

Untersuchungen der öffentlichen Gewässer des Kantons Zürich
XI., 1. Hälfte

Untersuchungen an der Limmat
von Zürich bis Wettingen
1943/44

Von
E. A. THOMAS (Zürich)

(Aus dem kantonalen Laboratorium Zürich. Vorstand: Dr. M. STAUB)

(Mit 9 Abbildungen im Text)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	216
A. Zusammenfassende Betrachtung über den Zustand des Limmatwassers	217
1. Zustand an den einzelnen Probenahmetagen	218
2. Zustand an den einzelnen Probenahmestellen	219
3. Vergleich des heutigen Zustandes mit dem Zustand vor dem Aufstau	223
4. Vergleich des heutigen Zustandes mit dem Zustand ein Jahr nach dem Aufstau	224
B. Über den anzustrebenden Reinheitsgrad des Limmatwassers	226
1. Die Zone von der Quaibrücke bis zur Kläranlage Werdhölzli	226
2. Die Zone von der Kläranlage Werdhölzli bis zur Reppischmündung	227
3. Die Zone von der Reppischmündung bis zur Staumauer in Wettingen	232
C. Schlussfolgerungen	233
Zusammenfassung	236

Vorwort

Für das Jahr 1933 war die Inbetriebnahme eines Grosskraftwerkes der Stadt Zürich in Wettingen in Aussicht genommen, was einen Aufstau der Limmat bis unterhalb von Dietikon erforderte. Um den Einfluss des Aufstaus auf die schon damals bekanntermassen stark verunreinigte Limmat zu kennen, beauftragten Kanton und Stadt Zürich das kantonale Laboratorium, die Limmat auf der Strecke von Zürich bis Wettingen vor dem Aufstau und nach dem Aufstau zu untersuchen. Über die in Gutachtenform abgefassten Berichte ist eine Publikation erschienen: «Untersuchungen an der Limmat» (E. WASER, W. HUSMANN und G. BLÖCHLIGER, «Vom Wasser», Bd. XII, S. 181, Berlin 1937).

Die zweite der beiden Untersuchungsserien wurde kurz nach erfolgtem Aufstau in Angriff genommen. Dabei zeigte sich, dass zwischen Ötwil und

Wettingen die überstaute Pflanzendecke wesentlich zur Verschlechterung des Limmatwassers beitrug, ein Faktor, der zehn Jahre später als ausgeschaltet betrachtet werden durfte. Daraus ergibt sich bereits eine gewisse Änderung im limnologischen Zustand der Limmat. Vor rund zehn Jahren traten dann im Gebiet von Wettingen Störungen in der Beschaffenheit des zu Trinkzwecken benützten Grundwassers auf, die auf den Zustand des Stauens zurückzuführen waren. Es war ferner erwünscht, den anzustrebenden Reinheitsgrad des Limmatwassers auf Grund neuer Untersuchungen herauszuarbeiten und den heutigen Anforderungen anzupassen. Diese sind höher als noch vor zehn Jahren.

Solche Umstände und die Tatsache, dass die Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich zwecks besserer Reinigung des Abwassers in nächster Zeit bedeutend ausgebaut werden wird, riefen dem Bedürfnis einer Untersuchung des heutigen Zustandes der Limmat. Nur auf diese Weise konnte ein Zahlenmaterial beschafft werden, auf Grund dessen man sich einerseits ein Bild über den notwendigen Reinigungsgrad des Abwassers machen kann, der in der zu erstellenden biologischen Reinigungsanlage im Werdhölzli erreicht werden muss; andererseits liefert eine solche Untersuchung ein Vergleichsmaterial, um die Wirkung der zukünftigen biologischen Abwasserreinigung auf den Zustand der Limmat zu beurteilen.

