

# Die Beurteilung des Einflusses städtischen Abwassers auf einen Vorfluter mittelst chemischer, bakteriologischer und biologischer Methoden am Beispiel der Limmat

Autor(en): **Waser, E. / Blöchliger, G. / Waser, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène**

Band (Jahr): **28 (1937)**

Heft 3

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-982893>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

(0—5%) aussi bien pour le produit pulvérisé que pour le produit non divisé. Si le flacon n'est pas rempli ou n'est pas hermétiquement bouché, la perte peut atteindre 62% lorsque la quantité conservée est inférieure à 20 g.

Il est impossible de tirer des conclusions plus serrées de ces essais à cause de la variation des doses conservées, des différences de grandeur des flacons, et du mode de fermeture des récipients (bouchons de liège, bouchons rodés, couvercles de tôle vissés).

3. Le meilleur mode de conservation est de renfermer la drogue dans un flacon hermétiquement bouché et de remplir si possible le récipient. Il est entendu que la drogue ne se conservera bien que si elle est bien sèche et bien conditionnée.

## Die Beurteilung des Einflusses städtischen Abwassers auf einen Vorfluter mittelst chemischer, bakteriologischer und biologischer Methoden am Beispiel der Limmat.

Von Prof. Dr. E. WASER und Dr. G. BLÖCHLIGER.

(Mitteilung aus dem Laboratorium des Kantonschemikers des Kantons Zürich,  
Vorstand: Prof. Dr. E. Waser.)

### 1. Literatur.

Die beiden klassischen Bücher der Untersuchungsmethodik sind: Ohlmüller-Spitta, Untersuchung und Beurteilung des Wassers und Abwassers (Berlin 1931) und H. Klut, Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle (Berlin 1931). Daneben sind an neueren und neuesten Vorschriften-Sammlungen, die zum Teil noch im Ausbau begriffen sind, zu nennen: Standard methods for the examination of water and sewage (New York 1925); Einheitsverfahren der physikalischen und chemischen Wasseruntersuchung, Verlag Chemie, Berlin, 1936.

### 2. Allgemeines.

Will man den Einfluss von Abwasser auf irgendeinen Vorfluter kennen lernen, so ist die Untersuchung so anzulegen, dass nicht nur alles in den Vorfluter eingeleitete Abwasser, sondern auch der Vorfluter vor und nach stattgefunder Verunreinigung genau untersucht werden. Zweckmässigerweise wird der Vorfluter auch in weitem Abständen von den Verunreinigungsquellen untersucht, um festzustellen, ob seine Selbstreinigungskraft ausreicht, die ihm übergebenen Abwasser-Schmutzstoffe ohne Fäulnis-Erscheinungen oder dergleichen abzubauen und restlos zu mineralisieren.

Der Erfolg einer Untersuchung, bzw. die Möglichkeit einer Beurteilung überhaupt hängt sehr weitgehend von der richtigen Anlage der Probenahmestellen und von der einwandfreien Entnahme und Behandlung der Proben ab.

Es muss auch ausdrücklich betont werden, dass die genaue Beobachtung der örtlichen Verhältnisse bei allen Probenahmen die Untersuchung der Proben im Laboratorium auf das wertvollste ergänzt und deshalb nie ausser acht gelassen werden darf.

Da die verschiedenen Eigenschaften (Temperatur, Wasserführung, Fliessgeschwindigkeit, Zusammensetzung usw.) sowohl des Abwassers, wie insbesondere des Vorfluters ständig wechseln, ist es für die Abgabe eines möglichst objektiven Urteils nötig, möglichst häufig und möglichst viele Proben zu verschiedenen Jahreszeiten, wie zu verschiedenen Tageszeiten, sowohl werktags wie Sonntags zu fassen und nach den im folgenden zu schildernden Methoden zu untersuchen. Es ist gewiss sehr schön, sogenannte Feinanalysen der Wasser- und Abwasserproben durchzuprüfen, allein diese Art der Untersuchung ist ausserordentlich zeitraubend und eignet sich wohl mehr für wissenschaftliche Zwecke. Der Zeitaufwand, der bei Feinanalysen nötig ist, ist meist auch die Ursache, dass nur relativ wenige Proben untersucht werden, sodass bei der Auswertung derselben unter Umständen recht verhängnisvolle Fehlschüsse eintreten können. Wir haben bei allen unsern bisherigen Untersuchungen (Glatt, Aabach, Töss, Eulach, Limmat, Zürichsee) stets danach getrachtet, möglichst viele Einzelproben unter wechselnden äusseren Verhältnissen zu erheben, um dadurch einwandfreie Durchschnittswerte zu erhalten. Selbstverständlich ist es mit der Auswertung der Durchschnittswerte nicht getan, sondern es ist oft noch wichtiger, zu wissen, wie gross die Streuung der Einzelwerte sein kann und unter welchen Umständen nicht nur die günstigsten, sondern insbesondere die ungünstigsten Verhältnisse eintreten können.

Aeusserst wichtig ist, dass alle derartigen Untersuchungen nach einem vorher genau durchdachten Plan und nach einem bis ins Detail gehenden Programm durchgeführt werden, wobei man sorgfältig darauf zu achten hat, dass bei der Erhebung und Untersuchung der Proben alles Notwendige bis ins kleinste genau beobachtet und im Protokoll eingetragen wird. Die Probenahmen erfolgen nicht selten unter schwierigen Umständen, sodass es angebracht ist, dem Rate Ohlmüller-Spitta's zu folgen und sich sogar ein Schema zum Einzeichnen aller Daten herzustellen, die sonst vergessen würden und nachträglich nur noch mit grosser Mühe oder auch gar nicht mehr rekonstruiert werden können.

Die Probenahme soll nicht nur die Wasseroberfläche umfassen, sondern bei tiefen Gewässern auch verschiedene Wasserschichten bis zum Grund. Je nach der Grösse des Vorfluters wird man bei einem Fluss beispielsweise die Proben aus der Flussmitte ergänzen durch solche von beiden Ufern. Selbstverständlich ist auch dem Fluss- oder Seegrund die volle Aufmerksamkeit zu schenken und überall dort, wo sich Schlamm-Ablagerungen finden, müssen selbstverständlich ebenfalls Proben erhoben werden, deren Zahl indessen nicht so gross zu sein braucht wie diejenige der Wasserproben, da sich die Zusammensetzung des Schlammes weniger rasch ändert.

### 3. Physikalische Prüfungsmethoden der Wasserproben.

An Ort und Stelle haben wir bei der Probenerhebung festgestellt:

- a) Durchsichtigkeit mit der Sichtscheibe von Secchi oder mit der Snellen-schen Schriftprobe;
- b) Farbe;
- c) Geruch;
- d) Temperatur in grösseren Tiefen mit Kippthermometern oder mit elektrischen Widerstandsthermometern.

Im Laboratorium wurden geprüft:

- e) Filtrationsgeschwindigkeit. Je stärker ein Wasser durch hoch-molekulare kolloide Schmutzstoffe verunreinigt ist, desto langsamer geht es unter gleichen Bedingungen durch ein Filter, sodass der Grad der Verschmutzung auch auf diese Weise qualitativ in Erscheinung tritt;
- f) Aussehen der Filtrerrückstände (analog Milchschnitzproben).

Es ist selbstverständlich, dass bei jeder Probenerhebung die Lufttemperatur, der Barometerstand, die Witterung und die Wasserführung bzw. der Pegelstand beobachtet und notiert werden müssen.

### 4. Chemische Untersuchungsmethoden der Wasserproben.

Hier steht eine ausserordentlich grosse Anzahl von verschiedenen Methoden zur Verfügung, sodass der Neuling häufig nicht weiss, welche Methoden für bestimmte Zwecke die geeignetsten sind. Bei unsern bisherigen Untersuchungen und im speziellen bei der Limmat haben wir folgende Methoden kombiniert:

- a) Bestimmung der Reaktion mit dem Folienkolorimeter nach Wolff;
- b) Bestimmung des Sauerstoffgehaltes nach der Methode von Winkler.

