

# Hygienische Betrachtungen über den Reinheitszustand der Limmat von Zürich bis Wettingen mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Abwässer der Stadt Zürich.

Von

O. Roth.

(Als Manuskript eingegangen am 1. Mai 1917.)

Die in dieser kurzen zusammenfassenden Arbeit erwähnten Untersuchungen der Limmat wurden im Auftrage der Stadt Zürich im Zeitraume von Ende 1909 bis Herbst 1916 ausgeführt.

Sie verfolgten in der Hauptsache den Zweck den Grad der Verunreinigung des Flusses durch die städtische Kanalisation zu ermitteln, beziehungsweise die Frage zu studieren, ob dieselbe innert den zulässigen Grenzen sich bewege, oder ob Massnahmen nötig seien zur Behandlung der Abwässer vor ihrer Einleitung in den Fluss, speziell für den Fall, dass die direkte Abschwemmung der Schmutzstoffe unter Ausschaltung der bestehenden Abortkübel eingeführt werden sollte.

Neben unsern bakteriologischen Untersuchungen und hygienischen Erhebungen wurde die Verunreinigungsfrage in chemischer Hinsicht von dem städtischen Laboratorium und vom biologischen Standpunkte von Herrn Dr. Huber-Pestalozzi studiert. Die von diesen Herren gefundenen Resultate liegen zurzeit mit den unsrigen und dem technischen Bericht des Herrn Stadtingenieur Wenner über die Einführung der vollständigen Abschwemmung im Anschluss an die Schwemmkanalisation der Stadt Zürich vor den städtischen Behörden.

Ich will nun versuchen, an Hand meines Berichtes die Resultate der hygienisch bakteriologischen Untersuchungen kurz zu skizzieren.

Vorerst seien hier einige Bemerkungen über die grobsinnliche Verunreinigung des Flusses, den Grad der Verdünnung der Kanalabwässer in demselben, sowie über einige verunreinigende Zuflüsse flussabwärts vom Kanaleinlauf vorausgeschickt.

Nachdem die Limmat den See in reinem Zustande verlassen, nimmt sie schon im Gebiete der Stadt wieder eine gewisse Menge von Schmutzstoffen auf, allerdings meist nur stark verdünnte Abwässer, welche den Notauslässen der Kanalisation entstammen, die ausschliesslich bei starken Regenfällen in Tätigkeit treten.

Unterhalb des Platzspitzes ist es die Sihl, welche bei Hochwasser der Limmat erhebliche Mengen von Schmutzstoffen zuführt. Diese sind indessen in der Hauptsache von hygienisch geringem Belange, da sie meist aus erdigen, von der Bodenoberfläche abgeschwemmten Partikeln bestehen. Die Verunreinigung durch die Sihl ist denn auch in der Limmat nur nach starkem Regen deutlich sichtbar.

Viel wichtiger ist der Einfluss der etwa 1,9 Kilometer unterhalb der Wipkinger Brücke auf der linken Flussseite einmündenden städtischen Abwässer. Bis hierher ist die Limmat bei trockenem Wetter ziemlich klar, alsbald aber ändert sich das Bild an dieser Stelle. In dunkelm, trübem Strome wälzen sich die Abwässer an dem Ufer dahin. Sie lassen bei genauerem Zusehen eine erhebliche Menge von Schweb- und Schwimmstoffen erkennen, von denen ein grosser Teil aus gewerblichen Betrieben und aus dem menschlichen Haushalte stammen. Die zeitweise auftretende starke Verfärbung ist auf Färbereiabwässer zurückzuführen. Unter den festen Stoffen sind es besonders kleinere Brocken von Fäkalien, die Beachtung verdienen. Diese zeigen uns, dass solche Dinge von den zwischen Aborte und Kanalisation eingeschalteten Behälter (Kübel, Fosses Mouras u. dergl.) noch nicht vollständig zurückgehalten werden. Wohl aber ist dies für das Papier der Fall, so dass die Verunreinigung des Flusses durch Abortstoffe demjenigen entgeht, der nicht speziell darauf achtet. Die erwähnten Einrichtungen (Kübel etc.) sind also zum mindesten von günstigem Einfluss auf das Aussehen des Flusses und müssten, wenn sie einmal beseitigt werden sollen, durch andere zwischen Hauptkanal und Limmat einzuschaltende Vorrichtungen ersetzt werden.

