt angezeigt sein, zu der Frage überzugehen, wodurch die freiwillige Eisenausscheidung veranlasst wird.

Der Umstand, dass das Wasser, unmittelbar beim Schöpfen in der Regel noch vollkommen klar, erst beim Stehen an der Luft sich trübt, macht es von vornherein wahrscheinlich, dass der Luftzutritt von Einfluss auf die freiwillige Eisenausscheidung ist, wie dies ja auch allgemein angenommen wird. Entnimmt man die Probe dem Brunnen so, dass gar keine Berührung mit der Luft statt hat, dann bleibt auch die freiwillige Eisenausscheidung aus. Dieses lässt sich aber nicht etwa schon dadurch erreichen, dass man die Flaschen durch Hinablassen in den Brunnen mit Wasser bis zum Rand füllt und durch gut schliessende Glasstopfen so schnell als möglich verschliesst. Derartiges Wasser trübte bei mehreren Versuchen, auch wenn es noch so vorsichtig entnommen war, auch wenn durch rasches Hinablassen in die Tiefe des Brunnens vorwiegend Wasser

¹ A. a. O. S. 99.

aus der Tiefe des Brunnens geschöpft war, nach. Die Trübung ging in derartig gefüllten und geschlossen gehaltenen Flaschen aber etwas langsamer vor sich, auch erfolgte die Klärung erst später, ausserdem wurde beobachtet, dass der Bodensatz erst später so dicht wurde wie bei der Eisenausscheidung in offenen Gefässen. Erst als die Flaschen in der oben beschriebenen Weise besonders armirt und ausserdem mit Wasserstoffgas gefüllt in den Brunnen hinab gelassen und jedes Mal erst in der Tiefe des Brunnens geöffnet und gefüllt worden waren, gelang es regelmässig derartige sofort wieder gut verschlossene Proben Wochen lang hindurch im Laboratorium aufzubewahren, ohne dass sich die beschriebenen Zeichen einer Eisenausscheidung einstellten. In einem Fall blieb eine derartig geschöpfte fünf Liter haltige Flasche 23 Tage lang vollständig klar. Dagegen ging, als nunmehr die Flasche geöffnet und das Wasser in ein weites offenes Gefäss eingegossen wurde, die Eisenausscheidung in der gewöhnlichen Weise vor sich.

Was bei der Berührung mit der Luft die Eisenausscheidung veranlasst, darüber herrscht zur Zeit noch keine völlige Uebereinstimmung. Nach der einen Ansicht ist es der mit der Luft hinzutretende Sauerstoff, welcher die im Wasser gelöst vorhandenen Eisenoxydulverbindungen in die unlöslichen Oxydverbindungen verwandelt, nach der anderen Auffassung, welche u. A. Piefké in seiner Abhandlung¹ vertritt, wird in Folge der Berührung mit der Luft ein Entweichen der freien Kohlensäure des Wassers eingeleitet. Entweicht die Kohlensäure, welche das kohlensaure Eisenoxydul in Lösung erhält, dann entsteht nach Piefké ein feiner weisser Niederschlag von ausgeschiedenem Ferrocarnat. Erst später, nachdem das Wasser Atmosphärensauerstoff aufgenommen, verwandelt es sich in Ferrihydrat oder Ocker, der sich zu Flocken zusammenrollt und langsam zu Boden sinkt. Piefké führt zur Stütze für seine Auffassung einen Versuch an, bei welchem er den Gehalt der Stehproben eines Berliner Tiefbrunnenwassers an Eisenoxydul und Kohlensäure in bestimmten Zeiträumen ermittelt hatte, und bei welchem er gefunden haben wollte, dass die Fällung des Ferrocarnats gleichzeitig und in gleichem Schritte mit dem Entweichen der freien Kohlensäure, zuerst schnell, nachher jedoch um so langsamer erfolgte.

Die nachstehende Tabelle giebt an, wie viel Procente des anfänglichen Eisen- bzw. Kohlensäuregehaltes nach bestimmten Zeitabschnitten sowohl bei dem Versuch von Piefké als auch bei den hiesigen Versuchen gefunden wurden.

¹ Ueber die Nutzbarmachung eisenhaltigen Grundwassers für die Wasserversorgung von Städten. *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*. 1891. Heft 4 u. 5.

Tabelle X.

Es waren vorhanden:

Bei dem Berliner Tiefbrunnenwasser von Piefke			Bei dem Schulenseegrundwasser			
			I. Versuch		II. Versuch	
Von der Anfangs be- stimmten Menge	Eisen- oxydul	Freie Kohlen- säure	Eisen- oxydul in der Stehprobe	Gesammt- Kohlen- säure in der Stehprobe	Eisen- oxydul im Filtrat	Freie Kohlen- säure in der Stehprobe
Nach 2stündigem Stehen	—	—	27 Proc.	98 Proc.	—	—
„ 3 „ „	—	—	—	—	28 Proc.	95 Proc.
„ 6 „ „	28 Proc.	78 Proc.	15 „	95 „	9 „	95 „
„ 24 „ „	18 „	54 „	3·7 „	91 „	0·9 „	92 „
„ 30 „ „	14 „	50 „	—	—	—	72 „
„ 2tägigem „	—	—	3·5 „	87 „	—	65 „
„ 3 „ „	—	—	0·6 „	87 „	—	—
„ 5 „ „	—	—	0·3 „	84 „	—	35 „
„ 7 „ „	—	—	0·3 „	84 „	—	—

Es erhellt hieraus wohl, dass beim Piefke'schen Versuch die Eisenausscheidung ebenso wie die Kohlensäureabgabe in der ersten Zeit des Stehens schneller vor sich ging als weiterhin, dagegen ist nicht zu erkennen, dass die Eisenausscheidung mit der Kohlensäure gleichen Schritt hielt. Während auf die ersten sechs Stunden eine Verminderung des Eisengehalts von 72%, auf die weiteren 24 Stunden von 14% kam, nahm die freie Kohlensäure innerhalb der ersten sechs Stunden um 22%, innerhalb der weiteren 24 Stunden um 28% ab. Noch weniger ist aber eine solche Uebereinstimmung zwischen der Abnahme des Eisens und der Kohlensäure aus den Zahlen für die hiesigen Versuche herauszulesen. Die Hauptmasse des Eisens ist hier schon in den ersten zwei bis drei Stunden ausgeschieden, während die Kohlensäureabgabe weit langsamer erfolgt. Schon nach den oben mitgetheilten Beobachtungen, wonach beim Füllen der Flaschen die Berührung des einströmenden Wassers mit der Flaschenluft ausreichend war, um die Eisenausscheidung zu Stande kommen zu lassen, ist es wahrscheinlich, dass das Entweichen der Kohlensäure für die freiwillige Eisenausscheidung von wesentlicher Bedeutung nicht ist, denn hier kann bei der nur kurz dauernden Berührung mit der Luft eine nennenswerthe Kohlensäureabgabe nicht angenommen werden. Dagegen spricht diese Beobachtung vielmehr dafür,

dass eine Aufnahme von Sauerstoff bei der Berührung mit der Flaschenluft stattgehabt, und dass diese Sauerstoffaufnahme die Eisenausscheidung veranlasst hat.

Nach den Ergebnissen der früher mitgetheilten Sauerstoffbestimmungen darf man annehmen, dass das Wasser in der Tiefe der Schulenseebrunnen völlig oder doch nahezu frei von Sauerstoff ist. Das sauerstofffreie oder wenigstens an Sauerstoff ausserordentlich arme Wasser wird aber, so dürfen wir annehmen, schon bei einer nur kurz dauernden Berührung mit der Flaschenluft so viel Sauerstoff aufnehmen können, als zur Oxydation seiner Eisenoxydulverbindungen nöthig ist. Man nimmt gewöhnlich an, dass das Eisen in der Form von Oxydulverbindungen im Grundwasser vorhanden ist, und zwar soll es hauptsächlich als kohlen-saures, dann aber auch noch als phosphorsaurer Eisenoxydul vorhanden sein. Dass sich das Eisen auch im Schulenseegrundwasser als Oxydulverbindung vorfindet, wurde in einem Versuche direct nachgewiesen. Es wurden von einer unter den mehrfach erwähnten Vorsichtsmaassregeln (d. h. ohne Luftzutritt aus der Tiefe) geschöpften Probe des Landbrunnens zwei Liter im Kohlensäurestrom eingedampft. Dabei war zunächst zu beobachten, dass das Wasser viel länger klar blieb als sonst beim gewöhnlichen Kochen. In der schliesslich auf etwa 50^{ccm} eingedampften Probe nun war nach dem Ansäuern auf Zusatz von gelbem Blutlaugensalz gar keine, auf Rhodankaliumzusatz aber nur eine äusserst schwache Reaction wahrzunehmen, während auf Zusatz von rothem Blutlaugensalz sofort eine starke Reaction eintrat. Da bei der Analyse des Landbrunnens auch Phosphorsäure gefunden wurde (vergl. S. 265) und auch grössere Mengen Phosphorsäure im Bodensatz der Stehproben bezw. im Eisenschlamm aus der Leitung nachgewiesen waren, wird man auch hier annehmen dürfen, dass das Eisen nicht nur als kohlen-saure, sondern auch als phosphorsaure Oxydulverbindung im Wasser gelöst vorhanden ist. Das gleichzeitige Vorhandensein von Humussubstanzen und die bereits erwähnte, mehrfach beobachtete Abhängigkeit des Eisengehalts der Wässer von ihrem Gehalt an gelösten organischen Stoffen legen die Vermuthung nahe, dass das Eisen auch in der Form humussaurer Oxydulverbindungen gelöst sein kann, indess haben die Versuche weitere Anhaltspunkte für diese Vermuthung nicht ergeben.

Dass bei dem Kieler Grundwasser das Entweichen der Kohlensäure nicht den Anstoss für die Eisenausscheidung bildet, dürfte bereits aus dem Mitgetheilten zur Genüge hervorgehen. Die weiter mitzutheilenden Versuche lassen aber einen Zweifel darüber gar nicht mehr zu, dass der Sauerstoffzutritt und nicht die Kohlensäureabnahme die Eisenausscheidung bedingt.

Wäre die Abnahme der Kohlensäure das Ausschlaggebende, dann

sollte man erwarten, dass das Hindurchleiten von Kohlensäure, also eine Kohlensäurezufuhr, die beginnende Ausscheidung rückgängig machen oder doch wenigstens unterbrechen würde, etwas Derartiges war aber bei mehreren darauf gerichteten Versuchen nicht zu merken. Besonders beweisend aber dürften die sogleich zu schildernden Versuche sein: Vier Fünfliterflaschen wurden unter Vermeidung von Luftzutritt in der Tiefe des Landbrunnens gefüllt. Sie kamen sämtlich vollkommen klar in's Laboratorium. Hier wurde die erste Flasche zur Entnahme der Proben für die Eisen- und Kohlensäurebestimmung geöffnet. Das Wasser enthielt 43 ^{mg} freie Kohlensäure und in der sofort filtrirten Probe 1.55 ^{mg} Eisenoxydul im Liter. In der offen gebliebenen Flasche erfolgte die Trübung und Eisenausscheidung in der gewöhnlichen Weise.

Die zweite Flasche blieb verschlossen, ihr Inhalt vollständig klar bis zum 23. Tage. Als jetzt die Flasche geöffnet und der Inhalt in ein weites offenes Gefäß eingegossen war, zeigte sich alsbald die Trübung und Eisenausscheidung in derselben Weise, wie sonst an den offenen Stehproben. Uebrigens ergab die Bestimmung der Kohlensäure bei dieser Flasche unmittelbar nach dem Oeffnen 41 ^{mg} freie Kohlensäure.

Durch die dritte Flasche war etwa eine Stunde lang Wasserstoff und durch die vierte ungefähr ebenso lang Kohlensäure hindurch geleitet worden, worauf sie weiterhin gut verschlossen stehen blieben. An der dritten Flasche war am fünften Tage ein weisser Niederschlag wahrzunehmen. Derselbe bestand offenbar aus kohlensaurem Kalk, denn bei den Versuchen mit den Stehproben war gewöhnlich um diese Zeit eine auf Ausscheidung von kohlensaurem Kalk beruhende Trübung sowie die Bildung eines zarten Häutchens an der Oberfläche der Stehprobe wahrzunehmen, welches, wie die Untersuchung ergab, aus kohlensaurem Kalk bestand. Dass es sich nicht um Eisenausscheidung handelte, zeigte das weitere Verhalten deutlich.

Der Inhalt der Flasche blieb weiterhin noch 18 Tage klar und erst, als jetzt die Flasche geöffnet und der Inhalt in ein offenes Gefäß übergefüllt war, ging die Eisenausscheidung ganz in der gewöhnlichen Weise vor sich. Beim Oeffnen war übrigens in dem Wasser freie Kohlensäure nicht nachzuweisen.