Für die Beurteilung der Selbstreinigungskraft eines Vorfluters sind diese und die folgenden Methoden äusserst wichtig. Wir haben deshalb zwischen die Erhebung von Proben für die allgemeine Untersuchung noch sehr häufige Probenerhebungen eingeschaltet, welche ausschliesslich dazu dienen, Sauerstoffgehalt, Sauerstoffzehrung und biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 und in mehr Tagen zu ermitteln.

- c) Bestimmung der Sauerstoffzehrung des Wassers in 48 Stunden.
- d) Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs in 5 Tagen nach der Verdünnungsmethode;
- e) Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs in 20 Tagen nach der Verdünnungsmethode.

Die Bestimmung der Sauerstoffzehrung in 48 Stunden, die von *Spitta*<sup>1)</sup> eingeführt wurde, gibt bekanntlich Aufschluss darüber, ob in einem Wasser viel oder wenig leicht abbaufähige Schmutzstoffe vorhanden sind, zu denen

<sup>1)</sup> *Spitta*, Archiv für Hygiene, **38**, 257 (1900).

in erster Linie die Kohlenstoffverbindungen zu rechnen sind. Die Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs in 5 oder in 20 Tagen ergibt den Gehalt eines Wassers an leicht und an schwer abbaufähigen Schmutzstoffen. Die Differenz aus den erhaltenen Werten gibt ungefähr an, wieviel schwer zersetzliche Stoffe in einer Wasserprobe enthalten sind. Als solche sieht Adeney hauptsächlich die Stickstoffverbindungen an.

Besonders wichtig ist nach der Ansicht von Spitta die Bestimmung der Sauerstoffzehrung in 48 Stunden, die sich sehr einfach und ohne grossen Zeitverlust durchführen lässt. Die Vorgänge beim Abbau der organischen, gelösten Abwasserstoffe zeigen nämlich deutlich 2 Abschnitte<sup>2)</sup>; im ersten ist der Sauerstoffverbrauch zur Mineralisation sehr gross, er umfasst etwa 2—3 Tage; im zweiten Abschnitt verläuft die Zehrung viel langsamer. Meistens tritt der Sauerstoffhöchstverbrauch innerhalb der ersten 24 Stunden auf. Man kann in der Regel damit rechnen, dass durch die Sauerstoffzehrung etwa 35—40% des gesamten Sauerstoffbedarfes in Anspruch genommen werden; der biochemische Sauerstoffbedarf in 5 Tagen ist rund 65—75% des gesamten, in etwa 20 Tagen benötigten Sauerstoffbedarfs und somit meist etwa das Doppelte der Sauerstoffzehrung.

Stellt man andererseits in einem Abwasser die Zehrung und den Sauerstoffbedarf fest, so ist es möglich, aus dem gefundenen Wert, aus der Wasserführung des Vorfluters und aus seinem Sauerstoffgehalt annähernd zu ermitteln, wie weit seine Sauerstoffbilanz durch die Einleitung des betreffenden Abwassers beeinflusst wird, und man kann annähernd feststellen, ob der Vorfluter in der Lage sein wird, die Abwasserschmutzstoffe aufzuarbeiten, ohne selbst Schaden zu leiden.

Es ist gefährlich, in dieser Beziehung allgemeine Normen aufstellen zu wollen, wie hoch etwa die Sauerstoffsättigung, bzw. das Sauerstoffdefizit sein dürfen, wie niedrig die Zehrung und der biochemische Bedarf an Sauerstoff sein sollten usw., denn die Verhältnisse wechseln von Ort zu Ort so stark, dass die örtlichen Verhältnisse meist in dominierender Weise in den Vordergrund treten und eine richtige Beurteilung nur unter weitgehender Rücksichtnahme auf diese lokalen Faktoren möglich ist.

f) Bestimmung des Kaliumpermanganatverbrauches nach der Methode Kubel-Tiemann.

Durch diese Methode wird die «Oxydierbarkeit» eines Wassers, mit anderen Worten sein Gehalt an oxydierbaren Stoffen bestimmt. Da die oxydierbaren Stoffe sowohl anorganischer wie auch organischer Natur sein können und da durch die Bestimmung nichts über die Molekulargrösse der oxydierten Materie ausgesagt wird, kann sie nur als approximativ angesehen werden. Nach Spitta ergibt die Methode durchaus ähnliche Werte wie die Bestimmung der Sauerstoffzehrung; der Vergleich verschiedener Werte desselben Vorfluters hat immerhin erheblichen informativischen Wert. Bei der Untersuchung des Zürichsees verzichten wir auf diese Methode.

<sup>2)</sup> *Weldert*, Stadtentwässerung in Deutschland, II, S. 525 (1934).

*g)* Prüfung der Fäulnisfähigkeit mit Methylenblau bei 37° nach Spitta und Weldert;

*h)* Bestimmung der relativen Haltbarkeit<sup>3)</sup> (relative stability der Standard methods).

Die erste Prüfung ist mehr qualitativer, die zweite Bestimmung mehr quantitativer Natur; beide geben aber erwünschte Anhaltspunkte über den Zustand eines Vorfluters und ergänzen die bisherigen Methoden in sehr erwünschter Weise.

*i)* Bestimmung der Chloride titrimetrisch nach der Methode von Mohr;

*k)* Bestimmung der Nitrite.

Gewöhnlich wird zuerst qualitativ mit Jodzinkstärkelösung geprüft und bei positivem Ausfall kolorimetrisch mit Naphtionsäure und  $\beta$ -Naphtol.

*l)* Bestimmung der Nitrate.

Beträgt der Gehalt an Nitrit weniger als 3 mg/L, erfolgt die Bestimmung kolorimetrisch mit Hilfe von Diphenylaminschwefelsäure, bei höheren Gehalten dagegen kolorimetrisch mit Hilfe von Brucin.

*m)* Bestimmung des Ammoniaks. Kolorimetrisch mit Nessler's Reagens;

*n)* Bestimmung der Schwebestoffe (Filtrerrückstand);

*o)* Bestimmung der gelösten Stoffe (Trockenrückstand des Filtrates);

*p)* Bestimmung der organischen Stoffe (Trockenrückstand, Glührückstand);

*q)* Bestimmung der Härte.

Durch die Ermittlung der gelösten und ungelösten Stoffe, des Glührverlustes und ferner durch die Bestimmung von Ammoniak, Nitriten und Nitraten und von gebundenem Chlor ist man imstande, einesteils die absolute Höhe der Verunreinigung eines Vorfluters festzustellen, andererseits das Fortschreiten der Selbstreinigung zu verfolgen. Die Menge der organischen Stoffe, des Ammoniaks, der Nitrite erfährt bei normaler Selbstreinigung eine stetige Abnahme, während andererseits die Menge des gefundenen Chlors, der Nitrate und der mineralischen Stoffe bei fortschreitender Mineralisation zunimmt.

*r)* Prüfung auf Phenole<sup>4)</sup>.

Diese Prüfung ist insbesondere dort angebracht, wo z. B. Kokerei- und Gasfabrikabwasser eingeleitet wird.

## 5. Bakteriologische und biologische Untersuchung der Wasserproben.

Diese Art der Untersuchung von Gewässern kann unter Umständen schon allein ein zuverlässiges Bild über den Verschmutzungsgrad geben. Viel besser ist aber die Vereinigung des mit diesen Methoden gewonnenen Bildes mit demjenigen aus den physikalischen und chemischen Untersuchungs-

<sup>3)</sup> s. a. Die Glatt, Berichte der Schweiz. botanischen Gesellschaft, **43**, 273 (1934).