Für die Beurteilung der Verunreinigung der Limmat ist natürlich sowohl die Menge der eingeleiteten Schmutzwässer — sie betrug im vergangenen Jahre 670—1300 Sekundenliter — als die Abflussmenge des Vorfluters massgebend, mit andern Worten der Grad der Verdünnung, welche das Kanalwasser in dem Flusse nach vollständiger Durchmischung erleidet. Sie dürfte nur selten erheblich unter das 30fache sinken.

Bekanntlich ist wiederholt der Versuch gemacht worden, Normen aufzustellen über das nötige minimale Mass dieser Verdünnung. Eine allgemeine Gültigkeit kann indessen solchen Vorschriften nicht zuerkannt werden, da sowohl die Qualität der Schmutzwässer, insbesondere ihre Konzentration, als auch der Reinheitszustand des Vorfluters vor deren Einleitung in Betracht fällt, sowie eine Reihe anderer Faktoren, wie die Strömungsgeschwindigkeit des Flusses und die Verwendung seines Wassers weiter stromabwärts.

Die Verhältnisse liegen für die Stadt Zürich günstig. Die Limmat wird oberhalb des Sammelkanals nur wenig verunreinigt. Der Wasser-

verbrauch von seiten der Bewohner (300 Kopfliter und mehr pro Tag) ist ein sehr grosser. Das Gefälle des Flusses und die Beschaffenheit seines Bettes treten dem Zustandekommen von Schlammhängen hindernd in den Weg. Ferner finden sich in dem Flusse keine Entnahmestellen von Trinkwasser, da die anliegenden Gemeinden mit Quellwasser versorgt sind; auch Badeanstalten sind zurzeit flussabwärts in einer Entfernung von mehr als 20 Kilometer nicht vorhanden.

Ausser den Kanalwässern der Stadt tragen die Schmutzwässer der zirka 150 Meter oberhalb der Höniggerbrücke gelegenen Kübelwäscherei, in welcher die Abortkübel gereinigt werden, zur Verunreinigung der Limmat bei, ferner die Abwässer der städtischen Gasfabrik in Schlieren und einiger weniger anderer, weiter flussabwärts gelegener Fabriken. Auch verschiedene grössere Ufergemeinden, welche trotz ihres ländlichen Charakters betreffend Kanalisation ziemlich weit fortgeschritten sind, senden Schmutzstoffe, die allerdings vorher teilweise einer Klärung unterzogen werden, in den Fluss.

Alle diese verunreinigenden Faktoren aber treten nach unsern Erhebungen gegen die städtischen Kanalwässer weit zurück.

Wie schon erwähnt, ist die Verschmutzung beim Hauptkanal eine sehr augenfällige. Die Durchmischung des Schmutzwassers der Uferzone mit dem übrigen Flusswasser vollzieht sich nur langsam, und bei der Höniggerbrücke, zirka 600 Meter unterhalb der Kanalöffnung, hat dasselbe erst ungefähr die Mitte des Flusses erreicht. Dies ist besonders deutlich zu sehen, wenn zeitweise grössere Mengen Färbereiabwässer in denselben gelangen, oder wenn versuchsweise schwimmende Körper in den Kanalauslauf geworfen werden. Solche erreichen bei der genannten Brücke die rechte Flusseite nicht. Ähnliche Resultate ergeben auch vergleichende Durchsichtigkeitsbestimmungen mit der Secchischen Scheibe und die Prüfung von an verschiedenen Stellen des Flussprofils entnommenen Wasserproben auf Trübung, Schwebestoffe-, Farbe etc. Auch die an den Brückenpfeilern und den Steinen der linken Flusseite zur Winterszeit in grosser Menge vorhandenen Vegetationen gewisser Wasserpilze (*Sphärotilus*, *Leptomitus*) zeigen deutlich die hier noch ungleichmässige Verteilung der Schmutzstoffe an.

Damit übereinstimmend ist zur selbigen Jahreszeit auch die Besetzung der Wasseroberfläche mit Möven, welche ihre Nahrung aus dem verschmutzten linken Abschnitt des Flusses herausholen.

