

Über Selbstreinigung der Flüsse.

Von Dr. med. Friedr. Hettersdorf, prakt. Arzt, Kemnath.

Unstreitig die wichtigste hygienische Fürsorge in allen größeren verkehrsreichen Orten, wo dauernd eine Menge Menschen auf einem engen Raum beisammen leben, ist die Entfernung des sich bildenden Unrats. Solange derselbe nur in geringeren Mengen entsteht und daher schleunigst beiseite gebracht werden kann, bevor er zur Schädigung der Gesundheit beiträgt, sind die Gefahren, die in den faulenden Abfall- und Fäkalstoffen liegen, verhältnismäßig geringe und durch geeignete Maßregeln, vor allem regelmäßige Vernichtung, leicht zu umgehende.

Groß aber wird die Gefahr für die Gesundheit einer ganzen Bevölkerung, wenn in Städten der Unrat nicht schleunigst beseitigt wird. Vor allem die animalischen Entleerungen, die Abfallstoffe aus den Haushaltungen und der Industrie und der durch den Verkehr entstehende, massenhafte Straßen schlamm fordern zwingend eine schnelle Vernichtung.

Die Gefahren im Falle der Anhäufung dieser Stoffe, vor allem der flüssigen und staubförmigen, d. h. aller derjenigen, welche eine Möglichkeit der feinsten Verteilung und dadurch nicht nur Verbreitung in den bewohnten Räumen und noch mehr in dem menschlichen Körper selbst durch Aufnahme per os und per respirationem zulassen, sind dadurch für die Bevölkerung einer Stadt so hohe, da gerade sie teils die geeignetsten Nährböden für die schädlichsten pathogenen Keime darstellen, teils durch chemische Zersetzung und Bildung von Giftstoffen und Fäulnisgasen zu einer Schädigung der menschlichen Gesundheit beitragen. Die festen Abfallstoffe bieten noch lange keine derartig große hygienische Gefahr, da ihre Verbreitungsmöglichkeit eine geringere ist.

Von alters her hat man versucht, in großen Städten allen Unrat zu sammeln und in offenen oder geschlossenen Kanälen fortzuschaffen. Vor allem besorgte in unregelmäßigen bergigen Städten der Regen dieses Geschäft, während in flachen Orten künstliche Gefälle den Abfluß herstellten. Glücklich waren diejenigen Städte, die, am Meere gelegen, diesem direkt ihre Abgangsprodukte zuleiten konnten, während der größte Teil der Städte die Abfallstoffe dem Lande für Düngerzwecke zuführte. So sorgte schon das Altertum für diesen natürlichsten Gang der Stadthygiene.

Durch die höchst interessanten Funde E. de Sarczecs in Fello im südlichen Babylonien sind wir imstande, nachzuweisen, daß Ninive um 3000 vor Christus, ja sogar schon 1000 Jahre vor der Gründung Ninives eine andere, dem Namen nach unbekannte Stadt eine Wasserleitung und ein System von Abschwemmkanälen besessen hat. Wie hoch die hygienischen Anforderungen im jüngeren Altertum gestiegen sind, zeigen Volksbeschlüsse der Stadt Athen um 320 vor Christus, wonach „diejenigen, welche Abfall auf die Straße werfen, gezwungen werden sollten, denselben wieder zu entfernen. Und um alles gut imstande zu halten, sollten diejenigen, welche in

der Zukunft Abfall und Exkremente auf die Straßen oder den Markt werfen, bestraft werden“.

Namentlich die Römer haben alle technisch-hygienischen Veranstaltungen, wie Straßenpflasterungen, Quellwasserzuleitung und Abwässerableitung, Reinhal tung der Straßen u. a. m., bedeutend vervollkommen und die Aufrechterhaltung derartiger hygienischer Anstalten und Vorschriften allen mit dem Bürgerrecht ausgestatteten Städten obligatorisch gemacht. Rom hatte ein Kanalisationssystem, das sein Abwasser teils durch die Cloaca Maxima in den Tiber — wie noch heute! — entfernt, teils nach Art der Rieselfelder auf die „müden Brachfelder“ entleerte.

Um so unbegreiflicher ist es, „daß alle diese nützlichen, hygienischen Einrichtungen der Menschheit vollständig aus dem Gedächtnis verschwinden konnten, so daß die ersten fünf bis sechs Dezennien des 19. Jahrhunderts sich allen Ernstes rühmen konnten, auf dem Gebiete der Stadthygiene etwas Originale geschaffen zu haben“.

Wir dürfen nicht vergessen, daß die Straßen der Städte bis in unser Jahrhundert hinein im äußersten Grade schmutzig waren. Waren doch Paris im Jahre 1641 und London 1651 noch nicht mit der Pflasterung ihrer Straßen fertig und hatten doch Berlin und Kopenhagen erst in der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts mit einer geordneten Pflasterung begonnen. (Prof. Nielsen: Über die Straßenhygiene im Altertum.) Die Reinhal tung der Straßen war dadurch eine ungeheuer primitive. Noch schlimmer stand es mit Beleuchtung und Wasserversorgung. Eine geeignete und zweckdienliche Entfernung aller Abwässer war nicht eingerichtet und erst dem letzten Jahrhundert war es beschieden, bei der immer wachsenden Bevölkerungszunahme der Binnenstädte, der größeren Abfallproduktion derselben durch die erhöhte Industrie den Modus der Beseitigung des Abfalles in andere Bahnen zu lenken. Verschiedene Arten derselben kommen zurzeit in Frage. Der feste Bestandteil des Unrats wird heutzutage einer geeigneten Verwertung und Verbrennung überwiesen, während der größtenteils flüssige Hauptbestandteil der Abfall- und Fäkalienmassen in Kanälen gesammelt und außerhalb der Peripherie der Großstadt unschädlich gemacht werden soll. Dies geschieht zurzeit durch verschiedene Systeme: 1. die sogenannten Abfuhrssysteme, welche mit lokalen Sammelstellen ohne unterirdische kommunizierende Kanäle arbeiten und vorzugsweise nur die Fäkalien beseitigen; dahin gehört das Grubensystem, das Tonnensystem und die Abfuhr mit Präparation der Fäkalien: 2. bei den Kanalsystemen, bei welchen die Fäkalien oder auch die sämtlichen Abwässer durch ein unterirdisches Kanalnetz gemeinsam für größere Komplexe von Häusern fortgeschafft werden, kommen vor allem die Verfahren der Bodenfiltration und Berieselung in Betracht, wobei der Kanalinhalt auf geeignete in nicht allzu großer Nähe der Stadt liegende Felder geleitet und durch geeignete Drainagen verbreitet und durch Bepflanzung der Felder unschädlich gemacht wird (Rieselfelder, z. B. in Berlin).

Die chemischen Klärungsverfahren ebenso wie die Oxydationsverfahren erfordern zu kostspielige, technische Anlagen.

Bei denjenigen Städten, die an Flüssen liegen, lag von alters her der Gedanke nahe, den Kanalinhalt dem Flusse selbst zu übergeben. Doch

stießen die Vorschläge, den Kanalinhalt dem strömenden Flußwasser zu übergeben, von seiten der unterhalb der Einleitungsstelle befindlichen Anwohnerschaft auf nicht geringen Widerstand. Vor allem waren es einzelne Typhusfälle, die auf eine Verunreinigung des Flußwassers durch Fäkalien zurückgeführt wurden. Bei einer sanitären Überwachung der Wasserleitung steht die Flußverunreinigung im Vordergrunde und da ist es richtig, die Verunreinigung mit Krankheitserregern, die Infektion des Flußlaufes noch besonders hervorzuheben.

Da in größeren Städten immer einige Fälle von Typhus vorhanden sind, hielt man es für nötig, die gesamten Abwässer vorher zu desinfizieren. Die Praxis lehrte es jedoch bald, daß die Infektionen durch Flußwasser nicht häufig sind und nur in einzelnen Fällen solche auf die Effluvien der Städte zurückzuführen sind. In erster Linie verschleppt die Flußbevölkerung selbst die Krankheitskeime, ferner zeigt es sich, daß die pathogenen Bakterien rasch absterben, wenn sie aus dem nahrungareichen Abwasser in offenes Licht gelangen, und drittens erweist es sich als tatsächlich unmöglich, das Abwasser einer ganzen Stadt zu desinfizieren.

Bei kleineren Flüssen ist die Infektion eine häufigere und die Bewohner von Mühlen, welche das Bachwasser mit Vorliebe auch für häusliche Zwecke benutzen und trinken, erkranken relativ häufig am Typhus. Die Frage, wie lange Typhuskeime und andere pathogene Keime (Genickstarre!) im Flußwasser sich zu halten und virulent zu bleiben vermögen, ist noch unentschieden. Hingegen liegen Beobachtungen über die Lebensdauer von Typhuskeimen im Leitungswasser vor. Die Stadt Paris hatte im Jahre 1899 eine schwere Typhusepidemie zu überstehen. Nachweislich ist sie übermittelt worden durch das Wasser der Vannelleitung, die täglich 120 000 cbm aus dem forêt d'othe aus 170 km Entfernung zuführt.

Besançon erhält sein Wasser aus einer Quelle, die durch Erdfälle das Abwasser eines Dorfes Nancray aufnimmt. In letzterem Dorfe waren einige Typhusfälle. Als dann mächtige Regen niedergingen, brach drei Wochen später eine heftige Typhusepidemie in demjenigen Teil Besançons aus, welcher das Wasser von Nancray erhält, die übrigen Stadtteile mit anderem Wasser blieben verschont. Das in den Bach von Nancray eingeschüttete Fluorescein erschien nach 93 Stunden, also 4 Tagen, in Besançon wieder. So lange also vermögen sich Typhusbazillen im fließenden Wasser zu halten. Bedeutender noch als die häuslichen Abwässer sind die Verunreinigungen durch die Industrieabwässer. Eine Reihe Industrien liefern Wasser mit viel organischen Substanzen, so die Zuckerfabriken, Stärke- und Spiritusfabriken, Brauereien usw. Bodenbender hat berechnet, daß eine täglich 4000 Ztr. Rüben verarbeitende Fabrik ebensoviel Abwasser liefert, als eine Stadt von 20 000 Einwohnern, und daß in den Abwässern so viel organische Substanzen vorhanden sind, wie in den Abwässern einer Stadt von 50 000 Einwohnern.