<sup>4)</sup> Ausführliche Beschreibung der Methode und Apparatur in «Vom Wasser», Bd. **3**, S. 206 ff. (1929).

ergebnissen insbesondere, weil dadurch Zufälligkeiten, die bei jeder Untersuchung unterlaufen können, weitgehend ausgeschaltet werden, sodass der wirkliche Zustand des Vorfluters und der Verlauf der Selbstreinigung mit grosser Genauigkeit festgestellt werden können.

Die *bakteriologische Untersuchung* beschränkte sich bei der Limmat auf

- a) Bestimmung der Keimzahl mittelst Gusskulturen von Agar bei 20° und
- b) Bestimmung der Traubenzucker vergärenden Bakterien bei 37° (Methode Freudenreich).

Die Bakterien, welche die einem Vorfluter übergebenen organischen Schmutzstoffe zu einfachsten Verbindungen abbauen (Mineralisation), können als sehr scharfes Reagens auf solche Stoffe angesehen werden; die Höhe der Keimzahl lässt auf den Grad der Verschmutzung schliessen. Dabei muss allerdings gesagt werden, dass auch in dieser Zahl kein absolutes Mass für den Grad der durch eingeleitetes Abwasser verursachten Verschmutzung vorliegt, da die meisten Vorfluter durch den in ihnen sich abspielenden Stoffwechsel von Pflanzen und Tieren auf natürliche Weise mehr oder weniger stark verunreinigt werden. Zu der natürlichen Verunreinigung sind auch die vom Land her zugetragenen zersetzungsfähigen Stoffe (Laub, Pollen, Staub, Organismen usw.) zu rechnen.

Die Bestimmung der Traubenzucker vergärenden Bakterien (Darmbakterien aus der Gruppe des *Bact. coli*) ermöglicht den Nachweis der Zufuhr von häuslichem Abwasser in einem Vorfluter.

Mit der *biologischen Methode* prüft man die Beschaffenheit eines Vorfluters nach der Art der einzelnen im Wasser vorkommenden pflanzlichen und tierischen Lebewesen, wie auch nach dem biologischen Gesamtbilde; sie entspricht der ökologischen Wasseranalyse von Wilhelmi. Die vollständige Systematik und Untersuchung ist allerdings in der Mehrzahl der Fälle nicht möglich und auch nicht notwendig. Da nicht alle Pflanzen und Tiere auf die Aenderung ihrer Lebensbedingungen (Anreicherung des Wassers mit Nährstoffen durch häusliches Abwasser, Sauerstoffschwund durch Abbau organischer Substanz usw.) gleich rasch, gleich stark und eindeutig reagieren, ist es begreiflich, dass bei einer praktischen Zwecken dienenden Untersuchung nur diejenigen Organismen berücksichtigt werden können, die ökologisch wichtig und charakteristisch sind und die im Sinne der klassischen Arbeiten von Kolkwitz, Marsson u. Helfer diagnostischen Wert besitzen<sup>5)</sup>. Es ist von Nutzen, wenn man ausser den eigentlichen Lebensgemeinschaften auch einzelne Organismen als Leitformen zur Beurteilung heranzieht, wobei selbstverständlich die Häufigkeit ihres Vorkommens massgebend berücksichtigt werden muss.

<sup>5)</sup> s. z. B. *Waser* und *Blöchlinger*, Untersuchungen an der Limmat, Schweiz. Fischerei-Zeitung, 1933, Nr. 6.

## 6. Untersuchung des Bodenschlammes.

Sehr grosse Bedeutung für die Beurteilung des Verunreinigungsgrades eines Vorfluters (Fluss oder See) kommt der Analyse der abgelagerten Schlammstoffe zu. Schlamm wird natürlich nur an mehr oder weniger ruhigen Stellen eines Flusses abgelagert; sobald die Fliessgeschwindigkeit zu gross wird, was bei Hochwasser meist der Fall ist, wird der einmal abgesetzte Schlamm wieder aufgewirbelt und fortgeführt. Die Schlammuntersuchung in physikalisch-chemischer Richtung erstreckte sich auf folgendes:

- a) Struktur;
- b) Farbe, Geruch, Konsistenz;
- c) Reaktion (Lakmus und  $p_H$ );
- d) Wassergehalt.

Es wird sowohl der Trockenrückstand wie auch das sogenannte Haftwasser oder schlammeigene Wasser bestimmt. Durch die letztere Bestimmung erhält man einen Einblick in den Gehalt des Schlammes an hochmolekularen, kolloiden Substanzen, die verhältnismässig viel mehr Wasser zu «binden» vermögen als die niedrig-molekularen Stoffe.

- e) Gehalt an organischer Substanz (Glühverlust);
- f) Prüfung auf Fäulnisfähigkeit (Methylenblauprobe nach Spitta) nach Verdünnung mit Wasser;
- g) Gasungsfähigkeit.

Bestimmung der während längerer Aufbewahrung des Schlammes bei Zimmertemperatur entwickelten Menge Faulgas. Auch durch diese Methode erhält man einen Einblick in die Zusammensetzung und insbesondere in die Gefährlichkeit eines Schlammes.

Diese Untersuchungsmethoden könnten noch ergänzt werden durch die Bestimmung der Fäulnisfähigkeit wie auch einzelner Bestandteile (Eisen, Schwefelwasserstoff usw.) des Schlammes.

- h) Biologische Untersuchung der Schlammproben.

Die Untersuchung erfolgt nach ähnlichen Grundsätzen, wie sie oben beim fliessenden Wasser beschrieben wurden. Besonders wichtig ist für die Beurteilung des Verschmutzungsgrades das Auftreten von azoischen Schlammablagerungen, in denen überhaupt keine höhern Lebewesen auftreten.

Es ist nicht uninteressant, darauf hinzuweisen, dass die Direktion des Gesundheitswesens des Kantons Zürich in Vollziehung einer Verordnung betreffend die Reinhaltung der Gewässer vom 1. Juni 1881 folgende Ansätze als zur Zeit massgebend erklärte: «Es soll, von der Eintrittsstelle aus gemessen, in einer Entfernung von 50 m bei fliessenden, von 100 m bei stehenden Gewässern in 1 L des Wassers nicht mehr enthalten sein als:

- a) so viele gelöste oder suspendierte organische Substanz, dass dieselbe etwa 60 mg Kaliumpermanganat reduziert;
- b) 2 mg eines der Gesundheit nachteiligen Metalles wie Blei, Kupfer usw. als lösliche Verbindung<sup>6)</sup>;



- c) 0,05 mg Arsen (als Element berechnet) in irgendeiner Form;
- d) 1 mg sogenanntes aktives Chlor (beim Ansäuern mit Schwefelsäure freiwerdend);
- e) 1 mg Schwefel in der Form von Schwefelwasserstoff oder als lösliches oder durch Kohlensäure zersetzliches Sulfid;
- f) so viel freie Säure, dass zu deren Neutralisierung nicht mehr als 10 cm<sup>3</sup> Normalalkali nötig sind;
- g) so viel Alkali, als durch 10 cm<sup>3</sup> Normalsäure neutralisiert wird;
- h) so viel färbende Substanz, dass das Wasser, in einer Schicht von 10 cm Tiefe in ein weisses Gefäss gebracht, bei Tageslicht eine bestimmte Farbe nicht mehr zeigt.

Heute verlangen wir ausserdem, dass das Wasser geruch- und geschmacklos sein soll, dass es nicht nur «appetitlich» und zum Bade einladend aussehen soll, sondern dass es auch in andern Beziehungen ohne Gefahr von Gesundheitsschädigungen zum Baden benützt werden kann. Es soll ferner ohne allzugrosse Reinigungsmassnahmen auch als Brauchwasser für gewerbliche und industrielle Zwecke verwendet werden und schliesslich nicht nur den allergewöhnlichsten, sondern auch edleren Fischarten zum Aufenthalt dienen können.

### 7. Die Limmat.

Wie die Beurteilung eines Vorfluters nach diesen Grundsätzen vorgenommen werden kann, sei nun am Beispiel der Limmat kurz erörtert<sup>7)</sup>.