Eine gründlichere Durchmischung findet erst unterhalb der Höniggerbrücke statt, wo nach und nach auch die augenfällige Verschmutzung

des Flusses auf ein geringes Mass zurückgeführt wird, um dann später in Folge Einleitung von weitem früher erwähnten Abwässern auf kurze Strecken wieder in Erscheinung zu treten.

Es sei speziell bemerkt, dass die Putzfadenwäscherei in Dietikon, welche früher wegen der Verunreinigung des Flusses mit Baumwoll- und andern Fasern zu Klagen besonders aus Fischerkreisen Veranlassung gab, seit einigen Jahren ausser Betrieb ist.

Ausser den genannten nimmt die Limmat in unserm Untersuchungsgebiet zwischen Zürich und Wettingen keine namhaften verunreinigenden Zuflüsse auf.

Über das Vorgehen bei unsern bakteriologischen Untersuchungen<sup>1)</sup> sei folgendes bemerkt:

Da dieselben hauptsächlich den Zweck verfolgten, den Einfluss der Zürcher Kanalwässer zu ermitteln, wurden in erster Linie Proben oberhalb und unterhalb des Kanaleinlaufes entnommen. Meist geschah dies von der Wipkinger- und der Hönggerbrücke aus. Auf dieser Teilstrecke nimmt die Limmat allerdings, wie schon erwähnt, die Schmutzwässer der Abortkübelwäscherei auf, welche aber, wie sich bei speziellen bakteriologischen Untersuchungen zeigte, eine im Verhältnis zu den Kanalwässern geringe Verschmutzung des Flusses bedingen.

Als dritte Hauptuntersuchungsstelle dienten uns die Brücken (Strassenbrücke und Eisenbahnbrücke) beim Kloster Wettingen, zirka 18 Kilometer unterhalb der Hönggerbrücke. Hier sollte der Grad der Selbstreinigung des Flusses untersucht werden, was weiter flussabwärts nicht mehr möglich war, da bald wieder eine nicht unerhebliche Verunreinigung der Limmat stattfindet.

An den drei genannten Hauptuntersuchungsorten (Wipkinger-, Höngger- und Wettingerbrücke) wurden jeweilen an verschiedenen (bis zu 9) Stellen des Flussprofils Proben entnommen, so dass wir auch an Orten, wo die Verteilung der Schmutzstoffe eine sehr ungleichmässige war, vergleichbare Resultate erhielten. Die Zeit der Entnahme an den verschiedenen Stellen flussabwärts wurde so gewählt, dass auf die Strömungsgeschwindigkeit möglichst Rücksicht genommen wurde.

Die Probenahme geschah, um den Einfluss einer Verunreinigung von der Erdoberfläche aus möglichst auszuschliessen, in den allermeisten Fällen bei trockenem Wetter und niederem Wasserstand von Sihl und Limmat.

<sup>1)</sup> Diese wurden unter meiner Leitung von den Herren Dr. Lahrman, Dr. Sulzer, Dr. v. Carpine und schliesslich von meinem jetzigen Assistenten, Herrn Bättig, ausgeführt.

Die Anlegung der Kulturen erfolgte kurze Zeit nach der Entnahme der Proben, oft an Ort und Stelle.

Ausser den Keimzahlen, die uns einen Einblick gestatten in die Verunreinigung des Flusses mit Schmutzstoffen überhaupt, wurde auch der Anwesenheit des Bakterium coli, speziell des sogenannten Warmblütercoli, in weitgehendem Masse Beachtung geschenkt, eines Mikroben, der bekanntlich bei zahlreichem Vorkommen in einem Gewässer wichtige Schlüsse in bezug auf Einleitung von Fäkalien und die Möglichkeit von Infektionen mit gewissen Krankheitserregern, besonders zur Zeit von Epidemien, zulässt.

Dieser Colinachweis wurde teilweise nach der etwas modifizierten Methode von Petruschky und Pusch (Colititer), teilweise nach derjenigen von Marmann durchgeführt, welche darin besteht, dass kleine abgemessene Mengen Wasser auf Endoagar (Agar mit Zusatz von Milchzucker, Fuchsin und Natriumsulfit) gebracht und die typisch rot gefärbten Colikolonien direkt gezählt werden.