Eine andere Reihe von Industrien liefert anorganische Abfallstoffe, die teils in gelöster, teils in suspendierter Form den Wasserläufen übergeben werden. Zu den letzteren zählen manche Montanfabriken, Holzstofffabriken, chemische Fabriken u. a. So wurde erst in den letzten Monaten vergangenen Jahres (November 1906) in der Salzach ein großes Fischsterben hervorgerufen, dessen Ursache in Aluminiumfabriken gelegen ist, deren Abwässer

bedeutende Massen von Calciumcarbid enthalten. Demgegenüber hat sich schon Pettenkofer im Jahre 1891 in Leipzig geäußert:

„Wenn man die Typhusbewegung an der Isar verfolgt, so ergibt sich, daß gerade München, das das reinste Isarwasser vom Gebirge herunterbekam, früher am meisten Typhus hatte. Ja, München war eine berühmte Typhusstadt, und die Orte weiter hinab, also Freising, Landshut usw., hatten verhältnismäßig viel weniger Typhus und da konnte man sich leicht denken: der Typhus, soweit er in Freising und Landshut vorkommt, kommt eben davon her, weil die Münchener ihre Typhusstühle abschwemmen.“

In neuerer Zeit ist München infolge seiner Assanierungsarbeiten beinahe typhusfrei geworden; also kommt gegen früher ungeheuer wenig in die Isar hinein, und da dürften die Freisinger und die Landshuter, wenn sie früher einige Fälle hatten, jetzt eigentlich gar keine mehr haben. Aber es ist ganz anders. In Freising und in Landshut ist die Typhusfrequenz zurzeit verhältnismäßig größer als in München, ganz einfach deshalb, weil die unterhalb liegenden Städte für die Assanierung nicht so gearbeitet haben, wie es in München der Fall war.

Also wenn ein Ort, welcher unterhalb eines Abschwemmortes gelegen ist, mehr Typhus hat, oder überhaupt eine größere Morbidität und Mortalität hat, als eine obengelegener, so hat man kein Recht, anzunehmen, daß das nur von dieser Einleitung in diesen Fluß herkommt. Die von Pettenkofer und seinen Schülern durchgeführten Untersuchungen und bakteriologische Durchforschung der Isar ergab die Unschädlichkeit der Abwässereinleitung für die Anwohner der Isar. Nach einer Untersuchung der Isar am 21. Januar 1891 bei einem auffallend niedrigen Wasserstande wurde bei Thalkirchen oberhalb München und an der Brücke in Freising unterhalb München Wasser entnommen und hat keine Differenz ergeben. Die bakteriologische Untersuchung von Prausnitz hat ergeben, daß unmittelbar unter dem Hauptsiel eine bedeutende Vermehrung von Bakterien nachweisbar ist, die aber auf dem Wege bis Freising zu mehr als 80 Proz. wieder verschwunden sind. Ebenso hat Stadtbezirksarzt Medizinalrat Dr. Niedner in Dresden eine Reihe von systematischen Untersuchungen der Elbe über ihre Aufnahmefähigkeit an Abfallstoffen vorgenommen, die sich auf das Gebiet von der böhmischen Grenze und Grippenbach bis Niederwartha, 9 km unterhalb Dresden, ja bis weiter nach Magdeburg erstrecken. Die Keimzahlen waren:

An der böhmischen Grenze	19 000 bis 30 000	in 0,5 ccm
Oberhalb Dresdens	27 400	„ 0,5 „
100 m unterhalb der letzten Schleuse vor Dresden . . .	38 000	„ 0,5 „
Bei Niederwartha, 9 km unterhalb Dresdens von	20 600 bis 5 000	„ 0,5 „
Vor Magdeburg	800	

Der gesammelte Trockenrückstand vor und nach Dresden war überall gleich 0,1425 g pro Liter Wasser.

Daraus ergibt sich, daß Dresden ein Wasser erhält, das an und für sich schon bedeutend höher verunreinigt ist, wie die Isar, und daß 100 m unterhalb der letzten Schleuse Dresdens das Elbwasser nicht besonders mehr verunreinigt ist als oberhalb Dresdens am städtischen Wasserwerk, daß es dagegen nur 9 km abwärts schon bedeutend reiner ist. Am unreinsten war

bei näheren Untersuchungen das Wasser an der böhmischen Grenze, von da an ist es allmählich reiner geworden und nur an den Stellen, wo gerade eine größere Menge Abfallstoffe organischer Art in die Elbe gelangten, hat sich eine rasch vorübergehende größere Verunreinigung gezeigt (Pirna und Übigau). In dem ganzen Wasserlaufe der Elbe bis Dresden und unterhalb Dresdens befindet sich keine Spur von Ablagerungen von Schlamm und organischen Substanzen. Wenn nun das Wasser unterhalb Dresdens reiner ist als oberhalb der Stadt, so muß eine Reinigung des Stromes stattgefunden haben und zwar muß die Elbe ein ganz bedeutendes Vermögen von Selbstanreinigung besitzen. Ähnliche Verhältnisse konstatiert Bürgermeister Dehlius für den Siegfluß bei Siegen.

Als Flußverunreinigung muß man jede durch künstliche oder natürliche Beimengungen herbeigeführten Abweichungen in der Zusammensetzung des Wassers ansehen, welche den Gebrauchswert eines Wassers merklich und in den seitens der Hygiene festgestellten bedeutungsvollen Bestandteilen verändern. Die Anforderungen, die die Hygiene an ein Wasser stellt, sind 1. daß das Wasser frei von Infektionskeimen ist, 2. das Trinkwasser kein unklares Aussehen, schlechten Geruch und Geschmack hat. Auch die Landwirtschaft hat einen gewissen Anspruch auf Reinhaltung des Flusses. Es muß zum Viehtränken und zur Benutzung im Haushalt geeignet bleiben. Von vornherein aber sei der Satz aufgestellt, daß nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft und hygienischen Gewohnheiten ungereinigtes, rohes Flußwasser nicht als Trinkwasser angesehen werden kann, und daß die sanitären Bestrebungen dahin zu richten sind, daß auch für die Flußbevölkerung die Trinkwasserversorgung soweit zu regulieren ist, daß keinerlei Flußwasser als Trinkwasser zu benutzen nötig ist.

Für die Orte jedoch, die aus ökonomischen Rücksichten (Lage, pekuniäre Belastung) für ihre Wasserversorgung auf Flußwasser angewiesen sind, ist entschieden ein erheblich höherer Reinheitsgrad zu verlangen als dort, wo das Flußwasser nicht Industriezwecken dient.

Auch die Fischzucht hat selbstverständlich gewisse Anforderungen an den Reinheitsgrad des Wassers zu stellen. Das Absterben der Fische dient gewissermaßen als Indikator für die Verunreinigung. Dort, wo Fische nicht mehr zu leben vermögen, ist das Wasser übermäßig schlecht. Das Verschwinden der einen oder anderen Fischart aus einem Gewässer bedeutet noch nicht viel wegen der übergroßen Empfindlichkeit einiger Fische gegen gefährliche Stoffe. Immerhin verdient es stets Beachtung und ist ein beachtenswertes Warnungszeichen, welches die Natur uns gibt. Als Grundsatz für die Frage der Flußverunreinigung soll immerhin gelten, daß der Erfolg der Flußreinigung nicht ein völlig keimfreies Wasser sei, sondern nur ein Wasser, welches sich durch die Sinne und anderweitig nicht mehr von einem guten Wasser unterscheiden läßt, also ein Wasser, dessen organische Beimengungen zum allergrößten Teil vergast oder mineralisiert worden sind. Mit dem Aufhören der organischen Nahrungsmenge nimmt die Keimzahl von selbst ab. Die Abwässer gut kanalisierter Städte sollen keine Jauche, d. h. eine in stinkender Fäulnis begriffene Flüssigkeit sein, sondern infolge der schnellen Beseitigung und der ausgiebigen Durchlüftung sowie großen Verdünnung, die sie schon in den Kanälen erfahren, in relativ frischem Zustande abfließen.

Der Gehalt der städtischen Abwässer an Schmutzstoffen beträgt, soweit sie häuslicher Abstammung sind, nur 1 bis 2 Prom., und zwar sind die Schmutzstoffe zur Hälfte etwa organischer, zur Hälfte anorganischer Natur, teils gelöst, teils aber ungelöst in Form von schwelbenden Schmutzstoffen oder in Gestalt sogenannter schwerer Sinkstoffe vorhanden. Der Zweck der Abwasserbehandlung ist, zu verhüten, daß das ästhetische Gefühl verletzt wird durch unappetitliche Stoffe, die sich in den Flußläufen umhertreiben, zu verhüten, daß die Flußbetten verschlammen, daß in den öffentlichen Gewässern überhaupt grob sinnlich wahrnehmbare Veränderungen und Fäulnisvorgänge auftreten.