Die Limmat war schon in früheren Jahren der Gegenstand sehr eingehender Untersuchungen, die sich insbesondere mit dem Einfluss der Abwässer der Stadt Zürich befassten. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, seien die folgenden Arbeiten genannt:

1. Schlatter, Der Einfluss des Abwassers der Stadt Zürich auf den Bakteriengehalt der Limmat, Z. f. Hygiene und Infektionskrankheiten Bd. 9, S. 56 (1890).
2. J. Thomann, Untersuchungen über den gegenwärtigen Stand der Verunreinigung der Limmat durch die Abwässer der Stadt Zürich. Z. f. Hygiene und Infektionskrankheiten Bd. 33 (1900); Diss. Zürich 1900.
3. A. Bertschinger, die Abwässer der Stadt Zürich und deren Einfluss auf die Limmat. Zürich 1902/03.
4. G. Huber-Pestalozzi, Bericht zuhanden des Stadtrates von Zürich über biologische Untersuchungen des Limmatwassers. Zürich, Genossenschaftsdruckerei 1916.
5. W. Fehlmann, Selbstreinigung der Gewässer und die biologische Reinigung städtischer Abwässer. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich 1916.

<sup>6)</sup> *Klut* würde nicht höher gehen als 0,5 mg Blei je L.

<sup>7)</sup> Die ausführliche Wiedergabe und Besprechung der Untersuchungsergebnisse erfolgt an anderem Orte.

6. O. Roth, Hygienische Betrachtungen über den Reinheitszustand der Limmat von Zürich bis Wettingen, mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Abwässer der Stadt Zürich. Festschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich 1917.
7. P. Steinmann und G. Surbeck, Die Wirkung organischer Verunreinigungen auf die Fauna fliessender Gewässer. Bern 1918.

Die Limmat bildet den Abfluss des Zürichsees (406,0 m ü. M.). Sie durchfliesst zuerst die Stadt Zürich in fast geradlinigem Laufe und legt später unter vielen Windungen zwischen Molassehügeln eine Strecke von ungefähr 27 km bis Baden (Kanton Aargau) und von insgesamt 36,4 km bis zu ihrer Einmündung in die Aare zurück (326,3 m ü. M.).

Um den Talboden vor den vielen Hochwassern des wilden und ausserdem durch die Sihl beeinflussten Gewässers besser zu schützen, ist die Limmat etwa seit 1880 bis in die Gegend unterhalb Oetwil (ungefähr 18 km weit) korrigiert. Sie besitzt heute eine Sohlenbreite von 50 m, steinernen Uferschutz und wo dies wegen des niederen Ufergeländes nötig ist, wie etwa zwischen Schlieren und Dietikon, ist sie mit Dämmen eingefasst<sup>8)</sup>. Von hier an besass die Limmat bis zum Beginn des Aufstaus bei Wettingen den Charakter eines Wildbaches mit sehr starker Strömung und steilen Ufern.

Von den 22 Reinwasserzuflüssen, welche in die Limmat einmünden, besitzen die meisten keine Bedeutung. Zu erwähnen sind nur die beiden grössten: die Sihl und die Reppisch. Die Sihl bringt bei stärkeren Niederschlägen rasch Hochwasser mit sehr viel lehmhaltigem Material. Die mittlere Jahresabflussmenge beträgt 13 m<sup>3</sup>/s. Sie mündet innerhalb der Stadt Zürich in die Limmat ein und verleiht ihr oft ein stark trübes Aussehen bis zur Einmündung in die Aare. Diese Verschmutzung ist für die Limmat insofern nicht von Bedeutung, als sie lediglich aus mineralischen Stoffen besteht.

Die Reppisch mündet linksseitig bei Dietikon (15,0 km) in die Limmat, sie ist durchaus harmlos.

Ausser diesen Zuflüssen nimmt die Limmat eine grössere Anzahl (31) Drainageleitungen, Strassendolen und Schmutzwassergräben auf, wovon die wichtigsten ausser dem in der Kläranlage Werdhölzli vorgereinigten Abwasser der Stadt Zürich die Abwassergräben der Gemeinden Schlieren und Dietikon sind.

Die Wasserführung der Limmat beträgt bei

Niedrigwasser	30 m <sup>3</sup> /s
Mittelwasser	100 m <sup>3</sup> /s
Hochwasser	300 m <sup>3</sup> /s
höchstem Hochwasser	735 m <sup>3</sup> /s <sup>9)</sup>

<sup>8)</sup> J. Früh, Geographie der Schweiz, Bd. III, S. 181 (1935). Ueber die Grundwasser- verhältnisse orientiert am besten das Werk von J. Hug und A. Beilick, Die Grundwasser- verhältnisse des Kantons Zürich, Zürich 1934, S. 79, ff.

<sup>9)</sup> 15. VI. 1910.

Besonders wichtig ist, dass sowohl die Limmat wie auch ihr wichtigster Nebenfluss, die Sihl, im Winter, wenn in den Bergen Frost herrscht, nur sehr wenig Wasser führen. Sobald die Schneeschmelze und die Frühlingsregen einsetzen, steigt die Wassermenge in beiden Flüssen oft innerhalb weniger Tage sehr stark an. Im Herbst, insbesondere in den Monaten September und Oktober ist die Wasserführung im allgemeinen sehr klein.

Das Gefälle der Limmat beträgt rund 80 m, im Durchschnitt als 0,22%. Die zur Verfügung stehende Wasserkraft wurde aber bis zum Jahre 1933 nur durch wenige Kraftwerke einiger Textilbetriebe ausgenutzt. Diese kleinen Kraftwerke bedingten auch nur eine unbedeutende Herabsetzung der Wassergeschwindigkeit, die bei einer Wasserführung von 50 m<sup>3</sup>/s etwa 0,825 m/s betrug, während sie bei 120 m<sup>3</sup>/s auf ungefähr 1,25 m/s anstieg. Durch diese hohen Geschwindigkeiten, die verhältnismässig geringe Wassertiefe und durch 2 grössere und viele kleine Stromschnellen und Abstürze von Stauwehren war eine gute und kräftige Durchmischung und Durchlüftung des Limmatwassers gewährleistet.

Diese Verhältnisse haben seit Anfang Juni 1933 durch den Bau eines grossen Kraftwerkes von 135 Mio kWh Jahresleistung durch die Stadt Zürich bei Wettingen (24,1 km), im Kanton Aargau eine tiefgreifende Veränderung erfahren. Zum Betrieb des Kraftwerkes wurde die Limmat durch eine 20 m hohe Staumauer auf eine Länge von 9,1 km, d. h. bis unterhalb der Reppischmündung bei Dietikon aufgestaut. Der entstandene Stausee hat eine Oberfläche von rund 1 km<sup>2</sup> und einen Inhalt von rund 6,2.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Der Stausee wurde nicht etwa gebaut, um die Selbstreinigung der Limmat zu verbessern oder um Wasser zu speichern, sondern er dient lediglich zur Gewinnung des für den Betrieb des Kraftwerkes erforderlichen Gefälles. Die Wasseroberfläche und damit die sauerstoffübertragende Grenzschicht ist im Vergleich zum Wasservolumen gegenüber früher sehr wesentlich zusammengeschrumpft.

Die Veränderungen, welche in der Beschaffenheit des Limmatwassers und im Stoffwechsel des Flusses durch diesen Aufstau hervorgerufen werden können, sind nicht nur für den Betrieb des Kraftwerkes, sondern insbesondere für die am Stausee und weiter flussabwärts wohnenden Benutzer des Wassers von grosser Tragweite. Aus diesem Grunde erhielten wir von Kanton und Stadt Zürich gemeinsam den Auftrag, die Qualität des Limmatwassers vor und nach dem Aufstau während einer genügend langen Zeit zu untersuchen und zu ermitteln, in welchem Masse die der Limmat zugeführten Abwässer den Vorfluter belasten und ob diese Abwässer eventuell in vermehrtem Masse gereinigt werden müssen.