Sowohl die quantitativen als die letztgenannten qualitativen Untersuchungen wurden, um Zufälligkeiten tunlichst auszuschliessen, möglichst oft wiederholt.

Natürlich ist es bei dem geringen Raume, der mir in dieser Festschrift zur Verfügung steht, nicht möglich, ausführlich auf die gewonnenen Resultate einzugehen. Ein kurzes Resumé und einzelne Beispiele mögen genügen, um die bakterielle Verunreinigung der Limmat zu kennzeichnen.

Aus den Keimzählungen geht hervor, dass gelegentlich schon bei Wipkingen, also vor dem Kanaleinlauf, eine nicht unerhebliche Verunreinigung des Flusses stattfindet.

Die Zahl der Keime pro cc betrug zum Beispiel

am	Linkes Ufer	Links d. Mitte	Mitte	Rechtsd. Mitte	Rechtes Ufer
3. Dez. 1909	53 600	40 000	2400	6200	28 000
7. „ „	45 800	23 800	7800	3600	11 600
12. Jan. 1910	20 400	12 600	7400	8200	20 000

Diese Befunde sind, wie wir eruieren konnten, mit der temporären Einleitung von Schmutzstoffen auf beiden Flussseiten in Zusammenhang.

Bei andern Untersuchungen waren die Keimzahlen hier sehr viel geringer, was eben daraus zu erklären ist, dass die Einleitung von Schmutzstoffen nur zeitweise stattfindet.

Der bedeutende Einfluss des Hauptsammelkanales auf den bakteriellen Zustand des Flusswassers am linken Ufer ist aus folgenden, an verschiedenen Tagen gewonnenen Resultaten deutlich zu ersehen:

am	50 Meter oberhalb Kanal	150 Meter unterhalb
11. November 1909	7 900 Keime	500 000
23. „ „	10 200 „	361 000
15. Dezember „	20 800 „	220 000

  

am	Direkt oberhalb Kanal	10 Meter unterhalb Kanal	Zirka 500 Meter unterhalb Kanal
22. Sept. 1913	4395 (205)	104 100 (4942)	54 820 (1425)
25. „ „	2717 (208)	369 700 (16,000)	60 400 (2013)

Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Keime von *Bakterium coli*.

Auch an der Hönnggerbrücke lässt sich die starke Verschmutzung am linken Ufer noch sehr deutlich an den Keimzahlen erkennen. Ihre Verteilung über das Flussprofil mögen folgende Zahlen von 4 verschiedenen Tagen illustrieren:

Linkes Ufer	Links der Mitte	Mitte	Rechts der Mitte	Rechtes Ufer
66 400	54 600	20 000	12 800	11 400
91 200	30 800	26 000	12 600	18 800
66 800	34 400	16 400	6 000	5 800
130 000	120 600	27 600	5 300	—

Diese Zahlen bestätigen in sehr deutlicher Weise, dass sich die eingeleiteten städtischen Schmutzstoffe hier noch nicht gleichmässig über die Flussbreite verteilt haben, indem die rechte Flussseite viel niedrigere Zahlen aufweist als die linke.

Der Grad der Verunreinigung des gesamten Flusses lässt sich natürlich nur aus den Mittelzahlen des betreffenden Flussprofils beurteilen.

Wenn wir die Mittel der Resultate von 33 verschiedenen Untersuchungstagen vergleichen, so kommen wir zu dem Schlusse, dass die jeweiligen am gleichen Tage gewonnenen Keimzahlen bei der Hönnggerbrücke durchschnittlich 6 mal, im Maximum über 19 mal höher sind als bei der Wipkingerbrücke.

Zwischen Hönng und Wettingen tritt eine Verminderung der Bakterienzahlen auf (Selbstreinigung), die sich aber namentlich wegen der mehrerwähnten unreinen Zuflüsse dieser Flussstrecke nicht so regelmässig verfolgen lässt. Aus einer grösseren Zahl Untersuchungen an diesen beiden Orten geht hervor, dass die Keimzahlen bei Wettingen an den betreffenden Tagen durchschnittlich auf die Hälfte der bei Hönng gefundenen heruntergegangen waren.