Die Schmutzstoffe im Wasser setzen sich verschiedentlich zusammen:

1. Menschliche Fäkalien und Harn. Hiervon ist der letztere von geringer Bedeutung, da er sehr bald in Ammoniak übergeht.
2. Die Abfälle der Haustierhaltung, vor allem Pferde, Hunde, Groß- und Kleinvieh.
3. Einen sehr großen Bestandteil bildet Papier und Gewebsfetzen.
4. Zu berücksichtigen ist ferner auch eine große Menge von Fett. Nach Angaben von Dr. Schreiber stammt das Fett vor allem aus den Küchen und Waschwässern, also aus Nahrungsmitteln (Talg, Schmalz, Butter, Margarine, Öl), ein größerer Teil dieses Fettes gelangt zwar nicht in das Kanalwasser, da er sich in den Wasserleitungen nach dem Erkalten des Spülwassers absetzt, das meistens eine höhere Temperatur hat und daher das Fett meist im geschmolzenen Zustande enthält. Ferner enthält das Körperreinigungs- und Wäschereinigungswasser ziemlich viel Fettstoffe und Seife. Zum weiteren liefert der Restaurationsbetrieb sowie Schlachterei, ferner eine Reihe von Industriebetrieben, wie Wollwäschereien, Fettfabriken, sowie Seifen- und Kerzenfabriken, eine nicht geringe Menge dieses Stoffes. Weniger in Betracht kommt der Ölverlust maschineller Betriebe, da das Schmiermaterial und Mineralöl zu möglichst großem Teil aus den Abwässern wieder gewonnen wird. Der Gesamt fettgehalt der Abwässer für Berlin z. B. beträgt 0,0101 bis 0,0259 Proz., der Fettgehalt der Trockenrückstände im Mittel 13,8 Proz. Die in den Abwässern enthaltenen ungelösten Stoffe hat man zu trennen in Schwimm- und Schwebestoffe. Erstere bleiben auch im ruhenden Wasser an der Oberfläche, letztere fallen allmählich nieder.

Die Schwimmstoffe sind entweder von Hause aus spezifisch leichter oder haben die Schwimmkraft durch Lufteinenschluß dauernd oder temporär. Das spezifische Gewicht der Schwebestoffe ist nicht unbedeutend, wird aber durch Quellung und dadurch herbeigeführte Volumvergrößerung ein leichteres. Durch Gärung tritt fortwährend eine Änderung der Beschaffenheit ein, welche teils durch Lockerung des Verbandes ein Niedersinken der Teilchen begünstigt. Schwimmstoffe aus Fett gehen in Wasser durch die Umwandlung in Säure und Kalkbildung in Schwebestoffe über und können sedimentieren.

Die Art und Weise, wie sich die Gewässer der ihnen zugeführten Schmutzstoffe entledigen, ist eine sehr verschiedene und ist insbesondere abhängig:

1. von der Beschaffenheit der Verunreinigung;
2. von den Mengenverhältnissen;
3. von der Bewegung des Wassers und auch von dem in der Nähe der Strommündung sich geltend machenden Einfluß der Ebbe und Flut;
4. bei Landseen von der Einwirkung des Windes auf die Wasseroberfläche. Bei dem Prozesse der Selbstreinigung, unter dem man bekanntlich

- die Möglichkeit versteht, daß der Fluß durch verschiedene Vorgänge mechanischer, chemischer oder biologischer Art sich seiner Verunreinigungsstoffe zum großen Teil entledigt, spielen eine hervorragende Rolle 1. niedere Algen und Wasserpflanzen, oder niedere Wassertiere; 2. verschiedene Bakterienarten, welche durch ihre Lebensvorgänge die organischen Stoffe zersetzen; 3. ist die Selbstreinigung abhängig von der Beschaffenheit des Bodens, von der Tiefe und Zusammensetzung des Wassers; 4. von meteorologischen Verhältnissen, wie Luftdruck, Windbewegung und Temperatur; 5. wird dieselbe beeinflußt durch oxydative Prozesse und durch die Einwirkung des Lichtes.

Immerhin ist aus alledem zu ersehen, daß die Selbstreinigungen in verschiedenen Gewässern durch verschiedene Ursachen bedingt sein können, und wie das Kaiserliche Gesundheitsamt in einem Gutachten vom Jahre 1892 sich schon äußerte, sind selbst Untersuchungen erschöpfendster Art keineswegs maßgebend in ihren Ergebnissen, da die Bedingungen der Selbstreinigung unter dem Einflusse wirtschaftlicher wie baulicher Veränderungen im Laufe der Zeit sich ändern.

Was in speziellen Fällen die Flußreinigung bedingt und wie dieselbe bei jeder Art der Verunreinigung stattfindet, ergibt sich aus zahlreichen Untersuchungen des Flußwassers überhaupt, sowie aus zahlreichen Versuchen, die von verschiedenster Seite in hygienischen Laboratorien in dieser Hinsicht stattgefunden haben. Vor allem kommt bei der Einleitung der Abwässer in den Fluß die Verdünnung des Sielwassers in Betracht. v. Pettenkofer fordert eine wenigstens 15fache Verdünnung und nimmt an, daß dieselbe ausreichend sei, um ein nicht allzusehr verunreinigtes Wasser bis zur hygienischen Brauchbarkeit zu reinigen.

Nach den heutigen Anschauungen jedoch ist die von Pettenkofer angenommene 15fache Verdünnung allein zum mindesten nicht ausreichend, da durch eine solche Verdünnung die Wirksamkeit einer schwebenden Substanz an sich nicht geändert wird. Es kommt vor allem noch die Sedimentierung in Betracht, die, abhängig von der Bewegung der Strömung, einen großen Teil des Schmutzstoffes zu entfernen imstande ist. Wie sehr die Sedimentierung auf den Bakteriengehalt des Wassers wirkt, zeigt ein Versuch Rubners. Es wurde zu diesem Zweck der Versuchsbrunnen des hygienischen Instituts in Marburg nach einer Probeentnahme kräftig durchgerührt und dadurch der Bodenschlamm aufgewühlt. Hierauf wurden alle zwei bis drei Stunden die Keime in dem getrübten Wasser gezählt und nach einigen Tagen sowie vier Wochen der Ruhe der Keimgehalt des Wassers nachgeprüft. Die Prüfung ergab:

Keime pro 1 ccm	Aussehen	Zeit
Vor dem Versuch:		
1 620	klar	25. August 1886
Nach dem Aufschütteln:		
1 475 000	trüb	25. August, 1 Uhr
196 000	"	25. " 4 "
180 000	"	25. " 6 "
44 100	klar	27. " 1 "
960	"	21. September

Es hat also die Sedimentierung der Keime allein in dem gedeckten Brunnen zu einem reichlichen Rückgang des Keimgehaltes geführt. Im Flußwasser ist die Sedimentierung selbstverständlich durch die Bewegung des Wassers eine verlangsamte und ist in diesem Falle die Einleitung der Abwässer abhängig von der Differenz der Geschwindigkeiten des einzu- leitenden Kanalinhals und des Flusses. So beträgt z. B. die mittlere Ge- schwindigkeit des Wassers in den Münchener Kanälen etwa 60 cm pro Sekunde, während die der Isar bei Niederwasser 100 cm beträgt. Umgekehrt beruht die starke Verunreinigung der Seine in Paris mit darauf, daß die Seine nur 14 cm Sekundengeschwindigkeit, das Sielwasser dagegen über 40 cm hat. Die Isar wirkt daher weniger sedimentierend, als hauptsächlich verdünnend auf den Sielinhalt. In schnell fließenden Strömen verteilt sich das Sediment auf eine weit größere Bodenfläche und wir müssen langsam fließende Flüsse als zur lokalen Verschmutzung durch Sedimentierung besonders disponiert angeben. Störend auf die Sedimentierung wirken Wind- und Wellenbewegung. Die Wellenbewegung geht so tief nach abwärts, daß die schwebenden Teilchen davon betroffen werden. Ebenso hindert die Tätigkeit der Schiffahrt, Rudern, Aufwühlen durch Stangen, Schrauben- und Raddampfer das lang- same Absetzen der Schwebeteilchen.

Bei der Sedimentierung sind nach Dr. Spitta zwei Zonen zu unter- scheiden: Die erste enthält die makroskopisch sichtbaren Teile, mit denen schon ein größerer Teil Bakterien mitgerissen wird, und dehnt sich nie weit hinter die letzte Verunreinigungsstelle aus. Die zweite Zone enthält die feinsten Suspensa, die gelösten organischen Bestandteile und Bakterien. Auch Frankland Percy nimmt an, daß sich die Flüsse durch Ablagerung ungelöster Stoffe, und zwar in langsam fließenden Flüssen rascher wie in schnell fließenden, davon befreien. Haider hat dasselbe für die Donau unterhalb Wien, Frank für die Spree und Havel nachgewiesen.

Die Stadt Schwerin leitet seit 1893 sämtliche Kanalwässer dicht bei Schwerin in den Ziegelsee und in den Großen See ein. Das städtische Ent- wässerungsgebiet beträgt 233 ha; die tägliche Menge der Kanalwässer ein- schließlich der gewöhnlichen Niederschläge beträgt ungefähr 200 cbm. Innerhalb vier Jahren wurden aus dem eingeleiteten Kanalwasser 600 bis 800 cbm Schlamm in den beiden Seen sedimentiert, die sich auf eine Fläche von 800 qm verteilen. Die mittlere Höhe des Schlammes betrug 10 cm, die höchste 30 cm. Der bei 100° C getrocknete Schlamm bestand zu 79,9 Proz. aus anorganischen, zu 20,04 Proz. aus organischen Stoffen, darunter 2,33 Proz. Stickstoff. Der Kanalschlamm Schwerins ist also reich an anorganischen und dementsprechend arm an stickstoffhaltigen Stoffen. Chemische und bakteriologische Untersuchungen von Wasserproben aus den Seen von Schwerin im August 1897 haben im Vergleich zu Untersuchungen im Jahre 1887 ergeben, daß die Einleitung der Kanalwasser zu hygienischen Nach- teilen nicht geführt hat.