Die Untersuchung<sup>10)</sup> wurde so angelegt, dass die Limmat 1 Jahr vor und 1 Jahr nach Beginn des Aufstaus an 10 Stellen vom Seeausfluss bis

<sup>10)</sup> Der chemische Teil der Untersuchung wurde von Dr. ing. W. Husmann, der bakteriologische und biologische Teil von Dr. G. Blöchliger durchgeführt.

unmittelbar unterhalb der Staumauer an möglichst vielen Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten untersucht wurde. Das erste Untersuchungsjahr dauerte vom 1. Dezember 1931 bis zum 30. November 1932. Dann musste eine halbjährliche Zwischenuntersuchung eingeschaltet werden, da die Stauung nicht wie vorgesehen Ende 1932, sondern erst Anfang Mai 1933 beendet war. Das zweite Untersuchungsjahr dauerte vom 1. Juni 1933 bis zum 31. Mai 1934.

Die Probenahmestellen wurden so angelegt, dass sie die Untersuchung des reinen, aus dem Zürichsee ausfliessenden Limmatwassers, der Verschmutzung desselben durch die verschiedenen Abwassereinläufe inner- und unterhalb der Stadt Zürich und der Gemeinden Schlieren und Dietikon und der fortschreitenden Selbstreinigung des Vorfluters erlauben sollten. Die Proben wurden sowohl von der linken wie von der rechten Flusseite und in der Regel auch von der Flussmitte entnommen, sodass bei jeder Probenahme insgesamt mindestens 22 Proben gefasst wurden. Die Probenahmestellen waren, in der Flussrichtung des Wassers aufgezählt, im ersten Untersuchungsjahr und zum Teil auch im zweiten Jahr die folgenden:

1. Quaibrücke Zürich. Seeausfluss (0 km). Da das Wasser über das ganze Profil dieselbe Zusammensetzung aufweist, genügt 1 Probe von der Mitte der Brücke aus.
- 2.—4. Wipkingerbrücke (3,40 km). Nachdem die Limmat den grössten Teil der Stadt Zürich durchflossen und insbesondere auf der rechten Seite eine Reihe von Hochwasserentlastungen und auf der linken Seite die Sihl aufgenommen hat.
- 5.—7. Hönggerbrücke (5,74 km). Oberhalb dieser Brücke befindet sich auf der linken Flusseite der Hauptregenauslauf der städtischen Kanalisation.
- 8.—10. Städtisches Gaswerk in Schlieren (8,43 km). Wenige 100 m oberhalb dieser Probenahmestelle befindet sich auf der linken Flusseite der doppelte Auslauf der städtischen Kläranlage im Werdhölzli, in welcher fast das gesamte Abwasser der Stadt Zürich einer mechanischen Klärung unterzogen wird (s. später). An den auf der linken Seite erhobenen Wasserproben (8) musste sich daher erstmalig die Einwirkung dieses Abwassers auf die Wasserqualität der Limmat zeigen. Die Probe Nr. 9 wurde in der Mitte, die Probe Nr. 10 auf der rechten Flusseite entnommen. Da hier keine Brücke vorhanden war, wurden die Proben von einem Schiff aus gefasst.
- 11.—13. Limmatbrücke bei Unter-Engstringen (9,74 km). Etwas unterhalb der Ausläufe des städtischen Gaswerkes in Schlieren. Die auf der linken Seite erhobenen Proben (Nr. 11) sollen den Nachweis der in die Limmat gelangenden phenolhaltigen Abwasser ermöglichen.

- 14.—16. Brücke Industriestrasse bei Punkt 392,9 (11,20 km). Die Probenahmestellen dienen zur Untersuchung über die Verteilung des zugeführten Abwassers über das ganze Flussprofil und über den Fortschritt der Selbstreinigung.
17. Wehrbrücke in Dietikon (13,71 km). Diese Probenahmestelle musste verschiedentlich um ein geringes verlegt werden, da sich das Stauwehr für das Elektrizitätswerk des Kantons Zürich in Dietikon im ersten Untersuchungsjahr im Umbau befand. Es wurde aber stets darauf Rücksicht genommen, Wasserproben zu fassen, die einem Wasser von mittlerer Zusammensetzung entsprachen. Als im Oktober 1932 die Umbauten beendet waren, wurde nicht nur 1 Probe, sondern es wurden 3 Proben vom linken und rechten Ufer und von der Flussmitte gefasst.
- 18.—19. Limmatbrücke beim Bahnhof Killwangen (20,0 km). Wegen der Schmalheit des Flussprofils genügten hier 2 Proben von beiden Seiten des Flusses, um das Fortschreiten der Selbstreinigung zu kontrollieren.
20. Stauwehr beim Kraftwerk Wettingen (24,1 km). Auch diese Probenahmestelle musste während des ersten Untersuchungsjahres öfters verlegt werden, da hier naturgemäss lebhaftere Bautätigkeit herrschte.
- 21.—22. Wehrbrücke in Damsau (25,33 km). Diese beiden Stellen wurden zur Abrundung des gesamten Untersuchungsbildes angelegt. Die eine Probe (Nr. 21) wurde in einem kleinen Werkskanal, die andere (Nr. 22) aus der offenen Limmat entnommen. Weiter fussabwärts erfolgt sehr bald wieder eine frische Verunreinigung der Limmat durch die Abwasser von Wettingen und Baden, deren Untersuchung aber nicht zu den Aufgaben dieser Arbeit gehört.

Im zweiten Untersuchungsjahr wurden die ersten 17 Probenahmestellen unverändert beibehalten. An der Wehrbrücke in Dietikon wurden stets 3 Proben gefasst. Da es sehr wichtig schien, die Aenderung der Wasserqualität in dem neuen Stausee genau zu verfolgen, wurden dort die folgenden Probenahmestellen angelegt:

Reppischeinmündung (15,0 km). 1 Probe von der Flussmitte, Oberfläche.

Spinnerei Oetwil a. d. L. (16,8 km). In der Flussmitte 1 Probe von der Oberfläche und 1 Probe aus 4 m Tiefe.

Im Händli (zwischen Oetwil u. Würenlos) (18,7 km). In der Flussmitte von der Oberfläche beginnend in Abständen von 4 m bis zum Grund (3 Proben).

Brücke beim Bahnhof Killwangen (20,0 km). Auf der linken und rechten Flussseite von der Oberfläche beginnend in Abständen von 4 m bis zum Grund (2×3 Proben).

Einmündung des Furtbaches (20,73 km). Von der Flussmitte aus wie oben (4 Proben).

Neuenhof (22,0 km). Von der Flussmitte aus wie oben (4 Proben).

Zwischen zweitem und drittem Mast der Hochspannungsleitung oberhalb der Staumauer (ca. 23,8 km) von der Flussmitte aus wie oben (5 Proben).

Staumauer Wettingen (24,1 km). Von der Mitte der Mauer aus wie oben, d. h. in Abständen von 4 m bis auf den Grund (6 Proben).

Damsau (25,33 km). 1 Probe auf der linken Seite.

Die Proben auf dem Stausee wurden mit Hilfe eines Bootes gefasst.

Im ersten Untersuchungsjahr wurden an 64 verschiedenen Wochentagen zu verschiedenen Tageszeiten Proben gefasst, im zweiten Untersuchungsjahr betrug die Zahl der Probenahme 24. Die in den folgenden Ausführungen wiedergegebenen Jahresdurchschnittswerte gründen sich also auf eine erhebliche Anzahl von Einzelbestimmungen und können Anspruch darauf machen, den tatsächlichen Verhältnissen sehr nahe zu kommen.

Ausser den Wasserproben wurden selbstverständlich auch Schlammproben an allen denjenigen Stellen erhoben, wo sich überhaupt Schlamm ablagern konnte. Dies war insbesondere im zweiten Untersuchungsjahr im Stausee der Fall; in dieser Periode wurden auch Messungen über die Menge des zur Absetzung gelangten Schlammes angestellt.