Die vierte Flasche blieb bis zum 23. Tage vollständig klar, bei der Oeffnung an diesem Tage enthielt das Wasser etwa 1500 ^{mg} Kohlensäure im Liter, es war demnach mit Kohlensäure noch nahezu gesättigt. Aber trotzdem ging nach dem Einfüllen in ein weites offenes Gefäß wieder die Eisenausfällung in der gewöhnlichen Weise vor sich. Wie im Anschluss an den letzten Versuch noch erwähnt werden mag, giebt auch Proskauer in der wiederholt citirten Abhandlung an, dass bei einem

Versuch mit Tiefbrunnenwasser selbst die Gegenwart grösserer Mengen freier Kohlensäure die Eisenausscheidung nicht verhinderte. Es geht daraus hervor, dass auch bei dem Grundwasser an anderen Orten die Eisenausscheidung nicht durch das Entweichen der Kohlensäure veranlasst wird. Nun könnte bei den früher mitgetheilten Absitzversuchen der Einwand erhoben werden, dass der Hauptantheil der Kohlensäure aus dem Wasser bereits im Brunnen abgegeben worden sei, und dass deshalb bei den hiesigen Versuchen die die Eisenausscheidung bedingende Kohlensäureabnahme gar nicht zur Beobachtung gekommen sei. Das ist aber nicht anzunehmen, denn es wurden, wie erwähnt, in dem noch ungetrübten Wasser der ersten Flasche sofort nach der Ankunft im Laboratorium 43.0, in dem ebenfalls noch ungetrübten Wasser der zweiten Flasche 41.0^{mg} freie Kohlensäure nachgewiesen, und der Gehalt an freier Kohlensäure betrug an den in gewöhnlicher Weise geschöpften Proben aus dem Land- und Seebrunnen, wenn sie noch vor Eintritt der Trübung untersucht wurden, zwischen 37.6 und 39.6^{mg} im Liter. Dass aber der kleine Unterschied von 41—43^{mg} und 37.6—39.6^{mg} freier Kohlensäure die Eisenausscheidung einleiten sollte, ist von vornherein nicht wahrscheinlich. Diesen Versuchen ist übrigens noch ein nachträglich ausgeführter anzureihen, wobei die mit aller Sorgfalt ohne Luftzutritt aus der Tiefe des Landbrunnens geschöpfte Probe mit der Saugpumpe in Verbindung gebracht wurde. Es trat hier zwei Tage lang, so lange auf die Probe ein luftverdünnter Raum einwirkte, keine Trübung ein, während eine Vergleichsprobe rasch trübte. Eine Betriebsstörung in der Leitung, bedingt durch die oben erwähnte regelmässige Durchspülung, führte zu einer vorzeitigen Unterbrechung des Versuchs.

Die Beobachtung von Piefke,¹ dass eisenhaltiges Wasser schon, wenn es durch eine Pumpe mit grosser Saughöhe geschöpft wird, wenige Augenblicke nach dem Verlassen der Pumpe opalisirt, erklärt sich hienach nicht durch den Effect des Vacuums, wie Piefke meint, denn die blossе Einwirkung des luftverdünnten Raumes blieb ja bei unserem Versuch ohne den geringsten Einfluss auf die Eisenausscheidung.

Der Vollständigkeit halber mag auch noch erwähnt sein, dass Versuche, bei welchen in ganz gleicher Weise entnommene Proben theils im Eisschrank, theils im Brütapparat, theils im Dunkeln aufbewahrt, theils dem diffusen Tageslicht ausgesetzt wurden, deutliche, oder auch nur regelmässig wiederkehrende Unterschiede in der Art der Eisenausscheidung nicht ergaben. Die Eisenausscheidung erfährt dagegen beim Kochen des Wassers eine Beschleunigung. Als von einem Wasser, welches frisch fil-

¹ A. a. O. S. 63.

trirt 1.46^{mg} Eisenoxydul im Liter enthielt, eine grössere Probe 30 Minuten lang gekocht und nach vorherigem Filtriren nochmals auf Eisen untersucht wurde, enthielt sie weniger als 0.01^{mg} Eisenoxydul.

Auch die praktischen Versuche über die künstliche Entfernung des Eisens aus dem hiesigen Grundwasser, zu denen nunmehr übergegangen werden soll, sprechen übrigens dafür, dass das Entweichen der Kohlensäure für die Eisenaussfällung von geringerer Bedeutung ist, als der Zutritt des Sauerstoffes der Luft zum Wasser.

V. Praktische Versuche zur Entfernung des Eisens aus dem Kieler Grundwasser.

Als sich im Jahre 1889 bald nach Inbetriebnahme des Schulensee-wasserwerks die beschriebenen, durch Eisenausscheidung und Crenothrixwucherung erzeugten Trübungen und Ablagerungen zeigten, die zu den lebhaftesten Klagen der Consumenten Veranlassung gaben, war ein einfaches, für die Praxis geeignetes Verfahren zur Beseitigung des Eisens aus dem Grundwasser noch nicht bekannt geworden, es hatten sich vielmehr manche mit Grundwasser versorgte Städte, in denen dieselben Uebelstände aufgetreten waren, genöthigt gesehen, die Wasserversorgung mit Grundwasser überhaupt aufzugeben, wie z. B. Berlin, oder sie waren durch dieselben zur Anlage neuer Brunnen gezwungen worden, wie z. B. Leipzig und Halle.¹ Ein solches einfaches, praktisch brauchbares Enteisungsverfahren wurde erst vom Oberingenieur Oesten in Berlin angegeben und erst im Herbst 1890 durch die mehrfach erwähnte Abhandlung von Proskauer¹ veröffentlicht. Der Liebenswürdigkeit des Herrn Geheimrath R. Koch in Berlin habe ich es indess zu verdanken, dass ich schon im April 1890 mit diesem Verfahren bekannt wurde, und ich bin auch seinem Assistenten Herrn Dr. Proskauer dafür zu Dank verpflichtet, dass er mir damals über die Einzelheiten des Verfahrens sowie über seine bei der Prüfung desselben gemachten Beobachtungen eingehende Mittheilungen machte. Dadurch war ich in den Stand gesetzt, der hiesigen städtischen Wassercommission das Oesten'sche Verfahren schon im Frühjahr 1890 zur Prüfung auf seine praktische Brauchbarkeit in Vorschlag bringen zu können. Der Vorschlag wurde bereitwilligst angenommen und alsbald mit praktischen Versuchen nach einem vom Ingenieur Pippig, Director der Kieler Wasserwerke und mir gemeinschaftlich festgestellten Plane auf

¹ *Diese Zeitschrift.* Bd. IX. S. 149.

dem Schulenseewasserwerk begonnen. Ingenieur Pippig übernahm die technische Seite, die Untersuchung des Wassers zur exacten Feststellung der Leistungsfähigkeit des Verfahrens fiel dem hygienischen Institut zu. Schon im September konnte ich gelegentlich der Verhandlungen des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege über Filteranlagen für städtische Wasserleitungen auf der Jahresversammlung in Braunschweig¹ mittheilen, unter welchen Bedingungen uns mit Hülfe des Oesten'schen Verfahrens die Entfernung des Eisens aus dem Kieler Grundwasser gelungen war.

Die Versuche wurden darauf vom Ingenieur Pippig weiter fortgesetzt und im Jahre 1891 u. A. auch auf das inzwischen von Piefke² empfohlene Verfahren ausgedehnt. Wie früher wurden hierbei dem hygienischen Institut regelmässig bestimmte Proben zur Untersuchung übergeben, Herr Pippig hatte ausserdem die Freundlichkeit, mich über den Gang der Untersuchung fortlaufend zu unterrichten und mir durch Zustellung der Versuchsprotokolle einen genauen Einblick in die Versuche zu gestatten.

Ueber die Ergebnisse dieser praktischen Versuche ist zwar schon in der Festschrift zur XXXII. Jahresversammlung des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern, Kiel 1892, S. 76—107, berichtet worden, da aber diese Festschrift nur Wenigen zugänglich sein dürfte, andererseits aber anzunehmen ist, dass die Versuche auch für weitere Kreise von einigem Interesse sind, so gebe ich im Nachstehenden einen kurzen Ueberblick über dieselben, wobei ich die technischen Verhältnisse, soweit mir solche nicht persönlich bekannt geworden sind, den in der genannten Festschrift enthaltenen Mittheilungen sowie den Versuchsprotokollen und Berichten der Direction der Wasserwerke entnehme.

Wenn ich ausserdem in der angenehmen Lage bin, im Anschluss daran noch über einige, erst neuerdings ausgeführte hierhergehörige Versuche berichten zu können, so verdanke ich dies ebenfalls der Liebenswürdigkeit des Herrn Director Pippig, welcher mir die betreffenden Versuchsprotokolle zur Veröffentlichung überlassen hat.

Die ersten auf dem Schulenseewasserwerk angestellten Versuche hatten zunächst den Zweck, in Erfahrung zu bringen, ob sich das von Oesten angegebene und von Proskauer empfohlene Verfahren zur Befreiung des Grundwassers von Eisen auch für das Schulenseegrundwasser eignet. Das Oesten'sche Verfahren besteht aus einer Lüftung des Wassers mit nachfolgender Filtration. Die Lüftung wird

¹ *Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentl. Gesundheitspflege.* Bd. XXIII. S. 82.

² *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung.* 1891. Hft. 4 u. 5.

dadurch erreicht, dass man das Wasser aus einer Brause in Gestalt eines feinen Regens 1—2^m hoch in der Luft frei herabfallen lässt, worauf sich die Filtration durch eine 15^{cm} hohe Lage Kies von 1.5—2.5^{mm} Korngrösse mit einer Geschwindigkeit von 1000^{mm} in der Stunde anschliesst.

Mit Hülfe dieses einfachen Verfahrens war es Proskauer gelungen, bei einem Berliner Tiefbrunnenwasser den Eisengehalt von 2—3^{mg} auf 0.2—0.3^{mg} im Liter herabzusetzen und damit die dem Wasser in Folge seines hohen Eisengehaltes anhaftenden Mängel zu beseitigen, insofern in dem so behandelten Wasser auch bei längerem Stehen keine Nachtrübung und Eisenausscheidung mehr auftrat. Als Versuchsfilter wurde von uns anfangs ein eiserner Bottich, 1,36^m hoch, mit quadratischem (0.90×0.90^m grossen) Querschnitt verwandt, auf dessen Boden der Reihe nach 18^{cm} grobe Steine, 10^{cm} grober und 50^{cm} feiner frisch gewaschener Kies von 2—3^{mm} Korngrösse gebracht waren. Am Boden befand sich ein 100^{mm} Ablass mit Standrohr und Schieber.

Ueber dem Filter hing in verstellbarer Höhe eine Brause, bestehend aus einem Blechkasten, dessen Boden mit zahlreichen 5^{mm} langen und nur 0.5^{mm} breiten Schlitzsen versehen war, und zu welchem das Rohwasser vom Druckrohr der Pumpe aus zugeführt wurde. In diese Zuleitung war ein Wassermesser mit Regulirventil eingeschaltet.

Um einer Zerstörung der Kiesoberfläche und der Schlammschicht daselbst durch das aus der Brause auf das Filter auffallende Wasser möglichst vorzubeugen, wurde der niedrigste Wasserstand in dem Filter auf 20^{cm} über der Kiesoberfläche gehalten, was sich dadurch erreichen liess, dass der Abfluss des Filters aus einem mit dem Standrohr verbundenen Bleirohr in dieser Höhe erfolgte. Mit der Steigerung des Widerstandes im Filter hob sich natürlich der Wasserspiegel über dem Filter entsprechend. Zwei Schwimmer, von denen sich der eine auf dem Filter, der andere im Standrohr befand, liessen den Filterdruck erkennen.

Bei einer zweiten, etwas grösseren Versuchsanlage, welche ebenfalls mehrfach bei den ersten Versuchen benutzt wurde, erfolgte die Lüftung in ganz ähnlicher Weise. Das Wasser fiel hier aber erst in ein gemauertes Klärbassin von 10^{cbm} Inhalt, bevor es in ein gemauertes Filterbassin von 5^{qm} Oberfläche geleitet wurde, dessen Filterfüllung aus 40^{cm} Steinschlag, 30^{cm} grobem Kies und 60^{cm} feinem Kies von 2—3^{mm} Korngrösse bestand. Das Filterbassin steht am Boden mit einer Reinwasserkammer in Verbindung, aus welcher der Abfluss durch einen Schieber erfolgt. Auch hier waren Vorrichtungen zum Messen der auf das Filter gelangenden Wassermenge, sowie des Filterdruckes vorhanden.

Abgesehen von der Wassermenge und dem Filterdruck wurden regelmässige Aufzeichnungen über die Temperatur, den Geruch und Geschmack, Farbe und Durchsichtigkeit des rohen und des gereinigten Wassers gemacht und das weitere Verhalten des Wassers an Stehproben beobachtet.