Mit den Schweben- und Sinkstoffen wird der größte Teil der Bakterien abgesetzt; viele Bakterien jedoch besitzen in ihrer Eigenbewegung ein Schutz- mittel gegen die Sedimentierung und haben im Besitze einer stark quellen- den Hülle die Eigenschaft, ihr spezifisches Gewicht zu verringern und somit den Auftrieb zu erleichtern. Dr. Spitta fand durch direkte mikroskopische

Untersuchung, daß an den suspendierten Teilen oft ganze Bakteriennester anhaften, doch zeigt sich, daß dieselben hauptsächlich nur an dem toten organischen Material haften, während die lebenden Algen davon frei sind. Nach Laboratoriumsversuchen enthält 1 mg feuchte Suspensa 728 000 Keime. Verschiedenerlei Untersuchungen über die Arten der Bakterien ergaben z. B. für die Straßburger Wasserleitung etwa 27 Arten.

I. Bakterien: Sporen nicht nachzuweisen.

- | | |
|---|---|
| a) Gelatine nicht verflüssigend | 7 |
| b) Gelatine verflüssigend | 6 |

II. Bazillus: Mit durch Färbung nachweisbaren Sporen.

- | | |
|---|---|
| a) Gelatine nicht verflüssigend | 1 |
| b) Gelatine verflüssigend | 4 |

III. Mikrokokkus: Gelatine nicht verflüssigend

IV. Sarcina: a) Gelatine nicht verflüssigend

- | | |
|-------------------------------------|---|
| b) Gelatine verflüssigend | 1 |
|-------------------------------------|---|

V. Actinomyces: a) Gelatine nicht verflüssigend

- | | |
|-------------------------------------|---|
| b) Gelatine verflüssigend | 1 |
|-------------------------------------|---|

VI. Plastomyces: 1 Art.

Im Mittel wurden 18 Keime in 1 ccm gefunden. Ähnliche Befunde erhielt Bernhard Rosenberg für den Bakteriengehalt des Mainwassers.

Würzburg besitzt eine Schwemmkanalisation, welche die Auswurfstoffe der ganzen Stadt dem Main zuführt. Zur Spülung der städtischen Kanäle werden zwei Bäche verwandt, die bei Würzburg in den Main münden. Es wurde der Bakteriengehalt des Wassers oberhalb der Stadt vor der Kanalverunreinigung und nach dem Einströmen der Siele bestimmt. Die Zählungen ergaben für das Wasser oberhalb des Kanaleinlasses:

Im Februar: im Minimum 350, im Maximum 1020 (also durchschnittlich 660), im März: " " 385, " " 2050 (Durchschnitt 850).

Die Zählungen nach dem Sieleinlaß ergaben:

Im Februar: als Minimum 2950, als Maximum 22 000 pro Cubikcentimeter im März: " " 7000, " " 35 000 " "

Leider sind aus den Angaben Rosenbergs über die Einzelarten der Bakterien keine bestimmten Angaben zu erkennen.

Von mehreren Seiten wurde dem Vorkommen des *Bacterium coli* eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt; so schlägt Stadtarzt Direktor Dr. Petruschky vor, das Vorkommen des *Bacterium coli* direkt als Indikator der Flußverunreinigung zu benutzen, entgegen den Anschauungen von Prof. Cruse, Weissfeldt u. a., daß dasselbe eine allgemeine Ubiquität besitze, so daß man es in jeder Wasserprobe nachweisen könne.

Für die Flüsse liegt die Sache anders: Hier gibt Dr. Petruschky ohne weiteres zu, daß wohl jede größere Wasserprobe das *Bacterium coli* enthalte. Aber gerade hier sei es als Maßstab für die Größe der Fäkalverunreinigung überaus brauchbar; so sei es doch ein kolossaler Unterschied, ob man in 1 ccm Wasser das *Bacterium coli* nachweisen könne, oder ob man es bereits in der millionenfachen Verdünnung nachweisen könne. Ja man könne direkt eine Skala von Reinheitsgraden aufstellen, je nachdem in einer

Wasserprobe das *Bacterium coli* erst in $1/1000\ 000$, $1/100\ 000$, $1/10\ 000$ oder $1/1000$ ccm nachweisbar sei. Die Untersuchung sei eine relativ sehr einfache; man brauche sich von dem Wasser nur drei Verdünnungen mit steriles Wasser anzulegen, eine von 1:100, von dieser wieder 1:100, und abermals davon 1:100, so habe man am Schluß eine Verdünnung von 1:1000000. Dazu komme das unverdünnte Wasser. Von diesen vier Proben könne man je zwei Aussaaten anlegen und zwar direkt in Bouillonrörchen, 1 ccm und $1/10$ ccm. Die Bouillonrörchen stelle man in den Brutschrank und am nächsten Tage habe man das überraschende Resultat, daß eine Anzahl Rörchen klar geblieben sei, während die anderen vollständig trüb geworden seien. In den Rörchen, in denen nur eine leichte Trübung sichtbar sei, sei *Bacterium coli* niemals nachweisbar. Die Zahl der völlig getrübten Rörchen nennt er den termophilen Titer; in stark verunreinigten Gewässern stimme er völlig überein mit dem Coli-Titer. Je nachdem man nun in einer Wasserprobe das *Bacterium coli* nachweise, in 1 ccm $1/10$ ccm, $1/100$ ccm usw., habe man einen guten Anhalt für die fäkale Verunreinigung.

Ebenso betrachtet Jordan die Menge des Coli-Bazillus als Indikator der Selbstreinigung. Er hat es nachgewiesen am Illinoisfluß nach seiner Abwasseraufnahme in Chicago.

Er bedient sich dabei der Methoden: Vorzüchtung in Carbolbouillon mit nachfolgender Plattenkultur auf Lackmus-Milchzucker-Agar. Untersucht werden 1 ccm des auf 1:10000, sowie 1:100000 verdünnten Wassers.

Das Verfahren bezweckt nicht die Zahl der in dem jeweils benutzten Impfstoff vorhandenen Colibazillen, sondern vor allem festzustellen, ob dieselben überhaupt vorhanden sind.

Auch Mackgill und Sarah benutzen das *Bacterium coli* als Indikator der Selbstreinigung. Sie nehmen zum Nachweis von Colibazillen Neutralrot, *Bacterium coli* bringt in 1 proz. Neutralrotbouillon einen Farbumschlag in Kanariengelb mit grüner Fluoreszenz zustande.

Nur *Bacterium tetani* und *Oedematisis maligni* rufen ähnliche Veränderungen hervor. Dieselben sind aber leicht unterscheidbar. Das Fehlen der Reaktion beweist das Fehlen von *Bacterium coli*.

Außer der Verdünnung durch Sedimentierung spielen oxydative Vorgänge und Zersetzungsprozesse im Flußwasser bei der Selbstreinigung desselben eine große Rolle. Die Oxydation organischer Substanzen im Wasser ist an dem Gaswechsel desselben verfolgbar. Der Sauerstoffgehalt bzw. seine Abnahme ist ein Maßstab für die Größe der im Wasser ablaufenden Oxydation. In Laboratoriumsversuchen ist festgestellt, daß im Wasser ein permanenter Gaswechsel stattfindet. Sauerstoff (O) wird aufgezehrt, das entstehende O-Defizit wird aus der Luft möglichst gedeckt. Ist die O-Aufnahme aus der Luft nicht möglich, so sinkt der Sauerstoffgehalt allmählich bis gegen Null, je nach der Qualität des Wassers verschieden schnell. Flußwasser mit einem Sauerstoffgehalt von 3,5 ccm pro Liter war in Zimmertemperatur in 43 Stunden auf 0,89, in 93 Stunden auf 0,04 heruntergegangen (Sauerstoffzehrung 0,06 bis 0,017 ccm pro Stunde und Liter bei einer Keimzahl von 24 600). Wurde das Wasser in Dampf sterilisiert und verschlossen aufbewahrt, so war der Sauerstoffgehalt 3,28, nach 50 Stunden 3,16; das Wasser blieb steril.

Also in nichtsterilisiertem Wasser fand eine lebhafte O-Zehrung statt, während im sterilisierten Wasser so gut wie kein Sauerstoff verzehrt war. Durch Infektion des sterilen Wassers kann man die Sauerstoffzehrung wieder in Gang setzen. Die Sauerstoffzehrung ist zum größten Teil an das Vorhandensein von Bakterien geknüpft.

Nichtsterilisiertes, destilliertes Wasser zeigt in 72 Stunden nur eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes von 0,04 bis 0,1 ccm pro Liter.

Die Sauerstoffzehrung ist um so größer im Flußwasser, je mehr es mit gut nährenden organischen Substanzen verunreinigt ist. Girardin gibt an, daß der Sauerstoffgehalt von Regenwasser, das man ruhig stehen läßt, abnimmt, ebenso haben Boudet und Girardin 1874 bei Untersuchungen der Seine festgestellt, daß der Sauerstoffgehalt des Seinewassers sich bedeutend verringert an der Einmündungsstelle der Sammelstelle und später allmählich wieder ansteigt und zwar:

Brücke von Asnières oberhalb des Sammelkanals	5,34	O pro L.-W.
Clichy unterhalb des Sammelkanals	4,60	" "
S. Denis, rechter Arm oberhalb des Sammelkanals	2,65	" "
" " " unterhalb " "	1,02	" "
Bézons	1,54	" "
Marly	3,74	" "
Maison Lafitte und Poissy	6,12	" "

Nach Untersuchungen Spittas ergibt sich für das Spree- und Havelgebiet, daß die höchsten O-Gehalte in den reinsten Seegebieten sind, die niedrigsten O-Werte innerhalb der Stadt Berlin, außerhalb Berlins nur an Stellen, wo Stagnation von Schiffen oder Einfluß von Schmutzwässern stattfindet. Das Rheinwasser war bei Untersuchungen Dr. Spittas nirgends mit Sauerstoff gesättigt. Das Sauerstoffdefizit war überall ein gleichmäßiges, 0,5 bis 1,01 ccm pro Liter. König wies durch Versuche eine direkte Oxydation der organischen Stoffe nach. Er ließ verdünnte Jauche in dünner Schicht über dickere Filtermassen fließen, die in einigen Versuchen mit fein verteilten Oxyden, z. B. Manganoxyd oder Gartenerde und nitrifizierenden Bakterien beschickt waren. Aus dem Versuch ergab sich eine direkte Oxydation des Ammoniaks. Beim feinen Ausbreiten über faserigen Stoffen scheint eine Oxydation nicht stattzufinden; beim Vorhandensein von Nitrifikationsbakterien in Gartenerde findet sofort eine lebhafte Nitrifikation statt.