Sämtliche erhobenen Proben wurden nach genau festgelegtem Programm<sup>11)</sup> chemisch, bakteriologisch und biologisch untersucht und selbstverständlich auch der an den Probenerhebungstagen herrschenden Witterung, dem Aussehen des Vorfluters und sonstigen Begleitumständen volle Aufmerksamkeit geschenkt.

Besondere Bedeutung wurde stets der Ermittlung des Sauerstoffgehaltes, der Sauerstoffzehrung nach 48 Stunden und dem biochemischen Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen geschenkt, da man aus dem Verhalten dieser Werte äusserst wichtige Rückschlüsse auf Beschaffenheit des Vorfluters ziehen kann.

Die hauptsächlichste Verschmutzungsquelle der Limmat ist das Abwasser der Stadt Zürich. Oberfläche rund 3300 ha (33 km<sup>2</sup>); von den ca. 300 000 Einwohnern sind 235 000 an die Kanalisation, die in der Kläranlage Werdhölzli mündet, angeschlossen. Die mittlere Abwassermenge beträgt pro Tag 130 000 m<sup>3</sup> = 1,5 m<sup>3</sup>/s, doch sind Schwankungen bis auf das 1<sup>1/2</sup>-fache recht häufig, und die Abwassermenge sinkt von morgens 8 Uhr bis abends 8 Uhr nie unter 1,6 m<sup>3</sup>/s. Die Aufenthaltsdauer des Abwassers in den Absetzbecken beträgt demnach durchschnittlich etwa 45 Minuten, wenn aber der Abwasserzufluss auf 2 m<sup>3</sup>/s steigt, sinkt diese Zeit auf etwa 37 Minuten.

Nach der von uns ermittelten Absetzkurve setzen sich nach 30 Minuten 78%, nach 60 Minuten 87% der absetzbaren Stoffe ab. Nach unsern

<sup>11)</sup> *E. Waser* und *W. Husmann*, Untersuchungen an der Limmat, I.: Jahrbuch «Vom Wasser», Bd. 6, S. 343 (1932), *E. Waser* und *G. Blöchli*, Untersuchungen an der Limmat, II.: Schweiz. Fischerei-Zeitung, Jahrg. 1933, Nr. 6.

Untersuchungen, die sich über 1 Jahr erstreckten, ergibt sich infolge verschiedener Umstände ein mittlerer Kläreffekt von nur 77%. Durch verschiedene Verbesserungen konnte der Kläreffekt auf 84% heraufgesetzt werden. Die Menge der absetzbaren Stoffe schwankt von 1—7 cm<sup>3</sup>/L und beträgt im Mittel nach unsern Messungen im Jahr 1932 ca. 6 cm<sup>3</sup>/L, heute, nach den Angaben der Kläranlagedirektion noch 5 cm<sup>3</sup>/L. Im ganzen wurden der Limmat 1932 1,42 cm<sup>3</sup>/L absetzbare Schlammstoffe übergeben; diese Menge ist heute auf 0,65 cm<sup>3</sup>/L herabgedrückt.

Die Schlammstoffe bestehen im Mittel zu 67,6% aus organischem Material; dazu kommen natürlich noch die echt- und kolloidgelösten Schmutzstoffe des Abwassers, das sich nach Angaben der Kläranlage zu ungefähr 61% aus eigentlichem Schmutzwasser, zu 16% aus industriellem Abwasser und zu 23% aus Bach-, Grund- und Sickerwasser zusammensetzt.

Aus den Kurven über die Sauerstoffzehrung und den biochemischen Sauerstoffbedarf ergibt sich sehr deutlich die Auswirkung dieses Abwassers auf den Vorfluter im ungestauten, rasch fliessenden Zustand.

Die primäre Verschmutzung der Limmat ist begleitet von einer nicht weniger erheblichen sekundären Verschmutzung durch das massenhafte Auftreten von Abwasserpilzen, die sowohl als Ufer- und Sohlenbelag wie auch als treibende Pilzflockenmassen in Erscheinung treten.

Es ist aus den Kurven, welche den Verlauf der Jahresmittelwerte aus 64 Proben darstellen, ersichtlich, dass die Limmat mit der Mineralisation der ihr übergebenen Abwasserschmutzstoffe bis zu dem Punkte, an dem sich im zweiten Untersuchungsjahr die Staumauer erhebt, bei weitem nicht fertig wird, denn der beim Ausfluss aus dem Zürichsee vorhandene Reinheitszustand wird noch nicht erreicht. Man kann sagen, dass dies hinsichtlich der Sauerstoffbilanz des Wassers so lange keine Gefahren mit sich bringt, als die Limmat ein schnell fliessendes und intensiv durchlüftetes Gewässer bleibt.

In der Tat zeigt sich bei Betrachtung der Jahresmittelwerte aus dem zweiten Untersuchungsjahr nach beendigtem Aufstau der Limmat, dass die Gefahren jetzt recht gross geworden sind.

In erster Linie haben wir festgestellt, dass im zweiten Jahr die primäre und sekundäre Verschmutzung der Limmat ungefähr gleich gross war wie im ersten Jahr.

Durch den Aufstau wurde die früher auf der ganzen Strecke schnell fliessende Limmat in 2 vollkommen verschiedene Vorflutarten aufgeteilt, und zwar

- a) in ein schnell fliessendes, stark durchlüftetes Gewässer von etwa 15 km Länge und
- b) in einen langsam durchflossenen Stausee von rund 9 km Länge.

Im Gebiet der schnell fliessenden Limmat (bis zur Wehrbrücke in Dietikon) werden die der Limmat zugeführten Schmutzstoffe im Selbst-

reinigungsprozess nicht aufgearbeitet, sodass das Limmatwasser beim Einfließen in den Stausee noch stark durch sauerstoffzehrende, abbaufähige Stoffe verunreinigt ist.

Im Gebiet des langsam durchflossenen Stausees müssen bezüglich der Aufarbeitung der Abwasserschmutzstoffe und der fortschreitenden Selbstreinigung im Laufe eines Jahres 3 Zeitabschnitte unterschieden werden:

a) Periode 1: Juni und Juli. Die Limmat führt im allgemeinen viel Hochwasser mit ziemlich hohen Wassertemperaturen. Verdünnungsverhältnis 1:80—1:120. Die Aufarbeitung der Schmutzstoffe ist sehr gut und ist an der Staumauer sehr weit fortgeschritten, wenn nicht sogar fast beendet. Immerhin wird dabei der Sauerstoffgehalt merklich herabgesetzt, hält sich aber noch in so hohen Werten, dass für das biologische Leben in diesem Zeitabschnitt des Jahres keine Gefahr besteht.

b) Periode 2: August und September. Die Limmat führt im allgemeinen wenig Wasser; die Wassertemperaturen sind sehr hoch. Das Verdünnungsverhältnis wird sehr ungünstig und sinkt auf 1:25—1:40 herunter.

Es findet im Stausee eine schnelle und intensive Umsetzung und Verarbeitung der Abwasserschmutzstoffe statt, wobei aber ein starker Sauerstoffverbrauch zu konstatieren ist. Da der Sauerstoffentzug weder durch sauerstoffhaltiges Verdünnungswasser, noch durch Sauerstoffproduktion der Grünpflanzen, noch durch Sauerstoffaufnahme von der Oberfläche aus hinreichend ersetzt wird, so kann dieser Sauerstoffmangel beim Eintritt ungünstiger Verdünnungsverhältnisse zur Gefährdung und sogar zur Vernichtung des biologischen Lebens im Stausee führen.