Bei dem ersten Versuch mit dem kleinen Filter war eine möglichst grosse Filtergeschwindigkeit gewählt. Indessen zeigte sich in Folge der starken Eisenschlammablagerung auf und in dem Filter schon nach wenigen Stunden eine Abnahme der anfänglichen Geschwindigkeit. Von 19 cbm pro Quadratmeter in der Stunde war sie nach 24 Stunden bereits auf 15 cbm , nach weiteren 36 Stunden aber bereits auf 0.5 cbm in der Stunde herabgegangen und nach 4 Tagen hatte sich das Filter todtgearbeitet. Das Filtrat, zwar erheblich besser als das Rohwasser, war noch etwas trübe, die Trübung nahm beim Stehen noch zu, auch zeigte sich weiterhin etwas Bodensatz. Am zweiten Betriebstage wurden bei 15 cbm stündlicher Filtrirgeschwindigkeit 1.56 mg Eisenoxydul im Rohwasser, im Filtrat aber nur 0.21 mg FeO i. L. beobachtet.

Beim zweiten Versuch wurde (nach Erneuerung der Filterfüllung des kleinen) mit beiden Filtern und zwar mit einer stündlichen Filtrirgeschwindigkeit von 1000 mm pro Quadratmeter gearbeitet. Erst nach Ablauf von etwa 24 Stunden lieferten beide Filter andauernd ein klares Filtrat, doch arbeitete sich der kleine Apparat nach 7, der grosse nach 8 Tagen schon todt. Am fünften und achten Betriebstage war der Eisengehalt von 1.9 bzw. 1.3 mg FeO i. L. des Rohwassers auf 0.1 bzw. 0.09 im Filtrat des kleinen Apparates heruntergegangen. Beide Filter zeigten nicht nur an der Oberfläche, sondern mehr als 5 cm tief in die Kiesschicht hinein eine Ablagerung von Eisenschlamm.

Nach Abtragung der obersten 5 cm der Kiesschicht wurde der Versuch mit dem kleinen Filter mit der früheren Geschwindigkeit (1000 mm in der Stunde) fortgesetzt. Die Betriebsdauer betrug diesmal nur 5 Tage. Wieder war das Filtrat am ersten Tage noch nicht ganz klar, weiterhin aber liess es in Betreff seiner Klarheit nichts zu wünschen übrig; am fünften Betriebstage wurden diesmal bei 1.1 mg FeO im Rohwasser nur 0.08 mg im Filtrat gefunden. Nach abermaliger Abtragung einer 5 cm hohen Schicht betrug die Betriebsdauer bei Fortsetzung der Filtration mit derselben Geschwindigkeit wieder nur 5 Tage, es dauerte indess diesmal fast 2 Tage, ehe ein ganz klares und nicht mehr nachtrübendes Filtrat erlangt wurde. Das am dritten Tage dieser Filterperiode untersuchte Filtrat hatte nur 0.06 mg FeO i. L. im Vergleich zu 2.01 FeO im Rohwasser.

Nachdem somit erwiesen war, dass sich mit Hülfe des Oosten'schen Verfahrens das Eisen aus dem Schulenseegrund-

wasser in genügender Weise entfernen lässt, sollte der dritte Versuch über die geringste noch zulässige Höhe der filtrierenden Kiesschicht bei einer Filtrirgeschwindigkeit von nur 700 ^{mm} in der Stunde Auskunft geben.

Bei dem mit einer frischen, 25 ^{cm} hohen Kiesschicht von 2—3 ^{mm} Korngrösse beschickten grossen Filter wurde nach Ablauf von 2 Tagen noch kein klares Filtrat erlangt. Auch, als nach Entfernung dieser Kiesschicht eine neue von 35 ^{cm} Höhe aufgebracht war, gelang es nach Ablauf von 48 Stunden noch nicht, ein klares Filtrat zu erhalten. Dagegen wurde von dem mit einer 40 ^{cm} hohen frisch eingebrachten Kiesschicht versehenen kleinen Filter schon nach wenigen Stunden ein klares Filtrat geliefert. Die am zweiten und sechsten Betriebstage entnommenen Proben zeigten allerdings bei der weiteren Beobachtung noch eine geringe Nachtrübung, während die am neunten Betriebstage entnommene Probe des Filtrats dauernd klar blieb. Bei der Untersuchung der Proben vom zweiten, sechsten und neunten Betriebstage wurden im Rohwasser 0.91 bezw. 1.18 bezw. 2.22, im Filtrat dagegen 0.17 bezw. 0.24 bezw. 0.10 ^{mg} FeO gefunden.

Als sich aber nach 11tägigem Betrieb das Filter todtgearbeitet hatte, und nunmehr die obersten 5 ^{cm} der Kiesschicht abgetragen waren, wurde ein genügend klares Filtrat während der fünftägigen Filterperiode nicht mehr erlangt. Die wenige Stunden nach Beginn der Filterperiode entnommene Probe des Filtrats enthielt noch 0.20 ^{mg} FeO bei 1.26 ^{mg} FeO im Rohwasser.

Hiernach würde man bei Verwendung eines Kiesel von 2—3 ^{mm} Korngrösse und bei einer Filtrirgeschwindigkeit von 700 ^{mm} mit der Höhe der filtrierenden Kiesschicht auf keinen Fall unter 40 ^{cm} herabgehen dürfen.

Der vierte Versuch sollte zeigen, ob es sich bei einer Filtrirgeschwindigkeit von 700 ^{mm} empfiehlt, die Kiesschicht möglichst hoch zu nehmen, um eventuell nach jedesmaligem Todtarbeiten des Filters die oberste Schicht des Kiesel abtragen und so mit einer und derselben Füllung eine grössere Anzahl von Filterperioden erzielen zu können.

Nachdem die Filterfüllung bei dem kleinen Filter erneuert und die obere Kiesschicht auf eine Dicke von 70 ^{cm} gebracht war, dauerte es nur etwa 8 Stunden, bis das Filter klar wurde, allerdings trübt das im Laufe der ersten 2 Tage erlangte klare Filtrat bei mehrtägigem Stehen noch etwas nach, weiterhin blieb jedoch die Nachtrübung aus. Nach 10 Tagen hatte sich das Filter todtgearbeitet. Von dem am ersten, achten und elften Betriebstage entnommenen Proben enthielt das Rohwasser 1.3 bezw. 0.65 bezw. 1.49 ^{mg}, das Filtrat aber 0.15 bezw. 0.07 bezw. 0.06 ^{mg} FeO i. L.

Nach Abtragung der stark verschmutzten oberen 5^{cm} der Kiesschicht blieb das Filter nur 5½ Tag betriebsfähig. Schon 4 Stunden nach Beginn dieser Filterperiode war das Wasser klar, allerdings kam es selbst bei dem am zweiten Tage entnommenen klaren Filtrat bei längerem Stehen noch zu einem ganz schwachen Bodensatz. Vom dritten Tage ab blieb dieser Bodensatz aber aus. 4 Stunden nach Beginn dieser Periode waren im Filtrat nur 0.08^{mg} FeO, kurz vor Schluss derselben aber nur 0.06^{mg} FeO vorhanden bei 1.85 bzw. 0.92^{mg} FeO im Rohwasser.

Nach abermaliger Entfernung der obersten 5^{cm} der Kiesschicht betrug die Filterperiode wieder nur 5½ Tage, schon nach 6 Stunden war zwar das Filtrat klar, trübte aber an den ersten beiden Tagen noch bei mehrtägigem Stehen ein wenig nach. Eine Probe 7 Stunden nach Beginn der Filterperiode enthielt noch 0.134^{mg} FeO und die kurz vor Beendigung des Versuchs entnommene Probe des Filtrats 0.08^{mg} FeO, das Rohwasser zur selben Zeit 1.44 bzw. 2.03^{mg} FeO.

Der Versuch zeigte mithin, dass man bei einer höheren Kiesschicht schon früher ein brauchbares Filtrat erlangt, als bei einer niederen; er zeigte ferner, dass es bei einer genügend hohen Schicht nicht nöthig ist, jedesmal, nachdem sich das Filter todtgearbeitet hat, die Filterfüllung zu erneuern, es genügt vielmehr alsdann die Abtragung der oberflächlichen, stark verschlammten Schicht, indess ist ein derartiges Vorgehen mit dem Nachtheil verknüpft, dass die späteren Filterperioden bedeutend kürzer sind (etwa nur halb so lang) als die anfänglichen, was auf die auch direct beobachtete, weit in die Tiefe vordringende, starke Verschmutzung des Filters zurückzuführen war. Dieser hofften wir durch Einschabung einer Klärkammer sowie durch weitere Herabsetzung der Geschwindigkeit entgegenwirken zu können.

Zu diesem Zwecke wurde zunächst ein neues Versuchsfilter beschafft. Dasselbe bestand aus einem hölzernen Kasten von 1.35^m Höhe und 0.9^m lichter Breite. Der Länge nach war er durch hölzerne Scheidewände in drei Abtheilungen getheilt, nämlich in: 1) die Einfallkammer von 0.4^m, 2) die Klärkammer von 1.0^m und 3) die Filterkammer von ebenfalls 1.0^m Länge im Lichten. In letztere waren 10^{cm} Steine, 15^{cm} grober Kies und 40^{cm} Kies von 2—3^{mm} Korngrösse gebracht. Ueber dem Einfallkasten wurde, wie früher, die Lüftungsbrause verstellbar aufgehängt. Aus dem Einfallkasten gelangte das Wasser durch eine dicht über dem Boden in der Scheidewand befindliche Oeffnung in die Klärkammer und aus dieser vermittelt seines Ueberfalls am oberen Rande der Scheidewand auf das Filter. Letzteres war ähnlich wie das frühere kleinere Filter mit Schieberablass und Standrohr versehen, der Abfluss des Filtrates erfolgte

indess gewöhnlich vermitteltst eines vom Boden des Filters abgehenden Schlauches dessen Mündung in der gewünschten Höhe befestigt werden konnte, wodurch es möglich war, den Abfluss in beliebiger Höhe constant zu erhalten.

Die Grössenverhältnisse waren derartige, dass bei einer Filtergeschwindigkeit von 300^{mm} pro Quadratmeter in der Stunde, wie sie bei dem fünften Versuch angewendet wurde, das Wasser in den Abtheilungen 1 und 2 im Ganzen 5¹/₂ Stunden verweilen musste, ehe es auf das Filter gelangte.

Schon nach drei Stunden war beim fünften Versuch das Filtrat kaum mehr getrübt, vom zweiten Tag ab blieb dasselbe auch bei mehrtägigem Stehen klar und es dauerte diesmal 23 Tage, bis das Filter betriebsunfähig wurde. Vorübergehend kamen einige Male kleine Betriebsstörungen vor, so war einmal über Nacht der Wasserstand über dem Filter zu tief gesunken und in Folge dessen die Filteroberfläche etwas beschädigt. Dies hatte zur Folge, dass das Filtrat einige Stunden nicht ganz so klar war wie sonst. Auf solche Betriebsstörungen dürfte es wohl zurückzuführen sein, dass bei den auf der Höhe des Betriebes, sowie kurz vor Beendigung des Versuchs entnommenen Proben des Filtrates noch eine Nachtrübung beobachtet und dementsprechend ein etwas höherer Eisengehalt gefunden wurde.

Es waren vorhanden	Milligramm FeO i. L.:
im Rohwasser	5.23, 2.44 bzw. 2.87
im gelüfteten, aus der Einfallskammer geschöpften	— 2.16 „ 2.21
im abgesetzten, am Ueberlauf aus der Klärkammer	
geschöpften	— 2.07 „ 1.35
im filtrirten Wasser	0.12, 0.26 „ 0.19

Es hatte mithin beim Passiren der Klärkammer eine Abnahme des Eisengehaltes stattgefunden, worauf auch schon die starke Eisenschlammablagerung am Boden der Klärkammer hinwies.

Ein sechster Versuch, bei welchem derselbe Apparat benutzt wurde nur mit dem Unterschied, dass an Stelle der bisherigen 40^{cm} hohen feinen Kiesschicht eine nur 6^{cm} hohe, ausserdem aber eine 40^{cm} hohe Schicht von gewöhnlichem scharfen Filtersand Verwendung fand, sollte zeigen, ob bei der Verwendung von Sand vielleicht sogleich nach Beginn des Betriebes ein tadelloses Filtrat zu erzielen war, und ob vielleicht ähnlich wie bei der gewöhnlichen Sandfiltration nach jedesmaliger Beendigung einer Filterperiode die Abtragung einer ganz dünnen Sandschicht genügt, um das Filter weiter benutzen zu können. Denn bei der bisherigen

Filtration mit Kies hatte es sich als ein Uebelstand herausgestellt, dass das Filtrat gewöhnlich erst 24—48 Stunden nach Beginn des Betriebes vollkommen tadellos war, und war man, wenn man nicht mit den für die Praxis störenden kurzen Filterperioden arbeiten wollte, gezwungen, jedesmal die 40^{cm} hohe Kiesschicht auszuwechseln, was wegen der grossen Arbeit die Betriebskosten dieses Reinigungsverfahrens ganz ungemein gesteigert haben würde.