Auch in nicht geimpften Filtern tritt mit der Zeit infolge Zutritts von nitrifizierenden Bakterien auf der filtrierenden Flüssigkeit bzw. aus der Luft Nitrifikation ein, namentlich wenn genügende Mengen von organischen Stoffen vorhanden sind. Die Nitrifikation und weiter überhaupt die Oxydation durch oxydierende Bakterien wird in den Filtern durch fein verteilte Oxyde, z. B. Mangan und Oxyd, unterstützt. Bei der niedrigen Nitrifikation in den Filtern findet ein Verlust von freiem Stickstoff statt. Es wirken also bei Reinigung fauliger NH₃-haltiger Wässer gleichzeitig neben den nitrifizierenden auch denitrifizierende Bakterien mit.

Die Oxydation von Schwefelverbindungen geht wenigstens zum Teil schon allein durch den Luftsauerstoff vor sich. Indes wird dieselbe durch den gebundenen leicht abtrennablen Sauerstoff des Manganoxyds unterstützt; weniger ist dieselbe von Bakterien abhängig.

Ohne Zweifel spielt die direkte Oxydation der organischen Substanzen bei der Selbstreinigung der Flüsse nur eine untergeordnete Rolle; jedenfalls hat man in den Gewässern, die große Mengen organischen und Ammoniak-stickstoff aufnehmen, eine wesentliche Vermehrung an Salpetersäure nicht feststellen können.

Um den Einfluß der Bewegung des Lichtes, des freien Luftzutritts und der Verdunstung auf die Bestandteile des Wassers zu prüfen, hat König Versuche gemacht, in denen das Fließen des Wassers nachgeahmt wurde; und zwar ließ er das Wasser in sanftem Fall eine 2 bis 4 km lange Strecke durch Zinkrohre bzw. Glasrohre fließen. Ebenso um die Wirkung der freien Luft neben Licht und Bewegung zu studieren, in einer ebensolangen offenen Rinne; weitere Untersuchungen wurden mit einem Bach bei Münster an der Aa, welcher die gesamten Abwässer der Stadt aufnimmt, angestellt. Die Versuche ergaben folgendes: Eine Verminderung der gelösten organischen Stoffe beim künstlichen Fließen des Wassers auf 2 bis 4 km ließ sich nicht nachweisen. Nur bei 7 km langem Fließen des natürlichen Aawassers war eine Verminderung der leicht oxydierbaren organischen Stoffe vorhanden, die nicht auf eine Verdünnung des Aawassers durch anderes, reines Wasser zurückgeführt werden kann. Die Bewegung des Wassers als solche ist ohne Einfluß auf die Beseitigung der Verunreinigungsbestandteile. Dagegen nimmt der Ammoniakgehalt beim Fließen unter Zutritt von Licht und Luft sehr stark ab. Diese Abnahme steht in einem gewissen Verhältnis zur Wasser-verdunstung und ist demnach in erster Linie von den meteorologischen Verhältnissen abhängig. Es findet aber gleichzeitig eine Diffusion des flüchtigen Ammoniaks statt. Eine nennenswerte Oxydation des Ammoniaks zu salpetriger Säure und Salpetersäure beim Fließen des Wassers ist kaum erkennbar, dagegen eine leichte Vermehrung der Schwefelsäure.

Aus der Tatsache der Verdunstung und Diffusion gasiger Bestandteile aus einem fauligen Gewässer erklärt König eine Reihe Erscheinungen, für welche bis jetzt eine völlig befriedigende Erklärung fehlte, nämlich, daß in den verunreinigten Gewässern durchwegs keine freie Kohlensäure und nur wenig freies Ammoniak auftritt, daß der Fluß unter Umständen sehr viel organischen Stickstoff aufnehme, ohne daß dieser wieder in Form von Lebewesen oder Salpetersäure zum Vorschein kommt, und daß schließlich die Selbstreinigung der Flüsse im Sommer bei warmem Wetter, ebenso in Flüssen mit starker Stromgeschwindigkeit, in welchem Falle die Verdunstung und Diffusionsverhältnisse sehr günstig sind, viel besser und schneller verläuft, als bei kühler, feuchter Witterung und in Flüssen mit geringer Stromgeschwindigkeit. Bei den Versuchen wurde der Stickstoffgehalt, spez. die Salpetersäure, durch Titration mit einer Lösung von 0,1 g Brucin in 30 ccm Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht von 1,837 bis zur dauernden Rosa-färbung bestimmt. Der Sauerstoffgehalt wird nach Winkler folgendermaßen bestimmt: 100 ccm Wasser werden in einem Erlenmeyerschen Kölbchen von 300 ccm mit 10 ccm $1/100$ normaler alkalischer Chamäleonlösung zersetzt und auf einer Asbestplatte bis zum Aufkochen der Flüssigkeit mit großer Flamme im Kochen erhalten. Dann werden sofort nach Entfernung der Flamme erst 10 ccm verdünnte Schwefelsäure (100 SO₄ : 300 H₂O) und dann sogleich 100 ccm $1/100$ normaler Oxalsäure hinzugegeben. Nach einigen

Minuten, nachdem vollständige Entfärbung eingetreten ist, wird mit KMnO_4 -Lösung bis zur rosenroten Färbung titriert.

Außer der Oxydation findet auch noch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft statt, durch Diffusion, jedoch äußerst langsam. Begünstigend dafür ist die Strömung und Wellenbewegung des Wassers.

Neben der Sauerstoffzehrung findet eine Kohlensäureausscheidung durch Wassertiere und chlorophyllhaltige Pflanzen statt. Dieselbe spielt jedoch nur bei sehr reicher Fauna eine bedeutendere Rolle. Für die Sauerstoffzehrung kommen noch rein chemische Umsetzungen in Betracht, vor allem Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyhydrat und von Schwefelwasserstoff zu Schwefelsäure.

Welchen Einfluß die Oxydation der organischen Verunreinigung auf die Selbstreinigung der Flüsse hat, zeigen die Untersuchungen, die Professor Emmerich an der Isar vornahm. Bei Niederwasser ist in der Isar nirgends etwas von Kot und Schlammbänken zu bemerken. Was die Abnahme des Sauerstoffs betrifft, so beträgt der Sauerstoffgehalt der Isar

bei Großhesselohe oberhalb Münchens	7,9 ccm
bei Föhring	7,6 "
nach Einleitung des Münchener Kanalwassers bei Ismanning	7,4 "
ebenso bei Grüneck	7,4 "
bei Freising	7,1 "

Die Menge der organischen Substanzen in den Suspensia der Isar beträgt	
innerhalb Münchens	4,9 mmg
bei Föhring	1,7 "
nach Einleitung des Kanalwassers bei Ismanning	45,8 "
bei Grüneck	13,0 "
ebenso bei Freising	13,0 "

was zweifellos eine ganz bedeutende Wirkung der Selbstreinigung darstellt.

Da von dem Sauerstoffgehalt des Wassers angeblich der Fischreichtum abhängig ist, haben König und Hämmermeyer über den für das Leben der Fische notwendigen Sauerstoffgehalt des Wassers Versuche angestellt, welche zeigten, daß die Fische, besonders Karpfen, mit einem sehr geringen Sauerstoffgehalt fortleben. Erst bei 0,4 bis 1,4 Volumprozent Sauerstoffgehalt sind die Versuchsfische eingegangen oder erkrankt. Unter natürlichen Verhältnissen im fließenden Wasser wird diese für das Leben der Fische notwendige Sauerstoffmenge noch niedriger liegen. Außerdem wird infolge des raschen Austrages der Gase des Wassers mit denen der überstehenden Luft in einem an freier Luft liegenden oder strömenden Wasser ein Fisch an Sauerstoffmangel nur selten zugrunde gehen. Wenn in einem fauligen Wasser die Fische an der Oberfläche nach Luft schnappen, so liegt dies weniger an dem Sauerstoffmangel, als an sonstigen schädlichen Bestandteilen des Wassers, z. B. an Salzen, Farb- und Geruchstoffen.

Nach der Ansicht Pettenkofers beruht jedoch die Selbstreinigung nicht nur auf Verdünnung, Sedimentierung der Suspensa und Oxydation der organischen Stoffe durch den im Wasser absorbierten Sauerstoff, sondern zum mehr oder minder großen Teil auch auf dem vegetativen Leben im Wasser.

Auch Dr. Löw zählt die Algenentwickelung mit zu den Ursachen der Selbstreinigung; so ist nach seinen Angaben die *Euglena viridis* in jedem Wasser zu finden und nährt sich vorzüglich in faulendem Wasser. Sie ist Temperatureinflüssen gegenüber äußerst widerstandsfähig. Ferner gelingt es, Algen, *Spirogyra nitida*, *Cladophora*, *Oedogonium*, *Oscillaria* in stark fauligen Peptonlösungen in 1 promilligen Methylsulfitlösungen am Leben zu erhalten; bei Ernährung in Methylal läßt sich sogar Längenwachstum beobachten. Besonders günstig gedeihen Algen in Asparaginsäurelösung, ferner in Lösung von Urethan, Glykokoll, Kreatin, Betain- und Neurinsalzen; Coffein, carminsaures Ammoniak kann in den Leibern lebender Algen nachgewiesen werden. Eingehende Untersuchungen über den Einfluß des Planktons, d. i. also das im Wasser treibende Material, an lebenden und toten Pflanzen und Tieren hat Dr. Oskar Spitta über das Plankton der Spree und Havel angestellt.