Bei dieser Sachlage erteilten Kanton und Stadt Zürich dem kantonalen Laboratorium im Jahre 1943 den Auftrag, den Zustand der Limmat auf der Strecke von Zürich bis Wettingen zu untersuchen und zu beurteilen. Ein abschliessender Bericht über diese Untersuchung wurde im Dezember 1945 fertiggestellt, der nun in zwei Teilen veröffentlicht werden soll.

Der erste, vorliegende Teil bringt die Auswertung und Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse. Der zweite Teil wird später als Beiheft zur Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich erscheinen. Er enthält die Grundlagen und Beweise für die vorliegenden Schlussfolgerungen.

A. Zusammenfassende Betrachtung über den Zustand des Limmatwassers

Das Limmatwasser wurde während eines Jahres allmonatlich auf der Strecke von der Quaibrücke bis zum Elektrizitätswerk Wettingen durch das kantonale Laboratorium Zürich mit physikalischen, chemischen, bakteriologischen und biologischen Methoden untersucht. Zusammen mit einigen ergänzenden Spezialuntersuchungen ergibt sich dadurch ein gutes Bild über den Verschmutzungszustand der Limmat. Durch die mit früheren Untersuchungen übereinstimmende Wahl der Probenahmestellen war ein Vergleich der heutigen Verhältnisse mit dem Zustand kurz vor dem Aufstau und ein Jahr nach dem Aufstau möglich.

1. Zustand an den einzelnen Probenahmetagen (jahreszeitliche Abhängigkeit)

Der Zustand eines Gewässers, beurteilt nach seinem Chemismus und seiner Biologie, ist in vielfacher Hinsicht von der Jahreszeit abhängig. Vor allem sind es biologische Faktoren, die den Chemismus bei einem Gewässer verändern, wenn dieses an seinen verschiedenen Lokalitäten ein mehr oder weniger konstantes Milieu bildet.

Die Limmat bezieht ihre Hauptwassermenge während des ganzen Jahres aus dem Zürichsee, der ihre Wasserführung stark ausgleicht. Die Schwankungen in der Beschaffenheit und Menge des aus der Kläranlage Werdhölzli eingeleiteten Abwassers sind nicht extrem unregelmässig. Der Wettingerstau bleibt während des ganzen Jahres sozusagen auf der gleichen Höhe. Wichtigste, die untersuchte Limmatstrecke massgebend beeinflussende Faktoren wollen somit während des ganzen Jahres gleichartig wirken. Die von der Jahreszeit abhängige Biologie des Limmatwassers und des Limmatbettes verhindert dies: die assimilierenden Wasserpflanzen produzieren in der lichtreichen Jahreszeit mehr Sauerstoff als im Winter, aber die hohen Wassertemperaturen des Sommers ermöglichen viel raschere Umsetzungs- und Zersetzungs Vorgänge an den Schmutzstoffen.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers ist für die Beschaffenheit eines Vorfluters von grundlegender Wichtigkeit, weil überaus viele Vorgänge im Gewässer vom Sauerstoffgehalt abhängig sind. In den Monaten Januar bis Juni war der Sauerstoffgehalt auf der ganzen untersuchten Limmatstrecke erfreulich hoch. Die im Winter natürlicherweise im Flussbett vor sich gehenden Abbauvorgänge waren im Januar offenbar grösstenteils beendet. Die Kohlensäureproduktion der Atmungs- und Zersetzungs Vorgänge vermochte schon im März den Bedarf der assimilierenden Algen, die sich bis in den Sommer hinein in reichlicher Weise ausbreiteten, nicht mehr zu decken. Vom April bis zum September spiegelte sich diese Pflanzenentwicklung im Kalkgehalt des Limmatwassers wider, der als Folge der pflanzlichen Assimilation und dem damit verbundenen Kohlensäureentzug um etwa 4° F sank. Etwas höher als sonst war in den Monaten Mai bis Oktober die Sauerstoffzehrung, da bei diesen (im Dunkeln durchgeführten) Versuchen ein Teil des Planktons abstarb und sich zersetzte.