Der Versuch VI, bei welchem wieder mit einer Geschwindigkeit von nur 300^{cm} filtrirt wurde, lieferte von Anfang an ein klares nicht mehr nachtrübendes Filtrat und, als sich nach zwölf-tägigem Betrieb das Filter tod gearbeitet hatte, genügte die Abtragung einer 1^{cm} starken Sandschicht, um sofort wieder abermals 11½ Tage hindurch filtriren zu können, auch war das Filtrat wieder von Anfang an klar. Wie zu vermuthen, und wie das durch die Besichtigung des Filters auch bestätigt wurde, war der Eisenschlamm wesentlich an der Oberfläche zurückgehalten worden und nicht so tief in das Filter vorgedrungen wie bei dem Kiesfilter.

Bei einer Wiederholung des Versuchs mit einer noch stärker herabgesetzten Geschwindigkeit, nämlich 105^{cm} pro Quadratmeter und Stunde, blieb das Filter 28 Tage betriebsfähig und lieferte dasselbe wiederum von Anfang an klares Wasser.

Die vorstehenden Versuche lassen mithin erkennen, dass allein durch Lüftung und Filtration eine Befreiung des Schulenseegrundwassers vom Eisen zu erreichen ist. In Betreff der Lüftung ist noch hinzuzufügen, dass der senkrechte Abstand des Bodens der Brause vom Wasserspiegel auf dem Filter meist 1.5^m betrug, dass aber auch bei einer Fallhöhe von nur 1.3^m die Lüftung nach mehreren Versuchen denselben Erfolg zu haben schien, als bei einer grösseren Fallhöhe. Eine möglichst gleichmässige Vertheilung in möglichst feine Strahlen wurde übrigens dadurch erzielt, dass in der, wie erwähnt, mit sehr schmalen Schlitzten am Boden versehenen Lüftungsbrause mehrere senkrechte Scheidewände von 30^{cm} Höhe angebracht waren; dadurch wurde erreicht, dass das zufließende Rohwasser, welches eine Anzahl dieser Abtheilungen anfüllte, zum grössten Theile unter einem constanten Druck von etwa 30^{cm} Wasserhöhe austrat.

Dass bei einem Wasser mit einem Gehalt an freier Kohlensäure von 37—41^{mg}, wie ihn das zur Reinigung gelangende Schulenseegrundwasser in der Regel aufwies, durch die so kurz dauernde Lüftung eine irgendwie beträchtliche Kohlensäureabgabe zu Stande kommen sollte, war namentlich mit Rücksicht auf die so sehr langsame Abgabe der Kohlensäure bei den Stehproben (Tabelle VIII) nicht sehr wahrscheinlich. Dementsprechend

giebt auch Piefke¹ an, dass das frisch geförderte Brunnenwasser, mit welchem er experimentirte, wenn er es 2^m hoch in Gestalt eines Regens auf einen Sammeltrichter auffallen liess, nur sehr unerhebliche Verluste an freier Kohlensäure erlitt.

Dagegen wird man nicht irren, wenn man annimmt, dass diese Art der Lüftung bei dem, wie gezeigt, nahezu sauerstofffreien oder doch an Sauerstoff sehr armen Wasser eine erhebliche Sauerstoffzufuhr und damit die Oxydation des Eisenoxyduls und die Eisenausscheidung ermöglicht.

Wie aus der Tabelle XI hervorgeht, ist es mit Hülfe dieser beschriebenen einfachen Lüftung und Filtration möglich, die Mängel, welche dem Schulenseegrundwasser in Folge seines Eisengehaltes anhaften, zu beseitigen. Die Tabelle enthält die Untersuchungsergebnisse für alle bei den praktischen Versuchen im Sommer 1890 zur Untersuchung gelangten Proben. Sie lässt zunächst erkennen, ob das Filtrat trübe oder klar war, oder ob im Laufe der nächsten zwei Tage an der anfangs klaren Stehprobe eine Nachtrübung zu beobachten war.

Vergleicht man die Angaben über das Verhalten der Stehprobe des Filtrats mit den Angaben über den Eisengehalt desselben, so zeigt es sich, dass eine Nachtrübung gewöhnlich nicht mehr zu beobachten war, sobald das Wasser 0.1^{ms} oder weniger Eisenoxydul im Liter enthielt, nur einmal ist noch bei 0.08^{ms} FeO im Liter eine geringe Nachtrübung verzeichnet. Bei den früher mitgetheilten Versuchen über die freiwillige Eisenausscheidung (s. Tabelle VIII. Seite 296) war in Uebereinstimmung hiermit, bei einem Eisengehalt von 0.081 bzw. 0.079^{ms} noch eine Nachtrübung beobachtet worden. Proskauer fand, dass bei dem Berliner Tiefbrunnenwasser, an welchem er das Oesten'sche Verfahren anwendete, eine Verminderung des Eisengehaltes auf 0.21 bis 0.27^{ms} genügte, damit eine nachträgliche Eisenausscheidung nicht mehr zu Stande kam. Bei sieben von ihm untersuchten Flachbrunnen schwankte der Eisengehalt, nachdem die freiwillige Eisenausscheidung vollständig beendet war, zwischen 0.25 bis 0.75^{ms} im Liter. Man sieht also, dass die verschiedenen Wässer verschieden grosse Eisenmengen beim Stehen an der Luft dauernd in Lösung zu halten vermögen. Worauf dieses verschiedene Verhalten der eisenhaltigen Grundwässer zurückzuführen ist, darüber ist bisher nichts bekannt geworden. Ob die Menge Eisen, welche das Wasser beim Stehen an der Luft dauernd gelöst enthält, bei einem und demselben Wasser mit der Zeit schwankt, wie dies wohl den Anschein hat, lässt sich auf Grund unserer Versuchsergebnisse nicht entscheiden.

¹ A. a. O. S. 63.

Tabelle XI.

Versuch	Höhe der filtrierenden Kiesschicht m	Filtrirgeschwindigkeit mm in der Stunde	Probenentnahme am —ten Tage nach Beginn	d. Filterperiode	Verhalten der Stehprobe des Filtrats	Eisenoxydul im Rohwasser mg i. L.	im Filtrat mg i. L.	Permanganatverbrauch mg i. L. ¹	Filtrat	Ammoniak mg i. L.	Filtrat	Keimgelalt pro cem	Rohwasser	Filtrat
1	50	15000	1	1	trübe	1.56	0.21	10.38	9.12	—	—	—	—	—
2	50	1000	2	2	„	—	—	11.0	10.84	—	—	—	—	—
	50	1000	5	5	klar	1.9	0.10	10.20	10.61	—	—	—	—	—
	50	1000	8	8	„	1.3	0.09	11.98	10.61	—	—	—	—	—
	45	1000	13	5	„	1.1	0.08	10.66	9.63	—	—	—	—	—
	40	1000	17	3	„	2.01	0.06	14.18	12.22	—	—	—	—	—
3	40	700	2	2	nachgetrübt	0.91	0.17	15.51	9.63	—	—	—	—	—
	40	700	6	6	„	1.18	0.21	15.60	9.70	—	—	—	—	—
	40	700	9	9	klar	2.22	0.10	9.19	9.88	—	—	—	1860	600
	35	700	12	1	trübe	1.26	0.20	8.68	8.64	—	—	—	454	382
4	70	700	1	1	„	1.30	0.15	10.68	11.02	—	—	—	—	—
	70	700	8	8	klar	0.65	0.07	9.98	9.18	—	—	—	8500	330
	70	700	11	11	„	1.49	0.06	9.70	9.33	—	—	—	2410	348
	65	700	13	1	etwas nachgetrübt	1.85	0.08	10.28	10.17	—	—	—	4000	800
	65	700	18	6	klar	0.92	0.06	9.79	11.29	1.2	0	—	490	1320
	60	700	19	1	trübe	1.44	0.134	9.55	9.76	1.1	0	—	2862	1279
	60	700	25	7	klar	2.03	0.08	5.81	9.54	1.2	0	—	400	150
5	40	300	9	9	etwas nachgetrübt	5.23	0.12	13.50	3.95	1.2	0	—	630	1270
	40	300	22	22	„	2.87	0.19	10.70	10.40	1.3	0.4	—	2040	1000

¹ Nach Abzug des für das Eisenoxydul erforderlichen Kaliumpermanganats.

Ist das Wasser soweit vom Eisen befreit, dass eine Nachtrübung in der Stehprobe innerhalb einiger Tage nicht mehr erfolgt, so ist damit der für die Praxis wünschenswerthe Grad der Reinheit erreicht. Das Wasser kann alsdann weder durch Eisenrostabsetzung in der Leitung noch durch Trübung Störungen hervorrufen. Aber schon bevor soviel Eisen ausgeschieden ist, dass eine Nachtrübung ausbleibt, verschwindet bei dem Schulenseewasser der für eisenhaltiges Wasser charakteristische tintenartige Geschmack. Bei keiner der filtrirten Proben nämlich, welche in die Tabelle XI. aufgenommen sind, war ein derartiger Geschmack mehr nachzuweisen, während er an dem Rohwasser stets zu bemerken war, und doch war, wie ein Blick auf die Tabelle zeigt, die Eisenausscheidung bei etwa der Hälfte der Proben nach nicht vollständig beendet. Auch der Geruch nach Schwefelwasserstoff, der an dem Rohwasser nur selten vermisst wurde, verschwand bei der beschriebenen Behandlung des Wassers stets vollständig.

Nicht ganz so günstig wurde dagegen durch die Behandlung des Wassers der moorige Geruch und Geschmack beeinflusst. Zwar unterliegt es nach der sowohl seitens des Personals des Wasserwerks als auch seitens des hygienischen Instituts regelmässig angestellten Geschmacks- und Geruchsprobe gar keinem Zweifel, dass durch die Behandlung der moorige Geruch und Geschmack des Wassers ganz wesentlich gemildert wurde, dieselben verschwanden zuweilen, namentlich dann, wenn sie sich an dem Schulenseegrundwasser nicht sehr stark bemerkbar machten, vollständig, aber meist blieb doch etwas von diesem moorigen Geruch und Geschmack zurück. Wenn dieselben nun auch stets nur noch gering waren, so bedeuten sie doch für das Wasser einen gewissen Mangel, und ist es zu bedauern, dass eine vollständige Beseitigung dieses moorigen Geruchs und Geschmacks nach den bisher angestellten Versuchen nicht erreichbar erscheint. Aber mit diesem Mangel wird man sich abfinden müssen, denn, wie bereits oben erwähnt, ist nach den zahlreichen Untersuchungen wohl nicht darauf zu rechnen, dass in nächster Nähe von Kiel Grundwasser in genügender Menge gefunden wird, welches den geschilderten Fehler nicht besässe. Uebrigens hätte die früher in Aussicht genommene Benutzung des Wassers aus dem Schulensee nach dieser Richtung hin noch ungünstigere Verhältnisse ergeben, denn nach den bereits erwähnten, mit diesem Wasser angestellten Filtrationsversuchen behält dasselbe bei der Sandfiltration nicht nur seine gelbliche Farbe, sondern auch seinen gewöhnlich nicht unbeträchtlichen moorigen Geruch und Geschmack nahezu unverändert bei.

Bei den auf der Tabelle XI zusammengestellten Versuchen war wohl im Allgemeinen eine Abnahme der gelösten organischen Substanzen in

Folge der Behandlung des Wassers zu erkennen, indess ist dieselbe nur unbedeutend und konnte sie auch nicht regelmässig beobachtet werden. Während im Mittel von allen untersuchten Proben zur Oxydation der organischen Substanzen im Rohwasser 11.04^{mg} Kaliumpermanganat verbraucht wurden, waren zur Oxydation derselben im Filtrat durchschnittlich nur 9.81^{mg} erforderlich, indess zeigte sich, wie erwähnt, nicht bei allen Versuchen, auch nicht einmal bei allen Versuchen, in denen die Reinigung des Wassers vom Eisen eine genügende war, eine Abnahme der organischen Substanz.

Nach den früher an Stehproben des Schulenseegrundwassers gemachten Beobachtungen (S. 297) wird man zunächst daran denken, dass die Abnahme der organischen Substanzen in denjenigen Fällen, in denen sie durch die herabgeminderte Oxydirbarkeit angezeigt wurde, auf ein Mitreissen der organischen Stoffe beim Ausfällen des Eisens zu beziehen ist. Vielleicht rührt die Verminderung der organischen Substanzen aber auch zum Theil daher, dass in Folge der Lüftung ein Theil der, wie wir früher gesehen haben, flüchtigen organischen Stoffe entweicht.