Das Plankton besteht aus Algen, Diatomeen, niedersten Tieren, Bakterien, Detritus und anorganischen Staubteilen und ist an kalten Tagen geringer wie an warmen.

Das Plankton der Spree und Havel und teilweise des Rheins besteht aus folgendem:

I. Schizomyceen:

Polycyialis aeruginosa, *Merispomedia*.

II. Diatomeen:

Melosira varians, *Diatomeen vulgare*, *Artesionella gracillima*, *fragilaria crotensis et capucina*, *Navicula*, *Surinella*, *Gomphorema*.

III. Chlorophyceen und Phaeophyceen:

Pediastrum boryanum, *Ceratium*, *Volvox Oscillaria*.

IV. Niedere Tiere:

Amoeben, *Paramaecium*, Rotifer, *Chilodon*, *Notolca*, Turbellarien, Rotularien, Daphnien, *Leptodera cyclops*, Milben, kleinen Krebschen u. a.

Die vertikale Verteilung von Algen und Diatomeen ist vom Licht abhängig, wegen der im Sonnenlicht eintretenden erhöhten Sauerstoffproduktion. Die chlorophyllhaltigen Algen steigen bei Tag an die Oberfläche des Wassers, durch die produzierten Sauerstoffbläschen getragen. Die Sedimentierung der Bakterien ist abhängig von den größeren suspendierten Teilchen. Das Plankton ist hervorragend bakterienreich, doch zeigen bloß die Detritusteilchen und das tote organische Material Bakteriennester. Die lebenden Algen und Diatomeen sind bakterienfrei.

Für die Selbstreinigung der Flüsse kommen nur die chlorophyllhaltigen und ähnlich assimilierenden im Wasser treibenden Tierchen in Betracht. Daß phanerogame Pflanzen organische Substanzen aufnehmen können, ist bewiesen. Auch höhere Wasserpflanzen sind dazu imstande und nach den Untersuchungen von Löw und Bokorny auch Algen und Diatomeen. Mit dem Auftreten der Vegetation konnte folgendes konstatiert werden:

1. Das Wasser verlor seinen unangenehmen Geruch,
2. der Sauerstoffgehalt stieg,

3. der Ammoniakgehalt nahm ab, ohne daß sich die Oxydationsstufen des Ammoniaks, nämlich Salpetersäure und salpetrige Säure, gebildet hätten, so daß anzunehmen ist, daß die Algen bei ausgeschlossener Verdunstung des Ammoniaks diesen Stoff aufgenommen und zum Zellaufbau verwendet haben. Im grellen Sonnenlicht stieg der Sauerstoffgehalt in algenhaltigem Wasser auf 23 Prom., bei Lichtabschluß zehren die Algen den Sauerstoffgehalt rasch auf.

Dr. Oskar Spitta erhielt die angegebenen Resultate durch folgende Versuchsanordnung:

Er nahm fünf Glaszyliner, in denen ein Gemenge von 1 Teil Kanalwasser (eine schwärzliche, übelriechende Flüssigkeit mit reichem Sediment) und 13 Teile Leitungswasser gemischt stand und zwar je 15 Liter Gesamtwater. In vier Zylindern war ein Bodengemisch von 4 bis 5 cm Sand bzw. Erde und zwar in jedem Zylinder:

- I. Glas: Sauerstoffabschluß, kein Bodenzusatz,
- II. Glas: Kein Sauerstoffabschluß, Gartenerde,
- III. Glas: Kein Sauerstoffabschluß, Sand,
- IV. Glas: Sauerstoffabschluß, Sand,
- V. Glas: Sauerstoffabschluß, Flußboden.

Aus der Mitte der Zylinder wurden in größeren Intervallen Proben entnommen und auf organische Substanz (Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure), auf Geruch, Farbe, Durchsichtigkeit, Bakteriengehalt, geprüft. Das Verdunstwasser wurde mit steriles destillierten Wasser ergänzt. Die Beobachtung währe acht Monate.

Resultat: Die Wasser in den offenen Zylindern klärten sich rasch, wurden geruchlos, nahmen an Sauerstoffgehalt zu und an Oxydierbarkeit ab. Ammoniak schwand und wurde durch Salpeter- und salpetrige Säure ersetzt. In den offenen Zylindern trat keine Spur von Algenwachstum auf; das Sediment schwand. So war in Glas III nach etwa zehn Wochen reiner Sandboden. In dem IV. Glase mit Sauerstoffabschluß blieb das Wasser trübe, stinkend, der Sauerstoffgehalt stieg nur in geringem Grade. Die Oxydierbarkeit blieb konstant. Ammoniak war immer nachweisbar, niemals dagegen salpetrige Säure und Salpetersäure. Bakterien nahmen nur wenig ab. In allen drei Gläsern mit Sauerstoffabschluß trat, wenn auch zeitlich verschieden, reichliche Algenvegetation auf; es bildete sich ein reichliches Sediment, das in Glas V in deutliche Gärung überging. Kohlensäure war überall reichlich enthalten. Diese Laboratoriumsversuche beweisen, daß Algen in unreinem Wasser gedeihen und dort viel Sauerstoff produzieren, der von den Bakterien jedoch nicht zur Nitrifikation, wohl aber zur Zerstörung anderer organischer Substanzen gebraucht werden kann.

Durch die Algenflora tritt insofern ein Reinigungseffekt auf, als eine Transformation toten organischen Materials in lebendes eintritt. Dieses lebende, neue organische Material verfällt in Kurzem wieder dem Tode und aus den ekelregenden Ausscheidungen und Abfällen sind insofern Veränderungen zustande gekommen, daß wenigstens unsere Sinne nicht mehr beleidigt werden.

Im Experiment wenigstens ist allerdings die Wirksamkeit der Algen und Diatomeen eine langsame. Andererseits können die absterbenden

Pflanzen dadurch zu einer Kalamität führen, daß sie durch eine allzureichliche Entwicklung das Wasser völlig verseuchen können, z. B. *Elodea Canadensis* und *Polycistus aeruginosa*, Wasserblüte. Auch nach König ist den höheren grünen Wasserpflanzen bei der Selbstreinigung der Gewässer ein Einfluß zuzuschreiben, als dieselben imstande sind, ihren Stickstoffbedarf ebenso wie ihren Kohlenstoffbedarf in kohlensäurefreien Lösungen aus organischen Quellen zu decken. Die Mehrzahl der Pflanzen bringt es dabei zu einer bedeutenden Vermehrung der Trockensubstanz. Alle diese großen und kleinen Blattgrün führenden Wasserpflanzen dienen im Lichte als Verbesserer des Sauerstoffgehaltes im Wasser und als Durchlüfter desselben. Außerdem wirken ein großer Teil von Organismen im Wasser als Entfänger, indem sie die zersetzungsfähigen Stoffe teils mineralisieren, d. h. in Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlensäure und Wasser umwandeln und ihnen dadurch die Fäulnistätigkeit nehmen, teils in Leibessubstanz umwandeln und zu ihrem Wachstum verwerten. So entstehen Bakterien, Wimper- und Geißelinfusorien, Rädertiere, Würmer, Insektenlarven u. a. m., die meist nicht absterben, und dadurch zu Herden neuer Verschmutzung werden, sondern von größeren Tieren wieder gefressen werden und dadurch zur Produktion von Fischnahrung führen, wodurch für die Fischzucht ein Erfolg gesichert wird. Ein anderer Teil wandelt sich in Insekten um und wird dadurch dem Wasser entzogen.

Beeinflussend auf den Sauerstoffgehalt und mithin den Reinheitsgrad des Wassers ist die Bestrahlung durch die Sonne, die sowohl belebend auf die Algen und sonstigen chlorophyllhaltigen Wasserpflanzen, abtödend auf die Bakterien einwirkt. Dr. Rapp kommt nach einer Reihe von Versuchen zu folgendem Schluß: Das Sonnenlicht ist bei der Selbstreinigung der Flüsse als ein mächtiger Faktor anzusehen, welcher einerseits die Abtötung von Bakterien bewirkt, andererseits die chlorophyllhaltigen Lebewesen günstig beeinflußt. Die Frage, ob das Licht für die Umwandlung chemischer Körper bei der Flußreinigung ebenso wichtig ist, wird immer so lange unentschieden bleiben müssen, als nicht Methoden gefunden sind, die es in so starken Verdünnungen ermöglichen, einen sichtbaren Nachweis hierüber zu erbringen. Es ist mit höchster Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß alle chemischen Körper vom Lichte, zumal in so starken Verdünnungen, verändert werden. Auch Prof. Buchner schreibt darüber, wenn ein wesentlicher Einfluß des Lichtes auf die Bakterienmenge besteht, so möchte das Ergebnis einen beträchtlichen Unterschied zwischen Tag- und Nachtperiode im Keimgehalt des Flußwassers erkennen lassen, und zu Beginn des ersten bei Sonnenaufgang das Maximum, bei Sonnenuntergang das Minimum des Keimgehaltes des Flußwassers zu erwarten sein. Die Probenentnahme des Wassers erfolgte zum Nachweis dieser Lichtbeeinflussung bei Bad Pullach an der Überfahrt nach Grünwald und zwar von abends 6 Uhr an, während der Nacht in Zwischenpausen bis morgens 8 Uhr. Innerhalb dieser Zeit mußte sich der Lichteinfluß geltend machen, vorausgesetzt, daß die Verunreinigung der Isar während dieser Zeit eine gleichmäßige ist, was ja bei den örtlichen Verhältnissen sicher anzunehmen ist. Es fand sich aber auch eine Zunahme um mehr als das Doppelte während der Nachtzeit.