Im allgemeinen war auf der untersuchten Strecke von Juni bis September der Kaliumpermanganatverbrauch des filtrierten Wassers klein, was daraus zu erklären ist, dass die pflanzlichen Organismen einen Teil der gelösten Stoffe in Körpersubstanz umgewandelt hatten. Dies gilt auch für den in den Monaten Juli bis Oktober besonders kleinen Nitratgehalt.

Die hohen Wassertemperaturen des Sommers wirkten sich im stark unreinigten Teil der Limmat, also unterhalb von Schlieren, besonders ungünstig aus, weil einerseits die Zersetzungs- und Abbauvorgänge rascher vor sich gingen und damit dem Wasser auf einer kurzen Fließstrecke viel mehr Sauerstoff entziehen konnten, und weil andererseits die Sauerstoffauf-

nahme des Wassers aus der Luft durch die Erniedrigung des Sättigungspunktes erschwert war. Deshalb waren die Sauerstoffverhältnisse zwischen Schlieren und der Spinnerei Damsau während des Berichtsjahres am ungünstigsten in den Monaten Juli bis September. Besonders ungünstig war der Sauerstoffgehalt des Limmatwassers im untersten, langsam fließenden Teil des Wettingerstaaues, wo wir in den Monaten Juli und August ob Grund die bedenklich kleine Sauerstoffmenge von nur 2,9 mg/l fanden.

In den Monaten Oktober bis Dezember fiel die Wassertemperatur, und gleichzeitig nahm die Abbaugeschwindigkeit der zersetzlichen Stoffe ab, der Sauerstoffgehalt des Wassers auch im gestauten Teil der Limmat zu. Bei der weniger intensiven phytobiologischen Tätigkeit traten erhebliche Mengen an Ammoniak (bzw. Ammoniumion) und freier Kohlensäure auf, deren Löslichkeit zudem im kalten Wasser grösser ist als im warmen. Für die Bakterienentwicklung fanden wir keine eindeutige Abhängigkeit von der Jahreszeit.

2. Zustand an den einzelnen Probenahmestellen

Eine zusammenfassende Beschreibung über den Zustand an den einzelnen Probenahmestellen erfolgt in der zweiten Hälfte der «Untersuchungen an der Limmat», die als Beiheft erscheinen wird. Um wenigstens einen Einblick in das Zahlenmaterial unserer Untersuchungen zu geben, fügen wir an dieser Stelle Kurven über die Jahresmittelwerte unserer Untersuchungen bei (Mittel aus zwölf Untersuchungen in den Monaten März 1943 bis Februar 1944) sowie eine Kurve über die Wasserführung der Limmat (Abb. 1 bis 9).

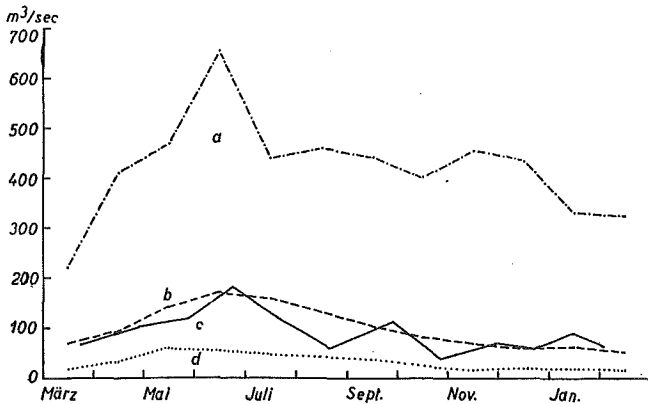


Abb. 1

Wasserführung der Limmat beim unteren Hard in m³/sec.