Vergleichen wir dagegen die bei Wipkingen, also oberhalb des Kanaleinlaufes gefundenen Zahlen mit denen bei Wettingen, so ergibt sich eine dreifache durchschnittliche Zunahme. Nur in 2 Fällen ist

der Bakteriengehalt an letzterem Orte annähernd auf denjenigen bei Wipkingen zurückgegangen.

Wenn wir das Ergebnis unserer Keimzählungen mit den Resultaten früherer bakteriologischer Limmatwasseruntersuchungen, welche im Jahre 1889 von Schlatter und 1898/99 von Thomann ebenfalls unter Leitung des Verfassers ausgeführt wurden, vergleichen, bemerken wir, dass die Verunreinigung des Flusses seitdem zugenommen hat.

Währenddem nun damals ausschliesslich Keimzählungen angestellt wurden, wird heute, wie schon erwähnt, ein grosser Wert gelegt auf den Nachweis des Bakterium coli commune. Ich lasse hier die Resultate einiger unserer diesbezüglichen Untersuchungen folgen, welche zugleich die vorzügliche Eignung des Eingangs beschriebenen Marmann'schen Verfahrens für den Nachweis von Fäkalverunreinigungen eines Gewässers dartun sollen. (Die Resultate der Colititerbestimmungen nach Petruschky müssen hier übergangen werden.)

Den Colizahlen sind in der folgenden Zusammenstellung zum Vergleich auch die Keimzahlen der betreffenden Untersuchungsstellen beigefügt:

		Wipkingerbrücke		Hönggerbrücke		Wettinger-Eisenbahnbrücke	
		Colizahl	Keimzahl	Colizahl	Keimzahl	Colizahl	Keimzahl
29. Okt. 1913	Links	133	4620	4346	31 633	200	13 113
	Mitte	100	2115	2313	18 620	146	12 607
	Rechts	60	1147	460	5 727	213	13 730
20. Sept. 1915	Links	150	4300	2050	35 442	400	10 050
	Mitte	150	4800	850	23 135	150	9 750
	Rechts	150	3900	250	6 150	250	10 733
18. März 1916	Links	435	7500	1715	21 700	305	6 900
	Mitte	200	2133	520	9 600	335	5 000
	Rechts	140	2533	225	4 435	390	4 666

Aus dieser Zusammenstellung lässt sich sehr deutlich die Zunahme der Colizahlen zwischen Wipkingen und Höngg und ihre Abnahme zwischen Höngg und Wettingen ersehen. Besonders instruktiv ist die Verteilung der Colibakterien über das Flussprofil bei Höngg.

Diese Colibefunde stehen auch mit den Keimzahlen unserer Untersuchungen, speziell mit denjenigen der oben genannten Tage im Einklang.

Am 22. und 25. September 1913 oberhalb und unterhalb der Kanalmündung gefundene Colizahlen siehe vorige Seite.

Auf die zahlreichen Untersuchungen der kleinern verunreinigenden Zuflüsse unterhalb der Hönggerbrücke, Gasfabrik und Riedgraben, Kanalisation Dietikon, Reppisch, Furtbach können wir nicht näher

eingehen. Es sei nur erwähnt, dass einzig die Abwässer der Gasfabrik und der Riedgraben unterhalb Schlieren zu einer streckenweise erheblichen bakteriellen Verunreinigung des Flusses führen.

Die im städtischen Laboratorium ausgeführten chemischen Untersuchungen, auf die mit einigen Worten einzugehen ich nicht unterlassen möchte, ergeben ebenfalls eine starke, ungünstige Beeinflussung des Reinheitszustandes der Limmat nach der Einmündung des Abwasserkanals, welche sich in der Erhöhung der Oxydierbarkeit und des Gehaltes an freien und albuminoiden Ammoniak, sowie des Chlors äussert.

Flussabwärts nehmen diese Werte zusehends ab, allerdings nicht ganz regelmässig, da auch sie wie unsere Keimzahlen stellenweise durch Einläufe von kleinern Schmutzwasserkanälen, z. B. jene der Gasfabrik, deutlich beeinflusst werden.

Bei Wettingen ist auch die chemische Verunreinigung stark zurückgegangen, aber nicht vollständig behoben.

Die biologischen Untersuchungen ergeben deutliche Zeichen der Verschmutzung unterhalb des Kanaleinlaufes (Leitorganismen, Sphaerotilus natans etc.), die sich auf der linken Flussseite, auch an der Hönngerbrücke noch finden.