Isaruntersuchungen bei Pullach.

26. Oktober 1898.

Temperatur		Zeit der Probe-entnahme	Keime pro 1 ccm
Wasser °C	Luft °C		
13,0	8,8	7 ^h 30	146
12,1	7,0	9 30	270
10,5	6,2	5 ^a 00	370
10,2	8,2	8 00	320

28. November 1898.

5,5	3,0	6 ^h 00	266
5,5	2,5	8 00	402
5,5	2,0	2 00	482
5,0	2,0	3 ^a 00	532
4,5	2,5	7 30	400

Wie schon bemerkt, ist auch die Beschaffenheit des Flussprofils und des Bodens von besonderer Bedeutung für den Reinheitsgrad des Wassers.

Die Reinheit des Wassers hat nicht immer ohne weiteres Reinheit des Flussbodens zur Folge, dagegen umgekehrt wirkt eine dauernde Verschmutzung des Wasserlaufes ebenso auf den Flussboden. Die abgelagerten Teilchen bleiben nicht etwa dauernd ruhig am Flussboden der Zersetzung überlassen liegen. Durch die Geschwindigkeit des Stromes, welche am Flussboden eine geringere wie an der Oberfläche ist, geraten die Teilchen in gleitende umwälzende Bewegung, und zwar verschieden nach der Glätte des Bodens. Die durchschnittliche Sohlengeschwindigkeit der Spree z. B. beträgt 10 cm pro Sekunde. Je schneller die Strömung, desto günstiger ist sie für die Beschaffenheit und Reinheit des Bodens.

Die Selbstreinigung des Flussbodens findet fast ebenso statt, wie diejenige des freien Erdbodens, nur daß beim Flussboden die löslich gewordenen Stoffe permanent entleert werden. Die stickstoffhaltigen Stoffe verfallen der Nitrifikation, die Kohlehydrate mit Ausnahme der Zellulose werden zerlegt, die Fette gespalten, zerlegt oder verseift. Auch der Flussboden bedarf zur Oxydation der organischen Substanzen des Sauerstoffs, den er aus dem Wasser bezieht. Bei sehr reichhaltigem organischen Material kann der Sauerstoffgehalt bald verzehrt sein, dann tritt anaerobe Gärung, Fäulnis und Gasbildung auf. Diese anaerobe Arbeit der Schlammmassen durch Bakterien ist von großer Bedeutung für die Zerstörung des Eingeschwemmten. Erst durch diese Gärung, die durch anaerobe Bakterien hervorgerufen ist, wird die Zellulose, die ja einen massenhaften Bestandteil des Schlamms bildet, zerstört. Die Fäulnis und Gasbildung tritt zusammen mit der Schlammbankbildung auf und ist in Ufernähe meist eine stärkere. Es bilden sich dabei als Produkte der Gärung die Gase: Kohlensäure, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Methan (Sumpfgas).

Die Schlammbankbildung ist für die Flussreinigung von größter Bedeutung. Das Wasser laugt die durch Fäulnis entstandenen Stoffe aus und

führt sie fort. Der Schlamm unserer Gewässer wird von zahlreichen Organismen, besonders Wasserregenwürmern, durchwühlt, wodurch er eine lockere Beschaffenheit erhält und den Zutritt von Sauerstoff ermöglicht. Andererseits werden viele Bakterien in den Schlamm sinken und dort einer teilweisen Vernichtung durch Organismen anheimfallen. So sind gewisse Schnecken als gierige Schlammfresser bekannt.

Führt jedoch die Zersetzung am Flußboden bei nicht hinreichender Flußströmung zu ausgedehnteren Schlammbankbildungen, so ist die Grenze der Selbstreinigungsmöglichkeit erreicht. In diesem Falle ist namentlich bei befahrenen Strömen, in denen die Schiffahrt die sich ruhig absetzenden Schlammpartikelchen beständig aufwühlt, von der Selbstreinigung nichts mehr zu erwarten. Der hier eintretenden Kalamität kann nur durch künstliche Nachhilfe, wie Erhöhung des Gefälles und Entfernung der Schlammassen durch Ausbaggern, abgeholfen werden.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers ändert sich entsprechend den Jahreszeiten und den Witterungsverhältnissen. Im Winter ist der Sauerstoffgehalt ein höherer als im Sommer. Das Wasser kann sich im Sommer entsprechend seiner Temperatur weniger mit Sauerstoff beladen. Auch der Barometerstand und wahrscheinlich auch elektrische Einflüsse wirken, wenn auch im geringen Grade, auf den Gaswechsel des Wassers ein. Überhaupt wirken meteorologische Einflüsse auf den Reinheitsgrad der Flüsse in verschiedener Weise. So ist an Regentagen der Unterschied der Verunreinigung durch Sielwasser ein bedeutender gegenüber trockenen Tagen. Es steigt der Wert der Keimzahlen und der Sauerstoffzehrung auf das 10- bis 20fache (Keimzahl 200 000 pro Liter an feuchten Tagen, 16 000 bis 36 000 an trockenen Tagen); die Sauerstoffzehrung beträgt 0,254 ccm pro Stunde und Liter an feuchten Tagen, gegen 0,01 bis 0,05 an trockenen Tagen. Bedingt ist diese Veränderung durch erhöhten Zufuß durch die geöffneten Kanalnotauslässe der verschiedenen Pumpstationen. Doch ist dieser Einfluß der Notauslässe keineswegs ein feststehender und ist sehr abhängig von der Zahl der geöffneten Durchlässe und ihrer gegenseitigen Entfernung. Die oben angegebenen Zahlen sind Maximalunterschiede, die bei der Untersuchung der Spree gewonnen sind, während sich wiederholt fast kein Unterschied zwischen dem Keimgehalt des Spreewassers in geringer Entfernung von dem Notauslaß vor, während und nach dem Speien derselben ergeben hat. Jedenfalls ist die Verunreinigung während des Speiens der Notauslässe eine vorübergehende, die, wie experimentell nachgewiesen, einige Stunden nach dem Schluß der Notauslässe nicht mehr nachweisbar ist (Dr. Spitta).

Interessant ist das Verhalten der Selbstreinigung des Wassers bei Eintritt von Hochwasser.

Für die Isar liegen folgende Verhältnisse vor: Die Schwebestoffe sind bei Hochwasser in größter Menge vorhanden und berechnen sich auf 400 mg pro Liter, röhren dann aber zum größten Teil von mitgerissenem Sand und Ton her. Maßgebend ist daher die Untersuchung derselben nur bei niedrigstem Wasserstand.

Der Keimgehalt des Isarwassers ist bei Hochwasser relativ hoch, während ein niedriger Wasserstand die Zahl wahrscheinlich durch Sedimentierung herabsinken läßt.

An der Elbe fand Andreas Meyer im Jahre 1899 folgendes Ergebnis: Wenn der Strom nach längerem Niederwasser ansteigt, stellt sich mit der eintretenden Trübung auch Vermehrung der Keime ein, die bei weiterem Anstiege oder Dauer des Hochwassers sich wieder vermindert, und bei in Kürze erneuter Hochflut nicht wieder auftritt.

Als Beitrag zur Frage der Selbstreinigung sind einige Untersuchungen von Wert, die Hilsum an einem Schwimmbade in Amsterdam, ebenso Koslik für ein Schwimmbad in Graz und Prof. Kruse für Talsperrenwasser anstellte.

Hilsums Untersuchungen fanden in einem Schwimmbade statt, dessen Wasser unablässig durch frischen Zufluß teilweise ergänzt wurde, während die größeren Verunreinigungen durch einen Überlauf abflossen. Die Proben wurden stets aus 1 m Tiefe und 1 m Abstand von den Wandungen entnommen und mittels Gelatineplattenverfahren untersucht. Es ergab sich regelmäßig in den ersten Tagen nach der Neufüllung des Bassins eine starke Zunahme der Keime, dann wieder eine fast ebenso erhebliche Abnahme. Dasselbe wurde an dem Wasser eines Wannenbades nach dessen Benutzung, und an einer Probe Vechtwassers, welches ohne besondere Vorsorge in einem Kolben aufgestellt war, beobachtet. Diese Selbstreinigung des Badewassers konnte weder mit Lichteinwirkung, noch mit Sedimentierung erklärt werden, da zur Abend- und Morgenzeit entnommene Proben nicht wesentlich unterschieden und das Wasser durch die in dem Badewasser schwimmenden Personen tagsüber fortwährend in Bewegung gehalten wurde. Auch Mangel an Nährmaterial oder Bildung bakterienfeindlicher Stoffe kamen nicht in Betracht. Denn das durch Chamberland-Pasteur-Kerzen gewonnene Filtrat erwies sich auch zur Zeit der Bakterienabnahme als vorzülicher Nährboden für verschiedene Bakterienarten. Ebensowenig genügt der Einfluß der Verdünnung zur Erklärung des Vorganges. Hilsum vermutet, daß es sich um biologische Vorgänge handelt und daß die Bakterien im gegenseitigen Kampf miteinander zugrunde gehen. Zu einem ähnlichen Schlusse kommt Dr. Koslik in Graz, der angibt:

1. Der Bakteriengehalt offener Schwimmbäder ist unabhängig von deren Benutzung. Nach kurz andauernder starker Vermehrung der Mikroorganismen ist eine schnelle Abnahme zu bemerken.

2. Die Ursache dieser Abnahme und des darauf folgenden anhaltend geringen Bakteriengehalts ist zurzeit nicht aufgeklärt. Mangel an Nährstoffen ist ausgeschlossen, Sedimentierung als quantitativ zu gering und kaum in Betracht kommend zu betrachten. Jedenfalls ist die Belichtung bei dem Schwinden von Organismen von Einfluß. Es ist also die Zahl der in dem Wasser eines Schwimmabassins enthaltenen Bakterien als Index für deren Benutzungsfähigkeit nicht verwertbar.