Nach der Tabelle XI. verschwand im Filtrat bei 5 Versuchen viermal das Ammoniak in Folge der Behandlung vollständig, während es in einem Falle nur eine erhebliche Verringerung erfuhr. Salpetersäure und salpetrige Säure waren im Filtrat bei mehreren Versuchen nicht vorhanden, auch dann nicht, wenn das Ammoniak aus dem Wasser in Folge der Behandlung verschwunden war. Dass es sich hierbei nicht um eine Verflüchtigung des Ammoniaks in Folge der Lüftung gehandelt hat, werden wir später sehen. Der Keimgehalt war in dem Rohwasser ein recht hoher. Da nun die Filtration in allen auf Tabelle XI zusammengestellten Versuchen durch Kies erfolgte, so hat der auch im Filtrat beobachtete hohe Keimgehalt nichts Auffallendes.

Es ist schon erwähnt, dass bei den weiteren Versuchen auch das von Piefke angegebene Enteisungsverfahren geprüft wurde. Piefke lässt nicht wie Oesten das zu reinigende Wasser nach regenartiger Vertheilung eine Strecke weit frei in der Luft herabfallen, sondern er lässt es über ein Haufwerk von etwa halbf Faustgrossen Cokesstücken herabrieseln. Nach Piefke wird durch eine derartige Anordnung in erster Linie eine erhebliche Verdunstung, welche das Entweichen der Kohlensäure begünstigt, erzielt, und soll es in Folge dessen in dem über die Cokesstücke rieselnden und an der Oberfläche derselben in dünner Schicht ausgebreiteten Wasser zu einer raschen Ausfällung des kohlensauren Eisenoxyduls kommen. Das an den Cokesstücken ankrystallisirende, die Oberfläche bald überziehende Oxydul soll unter der Einwirkung des reichlich

vorhandenen Luftsauerstoffs rasch in Ferrihydrat übergehen und dieses Ferrihydrat, welches schliesslich die Cokesstücke vollkommen überzieht und mit dem darüber weg rieselnden Wasser in innige Verbindung tritt, soll sehr vortheilhaft wirken, indem es an das kohlensaure Eisenoxydul Sauerstoff abgibt und dasselbe in das zur Flockenbildung neigende und deshalb leicht abfiltrirbare Ferrihydrat überführt, während es sich selbst immer wieder leicht mit dem in reichem Maasse zur Verfügung stehenden Luftsauerstoff regenerirt. Piefke hat experimentell festgestellt, dass man in eisenhaltigem Brunnenwasser das Eisen ausserordentlich rasch zur Ausscheidung bringen kann, wenn man dem Wasser eine kleine Menge frisch bereitetes Ferrihydrat hinzufügt und gleichzeitig Luft hindurch leitet. Während bei verschiedenen von ihm darauf untersuchten Wässern alleiniges Hindurchleiten von Luft frühestens nach 10 bis 15 Minuten langer Einwirkung das Eisen so weit ausgefällt hatte, dass das jetzt filtrirte Wasser nicht mehr nachtrübte, beobachtete er bei gleichzeitiger Anwendung von Ferrihydrat, dass sich derselbe Effect schon mit einer Durchlüftung von nur einer Minute erreichen liess. Die hervorragende, die Eisenausfällung in so hohem Maasse beschleunigende Wirkung des Ferrihydrats lässt auch der nachstehende, im hygienischen Institut ausgeführte Versuch sehr gut erkennen. Von vier in gleicher Weise mit Wasser aus dem Landbrunnen gefüllten 5-Literflaschen wurde nach der Ankunft im Laboratorium eine, nachdem die zur Bestimmung des Eisens erforderliche Wassermenge entnommen war, offen stehen gelassen, eine zweite Flasche blieb verschlossen stehen, durch die dritte wurde 2 Stunden lang ein kräftiger Luftstrom hindurch geleitet, worauf die Flasche dann noch 2 Stunden geöffnet stehen blieb, dann wurde sofort filtrirt und das Filtrat zur Eisenbestimmung benutzt. In die vierte Flasche nun wurde zunächst etwas frisch ausgeglühter Eisenschlamm aus der Leitung, von dem schon erwähnt ist, dass er hauptsächlich aus Eisenoxydhydrat besteht, gebracht, hierauf ebenso wie bei der 3. Flasche, aber nur 10 Minuten lang ein kräftiger Luftstrom hindurch geleitet und unmittelbar darauf filtrirt: Die Eisenbestimmungen ergaben im Filtrat des Wassers aus der Flasche:

	mg FeO i. L.
Nr. 1: sofort nach der Ankunft im Laboratorium . . .	1.55
nachdem dasselbe 24 Stunden offen gestanden	
hatte	Spur
Nr. 2: nachdem dasselbe 24 Stunden lang verschlossen im	
Laboratorium gestanden hatte (ihr Inhalt war	
ebenso stark getrübt, wie bei der 1. Flasche) .	Spur

	mg FeO i. L.
Nr. 3: nachdem 2 Stunden Luft hindurchgeleitet war, und die Flasche noch 2 Stunden offen gestanden hatte	0.23
Nr. 4: nachdem Ferrihydrat zugesetzt und noch 10 Mi- nuten lang Luft hindurchgeleitet war . . .	0.075

Wie diese vorzügliche Wirkung des Ferrihydrats, die sich auch bei den sogleich zu besprechenden praktischen Versuchen deutlich zeigte, zu Stande kommt, darüber konnten weitere Untersuchungen bisher nicht angestellt werden; indess liegt es hier besonders nahe, die Eisenausscheidung in erster Linie auf die Sauerstoffzufuhr und nicht auf die Kohlensäureabgabe zurückzuführen. In der That scheint auch Piefke in diesem Fall der Sauerstoffzufuhr die grössere Bedeutung beizumessen, denn, wenn er auch an einer Stelle¹ davon spricht, das durch seinen Cokeslüfter das Entweichen der Kohlensäure begünstigt wird, so äussert er sich doch an einer anderen Stelle¹ dahin, dass der Sauerstoff des Ferrihydrats auf das kohlen-säure Eisenoxydul im Wasser schon einwirkt, bevor die Ausscheidung desselben aus dem Wasser begonnen hat. Letzteres würde aber für unsere oben vertretene Ansicht sprechen, wonach die Ausfällung des Eisens beim Lüften auf der Sauerstoffzufuhr und nicht auf der Kohlensäureabgabe beruht, und wonach der Sauerstoff der Luft direct auf das gelöste Ferri-carbonat einzuwirken und dasselbe in unlösliches Eisenoxydhydrat überzuführen vermag.

Die Versuchsanordnung bei den noch erübrigenden praktischen Versuchen war folgende:

Als Cokeslüfter diente ein Cylinder aus Eisenblech von 0.5^m Durchmesser und 1.8^m Höhe, unten mit einem Eisenrost versehen, und über der Einfallskammer des beschriebenen, zuletzt benützten Versuchsfilters (= Holzkasten) aufgestellt. Gefüllt war der Cylinder mit halbfaust- bis faustgrossen Cokesstücken. Oberhalb der Cokesfüllung, in einem Abstand von etwa 20^{cm}, befand sich ein flaches Blechgefäss mit durchlocthem Boden, in welches zunächst das Rohwasser eingeleitet wurde. Von hier aus rieselte es über die einzelnen Cokesstücke hinweg durch die Cokes-säule hindurch und trat unten in die Einfallskammer. Wenn weiterhin von „gelüftetem“ Wasser bei diesen Versuchen die Rede ist, so ist damit jedes Mal das unten aus dem Cokeslüfter abtropfende, bzw. abfliessende gemeint. Im Uebrigen entsprach die Versuchsanordnung genau der bisherigen. Die Filterfüllung bestand, wie bei den letzten Versuchen, aus 13^{cm} grobem Steinen, 10^{cm} grobem Kies, 6^{cm} feinem Kies und 40^{cm} scharfem grobem Sand.

¹ A. a. O. S. 63 bezw. 64.

Beim siebenten Versuch wurde zunächst mit 600^{mm} stündlicher Versickerung gearbeitet, wobei nach dreistündigem Betrieb das Filtrat bereits klar war. Vom zweiten Tag ab wurde alsdann die Geschwindigkeit auf die Hälfte herabgesetzt und 300^{mm} stündliche Geschwindigkeit so lange beibehalten, bis sich das Filter nach im Ganzen 31 Tagen tot gearbeitet hatte. Bis zum Schluss blieb das Filtrat vollkommen klar und ohne Nachtrübung, bei der Untersuchung enthielt es jedes Mal nur geringe, nicht mehr bestimmbare Spuren von Eisen. Aber auch schon bei dem „gelüfteten“ Wasser war der Eisengehalt recht beträchtlich herabgesetzt, wie das aus der Tabelle XII ersichtlich ist. Dass ein grosser Theil des Eisens bereits in dem Cokeslüfter zurückgehalten wurde, ergab die Besichtigung der Cokesstücke. Anfangs zeigten sie nur einen dünnen gelben, später einen dickeren rostfarbenen, und schliesslich namentlich in den tieferen Abschnitten des Cokeslüfters einen dicken braunen, schlammartigen Ueberzug. Von diesem Ueberzug wurden von Zeit zu Zeit kleinere Stücke oder selbst etwas grössere zusammenhängende Fetzen losgespült, die sich aber in der Klärkammer bei der angewendeten geringen Geschwindigkeit (= 300^{mm}) gewöhnlich absetzten und so gar nicht mehr auf das Filter gelangten.

Bei dem achten ganz ähnlichen Versuch, bei welchem nur eine etwas grössere Geschwindigkeit angewandt wurde, nämlich 450^{mm} in der Stunde, erschien das Filtrat, nachdem es schon wenige Stunden nach Beginn des Versuchs vollkommen klar war, weiterhin während der ganzen Versuchsdauer stets klar und trat eine Nachtrübung an den Stehproben nicht ein. Das Filter wurde aber diesmal schon nach 17 Tagen betriebsunfähig. Am ersten Betriebstage wurden 0.006, am letzten 0.004^{mg} Eisen im Filtrat gefunden.

Nachdem sich bei einigen Vorversuchen gezeigt hatte, dass bei derselben Versuchsanordnung auch noch ein klares Filtrat erlangt wurde, als die Filtrirgeschwindigkeit auf 666, bzw. 1100, bzw. 1666^{mm} gesteigert war, wurde bei dem neunten Versuche nach Erneuerung des Filters (unter Verwendung einer 45^{cm} hohen filtrirenden Sandschicht) andauernd mit einer Geschwindigkeit von 2000^{mm} pro Quadratmeter in der Stunde filtrirt. Hier war aber einmal die Reinigung des Wassers keine genügende, denn nach den im Laboratorium der städtischen Wasserwerke ausgeführten Eisenbestimmungen waren vorhanden Milligramm FeO im Liter:

	beim Rohwasser	beim gelüfteten	beim abgesetzten	beim filtrirten
1.	2.39	1.03	1.29	0.55
2.	2.13	1.29	1.29	0.18;

ausserdem arbeitete sich das Filter schon in 7 Tagen todt, und war der Filtersand in den obersten 7 Centimetern ausserordentlich stark verschlammmt, die Verschlammung liess sich aber in abnehmender Stärke auch noch bis zu 36 cm unter der Sandoberfläche verfolgen. Bei der grossen Geschwindigkeit kam es auch nicht mehr zu einer nennenswerthen Ablagerung von Eisen in der Klärkammer, dementsprechend war der Eisengehalt im abgesetzten Wasser im Vergleich zum gelüfteten Wasser auch nicht herabgesetzt.

Der zehnte Versuch bildete nur eine Wiederholung des siebenten, und wurde wesentlich ausgeführt, um zu erfahren, wie sich neben dem Eisen die übrigen Bestandtheile des Wassers, insbesondere die organischen Substanzen und das Ammoniak verhielten. Wieder war das Filtrat klar und blieb dasselbe auch ohne Nachtrübung, und dementsprechend war der Eisengehalt auch nur ein minimaler, 0.03 mg im Liter.

Bisher war zu den Versuchen immer nur Wasser aus dem nach der Stadt führenden Leitungsrohr benutzt worden, also Schulenseegrundwasser, welches aus dem Sammelbrunnen, wohin es durch die Heberrohre aus den Brunnen geleitet war, durch die Maschinen in das Reinwasserreservoir und von da in die Leitung gepumpt war. Es handelte sich mithin um ein Wasser, welches mehrfach mit der Luft in Berührung gewesen war und ausserdem etwa zwei Stunden im Reinwasserreservoir verweilt hatte. Wie der Augenschein lehrte, hatte bei diesem Wasser die Eisenausscheidung regelmässig bereits eingesetzt, und man musste daher daran denken, dass ein derartiges Wasser der Reinigung leichter zugänglich sei, als das direct aus dem Sammelbrunnen entnommene. Da bei einer am Schulenseewerk eventuell zu errichtenden Reinigungsanlage im Grossen das Wasser aus dem Sammelbrunnen direct, und ohne vorheriges Verweilen im Reinwasserreservoir u. s. w. zur Lüftung bezw. Filtration gelangt wäre, erschien es wünschenswerth zu erfahren, ob auch unter diesen Verhältnissen auf eine genügende Reinigung des Wassers zu rechnen sei. Dass dies der Fall ist, lehrt der elfte Versuch, bei welchem das Rohwasser direct aus dem Sammelbrunnen zugeleitet wurde. Die Reinigung fiel hier unter sonst gleichen Verhältnissen wie bei den Versuchen 7 und 10 auch ebenso günstig aus wie dort.