Eine weitere Verunreinigung wird auch bei diesen Untersuchungen unterhalb der Gasfabrik konstatiert. Bei Dietikon macht sich dieselbe kaum mehr geltend, und an der Wettingerbrücke war ein bedeutender Grad der Reinheit des Flusswassers nachzuweisen.

Wenn wir die sämtlichen hier nur bruchstückweise aufgenommenen Resultate unserer Erhebungen und bakteriologischen Untersuchungen zusammenfassen, so kommen wir zu nachstehenden Schlussfolgerungen von praktisch hygienischem Interesse:

Limmat und Sihl werden schon im Gebiete der Stadt, wenn auch nicht in erheblichem Masse, verunreinigt.

Eine sehr starke Verschmutzung des Flusses findet bei der Mündung der städtischen Kanalisation statt, eine sehr viel geringere etwas flussabwärts bei der Kübelwäscherei.

Die Schmutzwässer mischen sich infolge der Einleitung am Ufer nur langsam mit dem Limmatwasser und können an der linken Flussseite schon bei oberflächlicher Betrachtung bis unterhalb der Hönngerbrücke verfolgt werden.

Eine Geruchsbelästigung liess sich zur Zeit unserer Untersuchungen nur auf verhältnismässig kurzer Strecke unterhalb des Kanaleinlaufes

nachweisen, in grösserer Distanz nur ausnahmsweise infolge Schlamm-  
bankbildungen bei niederem Wasserstand.

Viel weiter als die grobsinnlichen Verunreinigungen lassen sich die bakteriellen flussabwärts verfolgen. Selbst in Wettingen sind Keim- und Colizahlen höher, zeitweise in erheblichem Masse, als oberhalb der Einleitung der Zürcher Abwässer. Hiezu mögen allerdings auch die Schmutzwässer der Zuflüsse unterhalb Zürich beitragen, aber in viel geringerem Masse als die städtischen Schmutzstoffe. Der Einfluss derselben schwindet jeweilen flussabwärts bald wieder.

Die heute noch zwischen Aborte und Kanalisation eingeschalteten Abortkübel, Fosses Mouras und dergleichen halten einen Teil der Schwimm- und Sinkstoffe zurück und tragen immerhin zur Hebung des ästhetischen Aussehens der Limmat bei. Ein Teil der festen Stoffe geht aber doch in den Fluss.

Die Beseitigung dieser Fäkalbehälter in den Häusern wäre ganz besonders vom bauhygienischen Standpunkt zu begrüssen. Ihre Einführung war in früheren Zeiten wohl gerechtfertigt. Den Anforderungen, die wir heute an eine Kanalisation stellen müssen, entsprechen sie in verschiedener Hinsicht nicht mehr.

Die Notwendigkeit der Erstellung einer modernen Reinigungsanlage zwischen Kanalisation und Vorfluter ist nicht zu bezweifeln, erst recht dann nicht, wenn die erwähnten Kübeleinrichtungen einmal eliminiert werden.

Dass mit einer solchen zeitgemässen Anlage in bezug auf Reinhaltung der Limmat weit mehr geleistet werden kann als mit den bestehenden Einrichtungen, wird niemand bestreiten, der die Erfahrungen kennt, welche mit modernen Klärverfahren an andern Orten gemacht wurden.

Auf die Wahl desselben kann, ohne den schwebenden Beratungen vorzugreifen, nicht eingetreten werden. Es sei nur erwähnt, dass von dem Herrn Stadttingenieur bereits bestimmte Vorschläge gemacht wurden.

Aus unsern Erhebungen und bakteriologischen Untersuchungen sowohl, als aus den chemischen und biologischen Prüfungen geht allerdings hervor, dass die Limmat noch nicht zu den hochgradig verunreinigten Gewässern gehört. Doch ist es, wie die teilweise fatalen Erfahrungen in andern Ländern gelernt haben, nirgends nötiger, den Anfängen zu wehren als auf dem Gebiete der Flussverunreinigung. Die Stadt Zürich mit ihren sonstigen mustergültigen Sanierungsbestrebungen darf auch in dieser Beziehung nicht zurückbleiben.

Zürich, Ende April 1917.