Nach Prof. Kruse erleidet das Oberflächenwasser, das den Talsperren zufließt, Veränderungen in den Staubecken, die es zu einem unverdächtigen Genußmittel machen. Es befreit sich darin von seinen Bakterien, klärt sich von suspendierten Bestandteilen und erfährt einen Ausgleich der Temperatur.

Die Selbstreinigung des Wassers kann bei Hochwasser Störungen unterliegen, die um so weniger ins Gewicht fallen, je weiter die Mündungsstellen der Zuflüsse von der Sperrmauer entfernt sind.

Im übrigen ist es Aufgabe des Technikers, Einrichtungen zu treffen, um den Wasserkörper der Sperrre vor plötzlichen Erschütterungen zu bewahren.

Leider ist durch die bis jetzt angestellten Untersuchungen noch kein endgültiger Überblick über die Frage der Selbstreinigung zu bringen. So fehlen z. B. fast gänzlich Untersuchungen darüber, welchen Einfluß die Flutbewegung und der Wechsel des Salzgehaltes in den Strommündungen (Brackwasser) und in den Seehäfen auf den Reinheitsgrad des Wassers ausübt. Die im Hafen von Kiel und Christiania ausgeführten Untersuchungen über die Verunreinigung derselben berücksichtigen die Selbstreinigungskraft des Wassers nicht.

Aus den bisherigen Untersuchungen ergibt sich als jetzt feststehendes Resultat nur:

Die Selbstreinigung der Flüsse ist von den angegebenen Bedingungen abhängig, an und für sich unbeschränkt und würde zu einer vollkommenen Reinheit der Flüsse führen, wenn dem Wasser genügend Zeit und Raum gelassen wird, von einer Verunreinigungsstelle zur anderen. Kann aber in dichten Industriegegenden eine allzu große und nie aussetzende Verunreinigung stattfinden, so erreicht die Selbstreinigung das gewünschte Maß nicht. Gerade die Abwässer der Fabriken sind für die Flüsse am schädlichsten, und es sind namentlich kleinere Gewässer, wie z. B. die Wupper, Ruhr, Orla, Plesse, Innerste, Saale u. a., deren Wasser den höchsten Grad von Verunreinigung erreicht haben und wo die Grenze der Selbstreinigung erschöpft ist.

Was die Einleitung von Kanalwässern in die Flüsse anbelangt, so empfiehlt Prof. Kruse:

1. Bei einer 15 fachen Verdünnung wird die Einleitung des Sielwassers in einen Fluß stets zu verbieten sein, wenn der Fluß noch einen längeren Weg zu machen hat, bis er von einem größeren Gewässer unschädlich gemacht wird. Nur bei kurzer Strecke und hoher Stromgeschwindigkeit kann die Einleitung gestattet werden.

2. Bei 100 facher Verdünnung ist bei sehr langsam fließenden Strömen die Einleitung von Sielwasser, wegen der voraussichtlich starken Verschlammung, zu untersagen.

3. Bei 1000 facher Verdünnung erfahren weder die suspendierten noch die gelösten Substanzen des Stromes eine Vermehrung. Wenn die gelösten Sink- und Schwimmstoffe vor der Einleitung in den Fluß entfernt und die Kanalmündung soweit in den Fluß hineingelegt wird, daß Schmutz- und Flußwasser schnell und vollständig miteinander vermischt und die Uferverunreinigungen vermieden werden, so kann das Abwasser ruhig eingelassen werden.

Bei der Anlage von Kanaleinlässen soll die Stromgeschwindigkeit genau bekannt sein und nur dann, wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Sielwassers erheblich hinter der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses zurückbleibt, ist eine bleibende Flußverunreinigung völlig ausgeschlossen.

Literatur.

- ¹⁾ Rosenberg, Bernh., Über die Bakterien des Mainwassers. Arch. f. Hyg. V, 1886.
- ²⁾ Rugner, Dr., Beitrag zur Lehre von den Wasserbakterien. Arch. f. Hyg. XI, 1890.
- ³⁾ Röttger, Dr., Die Trinkwasserverhältnisse in Würzburg. Arch. f. Hyg. XII, 1891.
- ⁴⁾ Löv, Dr. O., Zur Frage der Selbstreinigung der Flüsse. Arch. f. Hyg.
- ⁵⁾ Spitta, Dr., Über Flußplankton. Arch. f. Hyg. XXXVIII, 1900.
- ⁶⁾ Derselbe, Arbeiten über Flußverunreinigung. Arch. f. Hyg. XLVI, 1903.
- ⁷⁾ Rubner, Dr., Das städtische Sielwasser und seine Beziehung zur Flußverunreinigung. Arch. f. Hyg. XLVI, 1903.
- ⁸⁾ Müller, Armand, Über die Einwirkung des Lichtes auf Wasser. (Zürich 1874.)
- ⁹⁾ Bokorny, Pflanzenphysiologie, 1897.
- ¹⁰⁾ Bericht des Ausschusses des deutschen Vereins für öffentl. Gesundheitspflege:
a) 17. Versammlung 1891, Leipzig. v. Pettenkofer Antrag: Systematische Untersuchungen über die Selbstreinigung der Flüsse.
- b) 23. Versammlung 1898, Köln. Prof. Dunbar, Hamburg: Die Behandlung städtischer Spüljauche mit besonderer Berücksichtigung der neueren Methoden.
- c) 27. Versammlung 1902, München. Prof. Gärtner: Die hygienische Überwachung der Wasserleitung. Stadtarzt Dr. Petruschky: Über das Vorkommen des Bacterium coli im Flußwasser.
- d) 29. Versammlung 1904, Danzig. Prof. Emmerich, München: Über die Isarverunreinigung.
- ¹¹⁾ Flügge, Dr. Karl, Grundriß der Hygiene.
- ¹²⁾ Girardin, Über den respiratorischen Gaswechsel des Wassers. Compt. rend. 1875.
- ¹³⁾ Grosse-Bohle, Beiträge zur Frage der Selbstreinigung der Gewässer. (Dissertation, Arnsberg 1900.)
- ¹⁴⁾ Frankland Percy, The bacterial purification of water. London 1907, Referat. Hygienische Rundschau VII, 1897.
- ¹⁵⁾ Mayer, Gutachten betreffend die Verunreinigungen der Dresdener Wasserversorgung beim Eintritt der Hochfluten der Elbe. Hygienische Rundschau 1899.
- ¹⁶⁾ Nachtrag zum zweiten Gutachten betreffend die Kanalisierung der Residenzstadt Schwerin (Arbeit aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt Berlin). Hygienische Rundschau 1899.
- ¹⁷⁾ Koslik, Dr. Viktor, Graz, Der Bakteriengehalt des Wassers offener Schwimmbäder. Hygienische Rundschau 1898.
- ¹⁸⁾ Hilsum, Bakteriologische Untersuchung eines Schwimmbades in bezug auf Selbstreinigung. Amsterdam. Hygienische Rundschau 1901.
- ¹⁹⁾ Jordan, The relative abundance of bacillus coli communis in river water as an index of the self-purification of streams. Hygienische Rundschau 1902.
- ²⁰⁾ Mackgill a. Savage, Neutral red in the bacteriological examination of water. Hygienische Rundschau 1902.
- ²¹⁾ Prausnitz, Der Einfluß der Münchener Kanalisation auf die Isar. Hygienische Rundschau XIII, 1903.
- ²²⁾ Derselbe, Über die Bakterien der Straßburger Wasserleitung. Hygienische Rundschau.
- ²³⁾ Winkler, Über die Bestimmung des Reduktionsvermögens natürlicher Wässer. Hygienische Rundschau.
- ²⁴⁾ Kolkwitz, Marsson und Thun, Mitteilung der Königl. Prüfungsanstalt für Wasservorsorgung und Abwasserbeseitigung.
- ²⁵⁾ Kolkwitz, Prof. Dr., Über biologische Selbstreinigung der Gewässer.
- ²⁶⁾ Knaute, Kreislauf der Gase in unseren Gewässern.
- ²⁷⁾ König, Verunreinigung der Gewässer.
- ²⁸⁾ Prausnitz, Der Einfluß der Münchener Kanalisation auf die Isar. II.
- ²⁹⁾ Lustig, A., Diagnostik der Bakterien des Wassers. Jena, U. Turin.

- ³⁰⁾ Schreiber, Dr. Karl, Über den Fettreichtum der Abwässer Berlins und das Verhalten des Fettes in den Rieselfeldern Berlins.
- ³¹⁾ Rapp, Dr., Über den Einfluß des Lichtes auf organische Substanzen mit besonderer Berücksichtigung der Selbstreinigung der Flüsse.
- ³²⁾ Tiemann und Gärtner, Untersuchung und Beurteilung der Gewässer. Braunschweig 1895.
- ³³⁾ Willemer, Einfluß der Schwemmkanalisation auf die Isar.
- ³⁴⁾ Bayer, Die Einleitung von Kaliindustrieabwässern in die Flüsse. Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten XII.
- ³⁵⁾ König, Beiträge zur Selbstreinigung der Flüsse. Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel.
- ³⁶⁾ König und Hämmermeyer, Über den niedrigsten für das Leben der Fische notwendigen Sauerstoffgehalt des Wassers. Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel.
- ³⁷⁾ Kruse, Prof., Beiträge zur praktischen Hygiene: Über Verunreinigung und Selbstreinigung der Flüsse. Zentralblatt für allgemeine Gesundheitspflege 1899.
- ³⁸⁾ Derselbe, Hygienische Beurteilung des Talsperrenwassers. Zentralblatt für allgemeine Gesundheitspflege 1906.
- ³⁹⁾ Zimmermann, Über Bakterien unserer Trink- und Flußwässer insbesondere der Chemnitzer Wasserleitung.
-