Bei einem zwölften, erst kürzlich ausgeführten Versuch, wurde das, wie oben gezeigt, weit weniger eisenhaltige Wasser des Versuchsbrunnens bei der Poppenbrügger Aue diesem Enteisungsverfahren unterworfen. Es gelangte dabei derselbe Apparat wie bei den Versuchen 7—11 zur Anwendung, d. h. der hölzerne Filterkasten mit dem Cokeslüfter über der Einfallkammer, mit der Klärkammer und der Filterkammer mit einer Filterfüllung von 40 cm Sand. Die Geschwindigkeit, mit welcher gearbeitet wurde, betrug 1600 mm pro Quadratmeter und Stunde. Der Versuch konnte

wegen Unregelmässigkeiten im Pumpenbetrieb nicht vollständig zu Ende geführt werden. Nur am ersten Tag war das Filtrat noch nicht ganz klar, weiterhin blieb es stets klar und ohne Nachtrübung. In den am dritten und dreizehnten Betriebstage entnommenen Proben wurden im Laboratorium der Wasserwerke gefunden:

	im rohen	gelüfteten	abgesetzten	filtrirten Wasser	
	0.97	0.23	0.26	0.16 ^{mg}	FeO im Liter
bezw.	0.97	0.19	0.26	0.10 „ „ „ „	

Auch hier blieb, wie man sieht, bei der grossen Durchflussgeschwindigkeit eine nennenswerthe Verminderung des Eisengehaltes in der Klärkammer aus.

Auf der Tabelle XII sind alle Werthe zusammengestellt, welche bei der chemisch-bakteriologischen Untersuchung der Proben von den Versuchen 7, 8, 10 und 11 im hygienischen Institut gefunden worden sind. Zum Vergleich haben in diese Tabelle auch die für den Versuch 5 ermittelten Werthe nochmals Aufnahme gefunden, wobei unter sonst gleichen Verhältnissen die Lüftung nach Oesten und die Filtration mit feinem Kies erfolgt war.

Zunächst lehrt ein Blick auf diese Tabelle, dass bei den Versuchen Nr. 7, 8, 10 und 11 die Reinigung des Wassers von Eisen eine gründlichere gewesen ist. Nie wurde beim Filtrat eine Trübung bezw. Nachtrübung beobachtet, nie überschritt der Eisengehalt desselben 0.03^{mg} im Liter, während bei allen unter Verwendung der einfachen Lüftung nach Oesten ausgeführten Versuchen nie ein so niedriger Eisengehalt gefunden worden war. (Vgl. auch die Tabelle XI.)

Ein Blick auf die Tabelle XII lehrt aber auch, dass dieses besonders günstige Resultat in erster Linie der Verwendung des Cokeslüfters zu danken ist, durch welchen der Eisengehalt des Wassers ganz bedeutend herabgesetzt wurde. Mit einer einzigen Ausnahme wurde in dem gelüfteten Wasser eine Reduction des Eisens auf mindestens die Hälfte des ursprünglichen Gehaltes erreicht. Wenn beim Versuch 8 am 1. Betriebstage im gelüfteten Wasser sogar mehr Eisen gefunden wurde, als im Rohwasser, so erklärt sich dies dadurch, dass beim Aufsammeln des unten vom Cokeslüfter abfliessenden Wassers wahrscheinlich von der Cokesoberfläche abgespülte Eisenrosttheilchen mit in die Flasche gelangt sind.

Da in allen zur Aufnahme von Proben für die Untersuchung auf Eisen bestimmten Flaschen nach dem Vorgang von Proskauer je 5^{ccm}

Tabelle

Versuch	Höhe der filtrierenden Kies- bezw. Sand- schicht in cm	Filtrirgeschwin- digkeit, mm in der Stunde	Proben entnom- men am -ten Tage des Versuches	Verhalten der Stehprobe des Filtrats	Eisenoxydul mg i. L. des				Sauerstoff mg i. L. des			
					Roh- Wassers	gelüfteten Wassers	abgesetzten Wassers	filtrirten Wassers	Roh- Wassers	gelüfteten Wassers	abgesetzten Wassers	filtrirten Wassers
a) Einfache Lüftung												
5.	Kies											
	40	300	9	etwas nach- getrübt	5.23	—	—	0.12	—	—	—	—
	40	300	22	„	2.44	2.16	2.07	0.26	—	—	—	—
	40	300			2.87	2.21	1.35	0.19	—	—	—	—
b) Lüftung mit												
7.	Sand											
	40	300	3	klar	1.07	0.52	0.02	Spur	1.90	4.27	4.34	4.24
	40	300	14	„	0.89	0.47	0.14	„	1.76	4.12	4.19	3.13
8.	40	300	30	„	5.2	0.70	0.17	„	2.21	4.01	4.96	4.39
	40	450	1	„	1.86	2.17	0.19	0.006	—	—	—	—
	40	450	17	„	1.81	0.61	0.40	0.004	—	—	—	—
Chlor mg i. L.												
10.	40	300	1	„	1.41	0.28	0.45	0.03	16.4	15.0	14.8	13.9
	40	300	5	„	—	—	—	—	15.4	16.2	15.3	15.3
11.	40	300 ⁵ bis 600	1	„	2.62	0.28	0.85	0.01	—	—	—	—

¹ Nach Abzug des für das Eisenoxydul erforderlichen Kaliumpermanganats.

	im Roh-Wasser	im Filtrat
Chlor =	17.5 mg	17.5 mg i. L.
Gesamt-Härte	15.8	15.6
Bleibende „	2.9	4.1
		Deutsche Härtegrade

reine Salzsäure eingebracht wurde, um auf dem Transport in's Laboratorium eine weitere Ausscheidung von Eisen zu verhüten, so liess sich leider im Laboratorium nicht mehr nachweisen, ob dem Wasser solche von den Cokesstücken im Lüfter herrührende Eisenflocken beigemischt waren. In einigen Fällen war das allerdings an den gleichzeitig entnommenen nicht mit Säure versetzten Stehproben direct zu beobachten. Die für das gelüftete Wasser ermittelten Werthe beziehen sich demnach nicht nur auf das gelöste, sondern auch noch auf das suspendirte

XII.

Gesamtkohlensäure mg i. L. des				Oxydirbarkeit ¹ mg i. L. des				Ammoniak mg i. L. des				Zahl d. entwickelsf. Keime im ^{ccm} des			
Roh- Wassers	gelifiteten Wassers	abgesetzten Wassers	filtrirten Wassers	Roh- Wassers	gelifiteten Wassers	abgesetzten Wassers	filtrirten Wassers	Roh- Wassers	gelifiteten Wassers	abgesetzten Wassers	filtrirten Wassers	Roh- Wassers	gelifiteten Wassers	abgesetzten Wassers	filtrirten Wassers

nach Oesten.

—	—	—	—	14.57	9.10	9.91	3.88	1.2	—	—	0	630	9000	8000	1270
—	—	—	—	10.70	12.68	13.66	10.4	1.3	1.15	1.15	0.4	2040	1500	600	1000 ²

Piefke's Cokeslüfter.

300.0	260.0	273.5	269.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
301.0	275.5	261.0	254.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
288.7	248.8	250.5	249.0	—	—	—	—	—	—	—	—	322	2400	780	318
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	230	350	1910	1500
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180	450	1180	556
Gesammthärte. Deutsche Härtegrade.															
13.76	13.40	13.03	12.52	20.23	21.71	22.94	20.51	1.2	1.0	1.0	0	170	788	312	66
—	—	—	—	19.19	21.75	19.30	21.54 ³	ziemlich		viel	0	—	—	—	—
—	—	—	—	[19.81	21.87	19.50	21.55] ⁴	„	„	„	0	236	785	842	236 ⁵

³ Reduction erfolgt unter Zugrundelegung des am 1. Versuchstagermittelten Eisengehaltes.

⁴ Die in Klammern befindlichen Zahlen bedeuten die Oxydirbarkeit ohne Abzug für Eisenoxydul.

⁵ Die Filtergeschwindigkeit war zur Zeit der Probenentnahme noch nicht genau regulirt, vorübergehend hatte sie kurz vorher 600^{mm} betragen.

⁶ Roh-Wasser direct aus dem Schulensee-Sammelbrunnen gepumpt.

und mit fortgerissene, im Augenblicke der Entnahme gerade im Wasser vorhandene Eisen. Letzteres fand, wie bereits erwähnt, bei nicht zu grosser Geschwindigkeit während des mehrstündigen Verweilens in der Einfall- bzw. Klärkammer Gelegenheit, sich am Boden abzusetzen und darauf ist es wohl zurückzuführen, dass der Gehalt des abgesetzten Wassers an Eisen gewöhnlich noch weit niedriger war, als in dem gelifiteten Wasser. In einigen Fällen enthielt dieses abgesetzte Wasser sogar ebenso wenig Eisen, wie bei den Versuchen mit der Lüftung nach

Oesten (Nr. 1—5) erst nach der Filtration. Uebrigens kam es einige Male vor, dass der Eisengehalt im abgesetzten Wasser etwas grösser war, als im gelüfteten, wahrscheinlich weil gelegentlich Eisenflocken mit fortgerissen und bei der Probeentnahme grössere Mengen derselben mit in die Entnahmegefässe gelangt sind. Im Allgemeinen aber hatte das Passiren der Klärkammer bei den Versuchen mit der Lüftung nach Piefke bei einer Geschwindigkeit von 300 bzw. 450^{mm} eine weitere erhebliche Verminderung des Eisengehaltes zur Folge. Die Piefke'sche Lüftung hat offenbar vor der Oesten'schen den Vorzug, dass sie das Eisen nicht nur rascher zur Ausscheidung bringt, sondern dass sie dasselbe auch in eine flockige, sowohl durch Filtriren, als auch schon durch Absitzen leicht entfernbare Masse überführt. Während bei der Lüftung nach Oesten der Eisengehalt in der Klärkammer nur eine geringe Abnahme erfuhr, war dieselbe bei der gleichen Geschwindigkeit nach der Lüftung mittels des Piefke'schen Cokeslüfters wiederholt so gross, dass das abgesetzte Wasser nahezu genügend von Eisen befreit erschien.

Bei dem Versuch 7 waren regelmässig Sauerstoff- sowie Kohlensäurebestimmungen in den verschieden entnommenen Proben ausgeführt worden. Dieselben lassen erkennen, wie das zur Reinigung gelangende sauerstoffarme Rohwasser, nach dem Passiren des Cokeslüfters mit Sauerstoff nahezu gesättigt war. Der Sauerstoffgehalt erfuhr alsdann in der Klärkammer eine weitere, allerdings nicht unbedeutende Zunahme, während er nach dem Durchgang durch das Filter regelmässig wieder, wenn auch nur wenig abnahm. Das Passiren des Lüfters hatte bei dem Wasser eine Verminderung des Kohlensäuregehaltes zur Folge, welche etwa derjenigen gleichkommt, die beim Stehen des Schulenseegrundwassers in offenen Gefässen erst nach 4—5 Tagen beobachtet wurde (vgl. Tab. VIII). Nach dem Filtriren war der Kohlensäuregehalt jedes Mal, wenn auch meist nicht erheblich, geringer als vor demselben.

Die Oxydirbarkeit erfuhr auch bei den Versuchen 10 und 11 keine nennenswerthe Veränderung, sie hatte im Filtrat einmal etwas zugenommen, zweimal war sie aber ungefähr gleichgeblieben. Der Durchgang des Wassers durch den Lüfter hatte jedes Mal eine geringe Zunahme der Oxydirbarkeit zur Folge. Beim Versuche 5 hatte übrigens in der Einfall- und Klärkammer, wenigsten kurz vor Schluss des Versuches, ebenfalls eine deutliche Steigerung der Oxydirbarkeit stattgefunden.

Der Ammoniakgehalt zeigte bei den Versuchen 10 bis 11 ein ähnliches Verhalten wie früher; er verschwand in Folge der Behandlung regelmässig aus dem Wasser vollständig, ohne dass etwa Salpetersäure bzw. salpetrige Säure dafür in dem Wasser auftraten. Nach der allerdings nur einmal ausgeführten quantitativen Untersuchung wurde in

Folge des Durchganges durch den Cokeslüfter der Ammoniakgehalt ein wenig vermindert, eine ähnliche geringe Abnahme des Ammoniakgehaltes war aber auch früher bei dem Versuch 5 an dem nach Oesten gelüfteten Wasser beobachtet worden, dieselbe dürfte daher wohl auf eine Verflüchtigung des Ammoniaks in Folge der Lüftung zu beziehen sein.