In dieser Periode muss die Limmat an der Staumauer in Wettingen als ein mit Abwasser überlasteter Vorfluter angesprochen werden.

c) Periode 3: Oktober bis Mai. Die Wasserführung geht während des Winters meist noch weiter zurück, sodass die Verdünnungsverhältnisse noch ungünstiger werden (1:20—1:30). Da aber gleichzeitig auch die Wassertemperatur schnell absinkt, sodass die biologischen Umsetzungen viel langsamer und in weniger grossem Umfange vor sich gehen, ist die Gefahr für einen völligen Entzug des Sauerstoffes nicht gross. Immerhin ist die Limmat an der Staumauer Wettingen mit Abwasserstoffen sehr stark verunreinigt.

Die Untersuchung und Auswertung der Sauerstoffverhältnisse wird durch die Bestimmung des Kaliumpermanganatverbrauchs, der Chloride, der Stickstoffbilanz usw. auch im zweiten Untersuchungsjahre ergänzt und bestätigt.

Fasst man die chemischen, bakteriologischen und biologischen Mittelwerte des zweiten Jahres zusammen, so ergeben sich folgende **Schlussfolgerungen**:

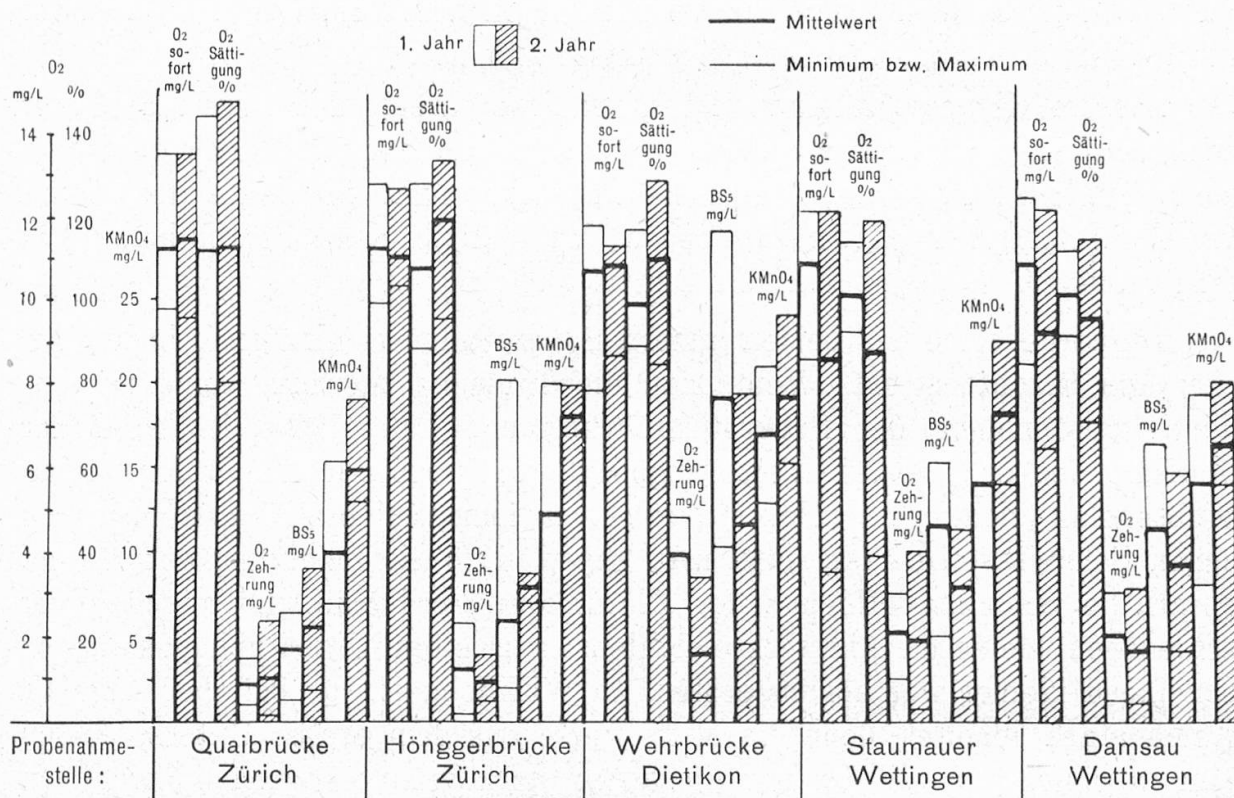
Die Limmat war genau wie im ersten Untersuchungsjahre nicht in der Lage, die ihr aus der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich und aus eini-



gen kleineren Abwassereinläufen zugeleiteten Abwasserschmutzstoffe mit Hilfe ihrer Selbstreinigungskraft bis zur Staumauer in Wettingen zu verarbeiten. Der Reinheitsgrad, wie ihn das Limmatwasser beim Seeausfluss (Quaibrücke in Zürich) aufweist, wurde in Wettingen bei weitem nicht wieder erreicht.

In der Abbildung haben wir die hervorstechendsten Ergebnisse der beider Untersuchungsjahre für 5 Probenahmestellen vereinigt und damit gleichsam die Quintessenz der ganzen Untersuchung in bezug auf die Auswirkung des Stausees auf die verunreinigte Limmat zur Darstellung ge-

Vergleich der Wasserqualität im 1. und 2. Untersuchungsjahr.



bracht. Durch die Angabe der während beider Untersuchungsjahre beobachteten günstigsten und ungünstigsten Werte wird einerseits die Streuung der Einzelwerte illustriert, die in den Jahresmittelwerten zusammengefasst sind, und andererseits wird insbesondere durch die Angabe der ungünstigsten Werte die Gefahr verdeutlicht, welche aus den Mittelwerten nur recht schwer oder überhaupt nicht herauslesbar ist.

Eines der auffälligsten Merkmale der chemischen Untersuchung ist der starke Rückgang des absoluten Sauerstoffgehaltes und der Sauerstoffsättigung im Jahresmittel an der Staumauer Wettingen gegenüber den Probenahmestellen in Zürich und Dietikon und auch gegenüber dem ersten Untersuchungsjahre an der Staumauer, bzw. an der damals noch ungestauten Limmat. Wie sich aus den bei der Wehrbrücke Dietikon ermittelten Werten ergibt, war dort der Sauerstoffgehalt und auch die Sättigung in beiden

Untersuchungsjahren ungefähr gleich hoch, aber infolge der starken Verunreinigung durch die Abwässer der Kläranlage Werdhölzli und der Gemeinde Schlieren gegenüber der Probenahmestelle Höggerbrücke deutlich vermindert. In der ungestauten Limmat erfuhren der Gehalt und die Sättigung an Sauerstoff bis zum Kraftwerk Wettingen eine leichte Zunahme, im Stausee dagegen eine weitere, sehr beträchtliche Abnahme.

Dieser Rückgang im Sauerstoffgehalt ist offensichtlich nur auf die stark verminderte Sauerstoffaufnahme durch die Wasseroberfläche des Stausees gegenüber der ungestauten Limmat zurückzuführen. Die Erscheinung ist um so eindeutiger auf diese Ursache zurückzuführen, als eine Sauerstoffproduktion durch die Assimilationstätigkeit grüner Pflanzen im Stausee gar nicht und unter dem früheren Zustand wegen des allzu steinigen Limmatbettes nur in höchst bescheidenem Masse erfolgte.

Diesem Sauerstoffdefizit im Jahresmittelwert des zweiten Untersuchungsjahres an der Staumauer wäre an und für sich noch keine besonders grosse Bedeutung beizumessen, wenn nicht im Laufe des Jahres Perioden auftreten würden, in denen das Defizit einen bedrohlichen Umfang annimmt (September 1933: Defizit mehr als 60%!).