Der Chlorgehalt, welcher beim Versuch Nr. 5 im Rohwasser und Filtrat derselbe gewesen war, liess beim Versuch Nr. 10 einmal eine gleichmässige Abnahme erkennen, bei einer Wiederholung der Untersuchung, 14 Tage später, wurde aber im Rohwasser und Filtrat wieder nahezu derselbe Chlorgehalt gefunden.

In Betreff der Gesamthärte wurde einmal bei Versuch Nr. 10 beobachtet, dass sie in Folge der Behandlung eine allmähliche Abnahme erfuhr, beim Versuch Nr. 5 blieb die Gesamthärte nahezu unverändert, dagegen hatte die bleibende Härte im Filtrat eine Zunahme von 2.9 auf 4.1 Härtegrade erfahren.

Die Reaction des Wassers erschien bei der Prüfung mit Reagenspapier in dem Filtrat eben so stark alkalisch wie in dem Rohwasser.

Da die Versuche grösstentheils in der Frühlings- bzw. Herbstzeit also bei nicht besonders hoher bzw. niedriger Aussentemperatur angestellt sind, war in der Regel eine nennenswerthe Beeinflussung der Temperatur des Wassers in Folge der Aussentemperatur nicht zu beobachten. Die Temperatur des Filtrats schwankte dementsprechend bei den Versuchen Nr. 1—5 in der Zeit vom Mai bis Juli zwischen $10\frac{1}{2}$ und 14° C. Nur einmal an einem besonders heissen Julitage stieg die Temperatur von 13° C. Mittags auf 17° bzw. 19° C. um zwei bzw. sechs Uhr p. m. an, fiel aber über Nacht wieder auf 14° ab. Diese vorübergehende, nicht unbeträchtliche Temperatursteigerung wurde bei dem Versuch Nr. 4 (bei einer Durchflussgeschwindigkeit von 700 mm pro Quadratmeter) zum Theil dadurch bedingt, dass der Filterkasten in nächster Nähe der der Sonnenstrahlung besonders ausgesetzten Wand des Maschinenhauses stand. Bei der Ausführung der Reinigung im Grossen würde bei gleich hoher Aussentemperatur und bei gleicher Filtergeschwindigkeit jedenfalls eine so erhebliche Steigerung der Temperatur des Filtrats nicht zu Stande kommen können, da die Klär- und Filteranlage alsdann nicht über sondern in der Erde liegen, und die Wärmezufuhr daher nicht wie dort von allen Seiten, sondern wesentlich nur von oben her stattfinden würde.

Wie aus der Tabelle XII ersichtlich ist, erfuhr der beim Rohwasser in der Regel niedrige Keimgehalt bei den Versuchen Nr. 7, 8, 10 und 11 in Folge der Behandlung eine gewöhnlich allerdings nur vor-

übergehende Steigerung. Diese Steigerung machte sich regelmässig an dem gelüfteten Wasser schon bemerkbar, sie erreichte aber bei dem Versuch Nr. 8 mit der höheren Filtrirgeschwindigkeit = 450 mm, sowie bei dem Versuch Nr. 11, bei welchem kurz vor der Probeentnahme die Geschwindigkeit eine doppelt so hohe gewesen war (= 600 mm), ihren Höhepunkt erst bei dem abgesetzten Wasser. Beim Versuch Nr. 8 mit der höheren Filtrirgeschwindigkeit blieb auch der Keimgehalt im Filtrat gegenüber demjenigen des Rohwassers — einmal stark einmal weniger stark — erhöht. Die Zunahme des Keimgehaltes ist hiernach wohl in erster Reihe durch den Piefke'schen Lüfter, weiterhin aber auch durch das Klärbassin bedingt. Auch beim Versuch Nr. 5 mit der Lüftung nach Oesten zeigte auf der Höhe des Betriebes das aus der Einfallkammer (= gelüftete) sowie das aus der Klärkammer am Ueberlauf geschöpfte (= abgesetzte) Wasser einen höheren Keimgehalt als das Rohwasser. Hier beruhte diese Steigerung wohl darauf, dass sich die Wandungen des Kastens im Laufe der Zeit mit einer Bakterienhaut überzogen hatten. Ferner konnte von den mit dem Eisenschlamm abgelagerten Bakterien später dem darüber befindlichen Wasser ein Theil wieder zugeführt werden und schliesslich wird man annehmen dürfen, dass die Keime, welche das gelüftete Wasser mitbrachte, bei dem mehrstündigen Verweilen in der Einfall- und Klärkammer eine Vermehrung erfuhren.

In ähnlicher Weise wird sich die jedesmal in der Klärkammer beobachtete Zunahme des Bakteriengehaltes beim Versuch Nr. 8 erklären, während die regelmässig auch schon in dem unten aus dem Piefke'schen Cokeslüfter austretenden Wasser wahrgenommene Erhöhung des Keimgehaltes darauf zurückzuführen sein dürfte, dass sich beim Ueberziehen der Cokesstücke mit Eisenschlamm gleichzeitig eine Bakterienansiedelung daselbst entwickelte, und von dieser aus dem darüber hinwegfliessenden Wasser fortwährend Bakterien beigemischt wurden. Nach den Ergebnissen der bakteriologischen Untersuchung war die hierdurch bedingte Steigerung des Keimgehaltes keine hochgradige, sie nahm auch nicht etwa fortwährend zu, sie ging vielmehr selbst bei ununterbrochen fortgesetzter Benützung des Lüfters zeitweise wieder einmal zurück. So war sie z. B. beim Versuch Nr. 8, nachdem der Cokeslüfter 32 bzw. 48 Tage hindurch benützt worden war, nicht mehr so erheblich wie beim Versuch Nr. 7, bei welchem der Lüfter erst 30 Tage lang in Benutzung war. Bei den Versuchen Nr. 10 und 11, die in die wärmere Jahreszeit (Juni) fielen, war übrigens die durch den Cokeslüfter bewirkte Erhöhung des Keimgehaltes keineswegs höher, sondern sogar etwas niedriger als bei dem Versuch Nr. 7 im April.

Nach den Ergebnissen der Versuche mit dem Cokeslüfter wird man

daher annehmen dürfen, dass die durch Passiren des Cokeslüfters bewirkte Steigerung des Keimgehaltes bei einem regelmässigen Betrieb keine besonders hohe sein wird. Abgesehen nun davon, dass die Filtration i. A. wieder eine Reduktion des Keimgehaltes bewirkt, handelt es sich bei dieser Steigerung des Bakteriengehaltes aber nur um eine Vermehrung von saprophytischen Bakterien. Die von Oesten¹ neuerdings gegen den Piefke'schen Lüfter erhobenen hygienischen Bedenken wird man nicht theilen können. Die Benutzung des Piefke'schen Lüfters kann sehr wohl so ausgeführt werden, dass ein Hineingelangen von pathogenen Keimen ausgeschlossen ist.

Nach den bei den Versuchen am Schulensee gemachten Erfahrungen kann man den Lüfter unbegrenzt lange benutzen, es muss nur von Zeit zu Zeit einmal eine gründliche Durchspülung erfolgen. Diese kann aber geschehen, ohne dass das Betriebspersonal mit dem Innern des Lüfters in Berührung kommt. Dass an einem Lüfter nach Piefke, wie man ihn in der Praxis anwenden wird, häufiger Reparaturen vorkämen, welche das Betriebspersonal mit dem Material des Lüfters in Berührung brächten, ist nicht wahrscheinlich. An die Zufuhr pathogener Keime durch Vermittelung der Luft aber wird man nach unseren Erfahrungen über das Vorkommen und die Verbreitung von Krankheitserregern in der Luft im Freien erst recht nicht denken können, und es ist auch auszuschliessen, dass der Cokesfüllung von Anfang an Krankheitserreger anhaften.

Wir können daher die Befürchtung von Oesten,¹ „dass das immer wieder über diese alten Ablagerungen auf den Cokesstücken geleitete Wasser neue Mikroorganismen aufnimmt, die auch einmal schädlicher Natur sein können“, nicht theilen.

Da der Piefke'sche Lüfter in Betreff der Intensität und Schnelligkeit der Eisenausfällung, wie gezeigt, so Vorzügliches leistet, wird man seine Benutzung dem Oesten'schen Lüftungsverfahren vorziehen müssen. Bedingung bleibt dabei allerdings, dass Anlage und Betrieb sich so gestalten, dass ein Hinzutritt von Krankheitskeimen zu dem Lüfter ausgeschlossen ist. Dieser Gesichtspunkt muss auch für die weitere Behandlung des Wassers in den Vordergrund treten, denn es kommt uns ja in erster Linie darauf an, die Vorzüge, welche das Grundwasser vor dem Oberflächenwasser besitzt, zu erhalten. Dahin gehört neben der niederen gleichmässigen Temperatur des Grundwassers vor Allem sein Freisein von Krankheitsstoffen. Je schneller uns die Reinigung des Wassers von Eisen gelingt, umsomehr ist darauf zu rechnen, dass die uns erwünschte gleichmässige

¹ G. Oesten, Ausscheidung des Eisens aus dem Grundwasser. Sachliches und Persönliches. *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*. 35. Jahrg. S. 627.

Temperatur desselben erhalten bleibt. Man wird daher darauf bedacht sein müssen, dass die Reinigung möglichst schnell von statten geht.

Es ist oben gezeigt, dass man mit dem Oesten'schen Verfahren der Lüftung und Kiesfiltration wohl das hiesige Grundwasser in verhältnissmässig kurzer Zeit genügend von Eisen befreien kann, es darf aber bei 700^{mm} Geschwindigkeit mit der filtrirenden Kiesschicht nicht unter 40^{cm} herabgegangen werden. (Nach den Erfahrungen von Oesten und Proskauer scheint allerdings bei manchen Grundwässern schon eine Kiesschicht von 15^{cm} zu genügen und kann auch noch mit einer stündlichen Geschwindigkeit von 1000^{mm} filtrirt werden.) Eine in dieser Weise ausgeführte Reinigung wird sich aber für die Praxis nicht empfehlen, denn abgesehen davon, dass bei einer jedesmaligen Erneuerung der filtrirenden Kiesschicht am Ende der Filtrirperiode die Betriebskosten ausserordentlich gross würden, besteht die Gefahr, dass beim Auswechseln des Filtermaterials gelegentlich einmal Krankheitsstoffe in die Anlage und damit in's Filtrat gelangen.

Nun wird man daran denken müssen, ob sich nicht die Wiederingebrauchnahme des Filters in einer Weise ermöglichen lässt, die ohne die Betriebskosten zu sehr zu steigern, den Zutritt von Krankheitsstoffen mit Sicherheit ausschliesst. Man wird beispw., wie¹ das neuerdings auch Oesten¹ andeutet, Einrichtungen zu treffen haben, welche gestatten, das Filter in seinem Lager zu spülen, zu wenden, bzw. zu waschen und dadurch das verstopfte Filter wieder zugänglich zu machen. Wo eine niedrige Kiesschicht zur Reinigung des Wassers genügt, wird sich das wohl leichter ermöglichen lassen, da wird man vielleicht auch von den immer wieder durch Spülung zu reinigenden Asbestfiltern Gebrauch machen können.

Da bei den mitgetheilten Versuchen nach Benutzung des Piefke'schen Lüfters und, nachdem das Wasser ausserdem die Klärkammer passiert hatte, bei nicht zu grosser Geschwindigkeit eine nahezu genügende Reinigung erzielt war, wird man erwarten dürfen, vielleicht durch ein derartiges niedriges, durch Spülen immer wieder zu reinigendes Filter aus grobem Material die letzten Reste des, wie wir gesehen haben, leicht durch Absetzen, bzw. Filtration, entfernbaren Eisens aus dem Wasser beseitigen zu können. Es kommt hier ja nur auf ein rein mechanisches Zurückhalten des Eisens aus dem Wasser an, ein Zurückhalten von Bakterien ist hier gar nicht erforderlich. Vielleicht dürfte sich hierfür aber eine andere Einrichtung, über die Ingenieur Pippig demnächst Versuche anzustellen gedenkt, noch mehr empfehlen. Es soll nämlich

¹ A. a. O. S. 627.

versucht werden, ob eine abermalige Rieselung des Wassers über eine hohe Schicht von Cokesstücken oder über eine hohe Schicht von ganz grobem Kies bei nicht zu grosser Geschwindigkeit im Stande ist, das in der oben beschriebenen Weise gelüftete und hierdurch, sowie durch Absitzen grösstentheils schon vom Eisen befreite Wasser in für die Praxis genügender Weise zu reinigen. Bei einer derartigen Versuchsanordnung würde dann dieser Cokes-, bezw. Kiesrieseler, von Zeit zu Zeit durch eine kräftige Durchspülung, ähnlich wie bisher der Cokeslüfter, von dem angesammelten Eisenschlamm befreit und wieder für die Rieselung tauglich gemacht werden. Ob der Versuch gelingt, muss natürlich erst abgewartet werden, gelingt er aber, dann würde gegen eine derartige Behandlung des Wassers vom hygienischen Standpunkte ein Einwand nicht erhoben werden können, da sich alsdann die Reinigung des Rieselers leicht so ausführen lässt, dass ein Zutritt von Krankheitsstoffen von aussen nicht zu befürchten ist.

Eine Reinigung des Wassers im Grossen, analog der Versuchsanordnung bei den praktischen Versuchen Nr. 7 und 8, d. h. mit Cokeslüfter, Absitzkammer und mit Sandfiltration, ist wohl, wie die Versuche gezeigt haben, ausführbar und liefert dieselbe auch in vorzüglicher Weise vom Eisen befreites Filtrat; dieselbe würde indess mit nicht unbeträchtlichen Kosten namentlich für die Anlage verbunden sein, vor allen Dingen aber die Möglichkeit nicht ausschliessen, dass gelegentlich einmal Krankheitsstoffe in das Filter und von da in's Filtrat gelangen. Es wird demnach Sache der Technik sein, zweckmässige Einrichtungen zu schaffen, welche nicht nur in wenig kostspieliger, sondern auch in vom gesundheitlichen Gesichtspunkte einwandfreier Weise die letzten Reste des Eisens aus dem gelüfteten Wasser mechanisch zurückhalten. Dass dies keineswegs aussichtslos ist, lassen auch die nachstehenden vom Ingenieur Pippig neuerdings ausgeführten Versuche erkennen, bei welchen die künstlichen SteinfILTER von Fischer-Peters¹ in Worms Anwendung gefunden haben. Es sind dies angeblich aus gewaschenem Flussand von bestimmter Korngrösse unter Verwendung von Natronkalksilikat als Bindemittel hergestellte, gebrannte, flache, 1^m hohe und 1^m breite mit einem Hohlraum im Innern versehene Steine. Wird ein solcher poröser Stein in Wasser untergetaucht, so dringt das Wasser von allen Seiten ein und tritt dasselbe, nachdem es bei seinem Durchgang durch die Steinmasse gereinigt ist, in den Hohlraum, aus dem es durch ein nach unten führendes, in den Stein eingelassenes Rohr nach aussen abgeführt werden kann. Bei der städtischen, vom Director Fischer ein-

¹ *Journal für Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung.* 35. Jahrg. Hft. 26. S. 513.

gerichteten, Filteranlage in Worms sind in einem Bassin von 272^{qm} Grundfläche nicht weniger als 978 solcher Filtersteinelemente aufgestellt, die zusammen eine Filterfläche von 1956^{qm} repräsentiren. Bei dieser Anlage sind jedesmal zwei senkrecht über einander stehende Steine miteinander zu einem Filterelement vereinigt, und wird das von diesen in Gruppen angeordneten Elementen unten abfliessende Filtrat in Röhren gesammelt und dem Reinwasserbehälter zugeführt. Nach der Beschreibung wird mit ähnlich geringem Drucke wie bei der Sandfiltration filtrirt und soll bei dem Fischer'schen Steinfilter die quantitative Leistung pro 1^{qm} Filterfläche dieselbe sein, wie bei den bisher in Worms benutzten Sandfiltern. Nach dem Bericht von Prof. Dr. Bessel-Hagen¹ lieferte das Steinfilter anhaltend ein Filtrat mit niedrigem Keimgehalt.

Die verticale Anordnung der Steine hat zur Folge, dass sich der im Rohwasser enthaltene Schlamm, welcher sich an den Aussenwänden zunächst absetzt, in Folge seiner Schwere nach und nach zu Boden senkt und sich also auf dem Boden des Behälters ansammelt, von wo er leicht durch Oeffnen eines Schiebers zu entfernen ist. Der nach längerem Betrieb an den Steinen haftende, bezw. in die Poren eingetretene und die Filtrirfähigkeit beeinträchtigende Schlamm wird von Zeit zu Zeit dadurch beseitigt, dass gereinigtes Wasser aus der Wasserleitung durch die Steine von innen nach aussen gedrückt wird. Bei der Wormser Steinfilteranlage ist übrigens über den Filterbatterien eine Dampfleitung angeordnet, welche Dampf in die Steine — die eine derartige Erhitzung vertragen — zur Vernichtung etwaiger Krankheitserreger einzuleiten gestattet.

Ob eine derartige Filteranlage sich für die Praxis eignet, ob sie, wie der Ortsgesundheitsrath von Worms behauptet, sogar vor den üblichen Sandfiltern den Vorzug verdient, soll hier nicht erörtert werden. Zunächst dürften jedoch erst noch weitere Erfahrungen darüber zu sammeln sein, ob bei einer derartigen Anlage nicht, wie man wohl vermuthen darf, häufige Reparaturen wegen Undichtwerdens nöthig sind, wodurch die Güte des Filtrates in Frage gestellt werden würde. Mangelhafte Dichtigkeit an den Verbindungsstellen u. s. w., die bei der Filtration von Oberflächenwasser natürlich von der grössten Bedeutung wäre, würde aber weniger in's Gewicht fallen, wenn es sich bei der Filtration nur um das Zurückhalten von durch geeignete Vorbehandlung bereits zur Ausscheidung gebrachtem Eisen handelt, wie in unserem Falle. Eine geringe Beimengung von nicht genügend filtrirtem Wasser würde hier das Filtrat nicht wesentlich beeinträchtigen.

¹ Bericht des Ortsgesundheitsraths über die Untersuchung des durch die Sand- und Steinfilter (System Fischer u. Peters) im städtischen Wasserwerk zu Worms filtrirten Wassers.

Mit diesen Steinfiltren wurden nun in der letzten Zeit Versuche sowohl an dem Schulenseegrundwasser, als auch an dem Wasser des Versuchsbrunnens bei der Poppenbrügger Aue angestellt. Zu allen Versuchen wurde der oben beschriebene hölzerne Filterkasten mit dem Lüfter nach Piefke verwandt, nur war die Filterfüllung durch solche Steinfilterelemente ersetzt.

Bei Vorversuchen mit dem Schulenssegrundwasser waren zwei solcher Elemente in die Filterkammer eingesetzt, die filtrierende Steinfläche hatte mithin eine Grösse von 4 ^{qm}.

Zunächst wurde mit einer stündlichen Durchflussmenge von 450 Litern gearbeitet. Bei der Grundfläche der Filterkammer von 0.9 ^{qm} gab dies eine stündliche Wasserversickerung von 500 ^{mm} pro Quadratmeter der Filterkammergrundfläche. Die Filtrirgeschwindigkeit pro Quadratmeter filtrierende Steinfläche betrug hier demnach 112.5 ^{mm}. Schon eine 1/2 Stunde nach Beginn des Betriebs erwies sich das Filtrat klar, es trübte allerdings bei dreitägigem Stehen noch ein wenig nach. Eine Stunde nach Beginn des Versuches war das Filtrat klar und blieb von jetzt ab ohne Nachtrübung.

Eisenbestimmungen im Laboratorium der Wasserwerke ergaben ^{mg} FeO i. L.:

	im rohen, gelüfteten, abgesetzten,			filtrirt. Wasser
1/4 Stunde nach Beginn des Betriebes	3.87	1.48	0.65	0.13
1 " " " " "	—	—	—	Spur.

Auch als nunmehr der Durchfluss auf 700 Liter pro Stunde erhöht war (stündliche Versickerung pro Quadratmeter der Filterkammer = 778 ^{mm}, Filtrirgeschwindigkeit pro Quadratmeter Stein = 175 ^{mm}) blieb das Filtrat klar und wurde Nachtrübung an demselben nicht mehr wahrgenommen, das abgesetzte Wasser enthielt jetzt 1.61 ^{mg}, das filtrirte dagegen nur noch Spuren von Eisenoxydul.

Es schloss sich hieran ein Dauerversuch mit 450 Litern stündlicher Durchflussmenge (500 ^{mm} stündlicher Versickerung, 112.5 ^{mm} Filtrirgeschwindigkeit).

Von Anfang an war das Filtrat klar, und blieben Stehproben desselben ohne Nachtrübung und Bodensatz. Die am zweiten Betriebstage entnommenen Proben enthielten nach der Untersuchung im Laboratorium der städtischen Wasserwerke im Rohwasser 2.13 ^{mg} und im abgesetzten Spuren von FeO; das Filtrat erwies sich als frei (!) von Eisen.

Als die Steine nach neuntägigem Betrieb durch Gegenspülung gereinigt waren, arbeitete das Filter wieder wie vorher und blieb schon die 1/2 Stunde nach der Spülung entnommene Probe des Filtrats beim Stehen dauernd klar.

Zu den Enteisungsversuchen bei dem Wasser aus dem Versuchsbrunnen an der Poppenbrügger Aue war nur ein Filterstein in die Kammer eingesetzt. Die Durchflussmenge betrug 500 Liter (= 556^{mm} stündliche Wassersickerung; 250^{mm} Filtergeschwindigkeit).

Von Anfang an war das Filtrat klar und ohne Geschmack nach Eisen. Nachtrübung bezw. Bodensatz waren an den Stehproben des Filtrats nicht zu beobachten.

Nach 15tägigem Betriebe wurde, obwohl der Druck noch nicht auf 70^{cm} gestiegen war und das Filter demnach wohl noch 4—5 Tage hätte benutzt werden können, die Reinigung durch Gegenspülung ausgeführt.

Eisenbestimmungen im Laboratorium der städtischen Wasserwerke ergaben ^{mg} FeO i. L.

	des rohen,	gelüfteten,	abgesetzten,	filtrirten Wassers
am 1. Betriebstage	0.97	0.42	0.39	Spur
„ 2. „	0.97	—	0.18	„
„ 10. „	0.97	0.16	0.13	„
„ 2. Tagen.d.Spülung	1.03	0.13	—	„

Es war mithin die Reinigung unter Verwendung der SteinfILTER sowohl bei dem Schulenseegrundwasser, als bei dem Wasser des Versuchsbrunnens eine genügende. Die Filtrirgeschwindigkeit würde sich voraussichtlich noch steigern lassen, eventuell könnte ein gröberes Material Verwendung finden. Anlage und Betriebskosten, die bei der Verwendung der SteinfILTER zur Filtration von Oberflächenwasser angeblich verhältnissmässig gering sind, würden auch bei der Verwendung dieser SteinfILTER zur Reinigung des Wassers vom Eisen keine besonders grossen sein. Aller Wahrscheinlichkeit nach könnte bei einer Anlage im Grossen auch noch auf ein besonderes Klärbassin verzichtet werden. Falls eine solche Filteranlage nicht häufige Reparaturen nöthig macht — kleinere Undichtigkeiten könnten, wie erwähnt, unberücksichtigt bleiben — so würden gegen die Anwendung der SteinfILTER hier Bedenken nicht erhoben werden können.

Kiel, im Januar 1893.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. III.)

Apparat zur Wasserentnahme aus beliebiger Tiefe für die bakteriologische Untersuchung.

Fig. I. Apparat beim Herablassen, Ventile offen, so dass das Wasser unten ein und oben austritt.

Fig. II. Apparat beim Aufziehen. Ventile zu, werden durch die Flügelschraube geschlossen gehalten.

Fig. III. Der obere Theil des Apparates, welcher entfernt wird, um aus dem gefüllten Cylinder die Probe für die bakteriologische Aussaat mit der Pipette entnehmen zu können.

<i>a</i> = Messingcylinder	<i>i</i> = Steg
<i>b</i> = unterer Ventilsitz	<i>k</i> = Führungsstift für die Flügelschraube
<i>c</i> = unterer Ventilkegel	<i>l</i> = Ausbohrung in der Flügelschraube für den Führungsstift <i>k</i>
<i>d</i> = oberer Ventilsitz	<i>m</i> = Flügelschraube
<i>e</i> = oberer Ventilkegel	<i>n</i> = mit Gewinde versehener Ansatz der Flügelschraube, welcher in dem Schraubengewinde des Steges <i>i</i> steckt
<i>f</i> = mit dem Schaft des oberen Ventilkegels verbundene Stange	<i>o</i> = Aufhängebügel.
<i>g</i> = Ausbohrung im unteren Ventilkegel zur Aufnahme des unteren Theiles der Stange <i>f</i>	
<i>h</i> = Rahmen	

Fig. 1.
Schnitt A-B.

Fig. 2.
Schnitt C-D.

Fig. 3.
Ansicht d. oberen
Theiles.