Die Ergebnisse der beiden andern Sauerstoffbestimmungsmethoden sind ebenfalls beachtenswert. Wenn man die Tatsache zugrunde legt, dass die durch Bestimmung der Sauerstoffzehrung und des biochemischen Sauerstoffbedarfes ermittelten Werte angeben, wie gross der Gehalt irgendeines Wassers an leicht, bzw. schwer durch Organismen mineralisierbaren, organischen Schmutzstoffen ist, kann man sagen, dass die Belastung der Limmat durch die Schmutzstoffe aus der Kläranlage Werdhölzli und aus den verschiedenen kleineren Abwassereinflüssen im zweiten Untersuchungsjahr anscheinend kleiner war als im ersten. In Wirklichkeit war sie aber ungefähr gleich stark belastet, denn die Mittelwerte aus dem ersten Untersuchungsjahr stammen nur von der mit Abwasser stark verunreinigten linken Flussseite<sup>12)</sup>, während diejenigen des zweiten Jahres Mittelwerte aus dem ganzen Flussprofil darstellen und dementsprechend niedriger ausfielen. Daraus ergibt sich, dass der Vorfluter bei gleicher Belastung die Schmutzstoffe im gestauten Zustand viel schwerer und unter erheblicher Inanspruchnahme seiner Sauerstoffreserven bewältigt. Die Gefahr, dass diese Sauerstoffreserven bei Eintritt ungünstiger Verhältnisse (kleine Wasserführung, hohe Wassertemperatur, stärkere Belastung mit Abwasser oder Abwasserpilzen) so weit aufgebraucht werden, dass die Schmutzstoffe nicht mehr oxydiert, sondern unter Bildung giftiger Produkte reduziert werden und dadurch das ganze Leben des Vorfluters gefährdet wird, liegt ausserordentlich nahe.

Eine starke Erhöhung macht sich bei den Jahresmittelwerten des Kaliumpermanganatverbrauches im zweiten Untersuchungsjahr an allen

<sup>12)</sup> Es war während des Umbaus der Wehranlage in Dietikon technisch unmöglich, auch von der Flussmitte und dem rechten Ufer Proben zu fassen.

Probenahmestellen bemerkbar. Während die Sauerstoffzehrung und der biochemische Sauerstoffbedarf das Mass für die vorhandenen biologisch abbaubaren Schmutzstoffe liefern, entspricht der Permanganatverbrauch der Summe aller überhaupt oxydierbaren (also auch eventuell vorhandener anorganischer) Schmutzstoffe. Wir entnehmen also der obigen Tabelle, dass im zweiten Untersuchungsjahr die Menge der durch biologische Vorgänge nicht oxydierbaren Schmutzstoffe im ganzen Bereich der Limmat wesentlich zugenommen hat.

Die im Stausee angetroffene Ammoniakmenge ist gegenüber dem Zustand in der ungestauten Limmat über die Hälfte gestiegen<sup>13)</sup>.

Besonders auffällig sind die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung, welche auf das deutlichste zeigen, dass sich die Verhältnisse vor allem in bezug auf die Keimzahlen, aber auch in bezug auf die gefährlicheren Gasbildner durch den Aufstau erheblich verschlechtert haben.

Die fliessende Limmat vermochte im ersten Untersuchungsjahre auf der Strecke Dietikon-Wettingen die Schmutzstoffe wesentlich abzubauen (Verminderung der Keimzahl auf einen Fünftel, der Gasbildner auf die Hälfte) während der Stausee im zweiten Untersuchungsjahr die Qualität des in den Stau einflussenden Limmatwassers eher verschlechterte, zum mindesten aber nicht verbesserte.

Die Lebensgemeinschaft (Biocönose) der Schlammorganismen des Stausees ist mit derjenigen eines stark eutrophierten (nährstoffreichen) Sees zu vergleichen. Es ist aber zu bedenken, dass ein solcher Zustand normalerweise erst nach Jahrzehnten bzw. Jahrhunderten eintritt, während ihn der Stausee Wettingen schon nach kaum einem Jahre geschaffen hat.

Ganz bedenklich sind aber Zustände, wie sie sich bei den untersuchten Stellen des Stausees der Profile 27, 28 und 29 herausgebildet haben, wo infolge der massenhaften Ablagerung von Abwasserpilzen der Schlamm eine so saure Beschaffenheit angenommen hat, dass den schlammfressenden Tieren die Existenzmöglichkeit genommen ist. In diesem sauren Medium können nur noch wenige Bakterienarten leben, welche aber keinen raschen Abbau des Schlammes zu vollbringen imstande sind, sodass sich der abgelagerte Schlamm innerhalb kurzer Zeit stark anhäuft.

Die Voraussagen aus dem ersten Untersuchungsjahr bezüglich der Ablagerung der Schlammstoffe primärer und sekundärer Art im Stausee sind durch die Untersuchungen des zweiten Jahres voll und ganz bestätigt worden (s. Gutachten I, S. 347). Die im Limmatwasser treibenden Schlammstoffe und Pilzflocken sind im wesentlichen im oberen Stauegebiet, vom «Härdli» bis zur Strassenbrücke Killwangen zur Ablagerung gekommen und gehen hier in gasende Zersetzung über. In manchen Monaten des Jahres

<sup>13)</sup> Eine Ausnahme machen die Mittelwerte von Dietikon aus den gleichen Gründen wie sie soeben für die Sauerstoffzehrung und den biochemischen Sauerstoffbedarf angegeben wurden.

ist die Wasseroberfläche mit Gasblasen bedeckt, und grosse stinkende Schlammflocken und Fladen treiben auf der Wasseroberfläche ab. Aufgetretene Hochwässer haben die einmal ausgeschiedenen Schlammstoffe nicht beseitigen können.

Der bisweilen in grosser Menge anfallende mineralische Sihlschlamm hat die gasende Zersetzung der abgelagerten Schlammstoffe nicht zu verhindern vermocht. Dass diese Schlammengen eine ernste Belastung des Stausees darstellen, ist ohne weiteres einleuchtend.

Das untere Staugebiet, etwa von Neuenhof an, war Mitte 1934 nur wenig verschlammt.

Die Zuleitung der Abwasserschmutzstoffe und insbesondere auch die sekundäre Verschmutzung mit Abwasserpilzen macht sich auch äusserlich im ganzen Stauseegebiet höchst unangenehm bemerkbar. Zu gewissen Zeiten ist die Seeoberfläche mit schwimmenden Schlammfladen bedeckt, man findet am Grunde des Stausees einen stark fäulnisfähigen Schlamm, der sich in gasender Zersetzung befindet.

Die Hoffnung der am Stausee liegenden Gemeinden, Strandbäder und Bootshäfen einrichten zu können, ist vollständig zunichte geworden; der See ist für solche Zwecke heute nicht zu gebrauchen und bietet ausserdem häufig einen sehr unappetitlichen Anblick.

Während die vorausgegangenen Schlussfolgerungen sich mit der Einwirkung des Staues auf die Limmatwasserqualität befassen, sollen jetzt noch einige Bemerkungen über die Qualität des Limmatwassers unterhalb des Staues, bei der Damsau, gemacht werden, da insbesondere für den Kanton Aargau von Bedeutung ist, zu wissen, in welchem Zustande ihm das Wasser übergeben wird. Aus den Untersuchungen ergibt sich im allgemeinen, dass das Limmatwasser auf der kurzen Strecke von weniger als 1 km infolge des Ueberfallwehres und beim Verlassen des Unterwasserkanals eine erhebliche Menge Sauerstoff aufnimmt. Dies geht mit aller wünschbaren Deutlichkeit aus der Abbildung hervor. Beachtenswert ist insbesondere die Zunahme der prozentualen Sauerstoffsättigung von 87,4% auf 94,3% im Mittel und von 39,2% auf 70,7% im ungünstigsten Fall. Diese günstige Erscheinung wird dem Vorfluter helfen, nicht nur die aus den zürcherischen Gemeinden mitgebrachten Schmutzstoffe, sondern auch die ihm unmittelbar darauf von Wettingen und Baden her zugeführten Abwasser besser aufzuarbeiten. Die übrigen aus der Untersuchung sich ergebenden Mittelwerte, besonders auch die bakteriologischen Werte bewegen sich ungefähr auf gleicher Höhe wie diejenigen an der Staumauer Wettingen.