a = Spitzenwerte in den verschiedenen Monaten der Periode 1906—1943

b = Monatsmittel in den verschiedenen Monaten der Periode 1906—1943

c = Tagesmittel an den Probenahmetagen

d = Minimale Tagesmittel in den verschiedenen Monaten der Periode 1906—1943

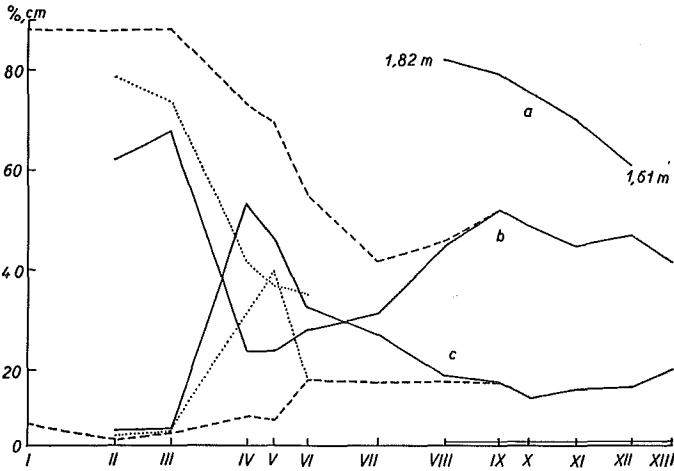


Abb. 2

a = Durchsichtigkeit, gemessen mittels Secchischeibe
 b = Durchsichtigkeit nach Snellen in cm
 c = Sauerstoffzehrung nach 48 Stunden in ‰

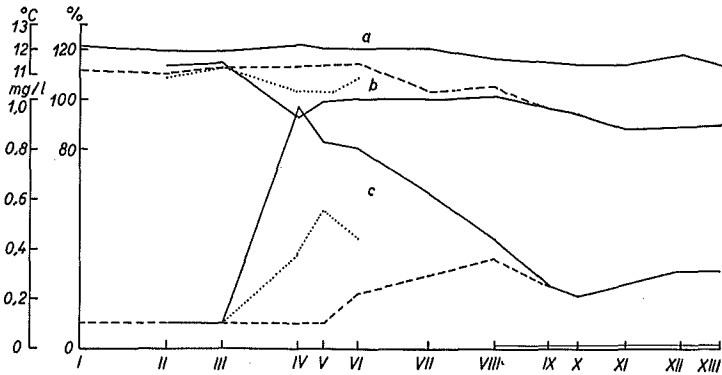


Abb. 3

a = Temperatur in °C
 b = Sauerstoffsättigung in ‰
 c = Ammoniakgehalt in mg/l

Die für die Abszisse angegebenen römischen Zahlen bezeichnen die einzelnen Probenahmestellen, nämlich: I = Quaibrücke, II = Wipkingerbrücke, III = Hönggerbrücke, IV = Gaswerk Schlieren, V = Engstringerbrücke, VI = Industriebrücke, VII = Dietikonerbrücke, VIII = Spinnerei Ötwil, IX = Kessel, X = Killwangen, XI = Neuenhof, XII = Staumauer Wettingen, XIII = Spinnerei Damsau. Der doppelt ausgezogene Teil der

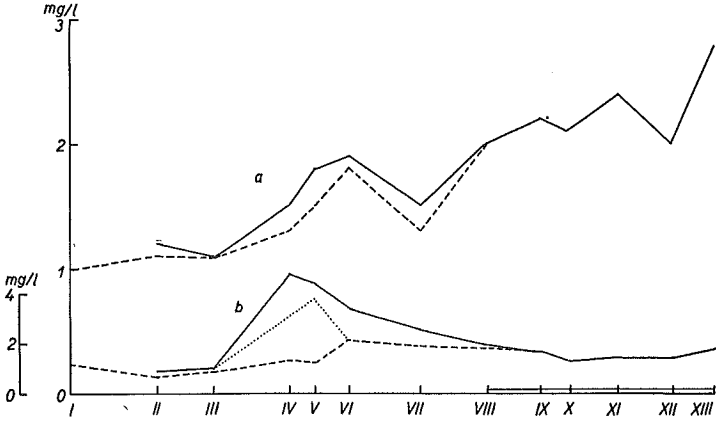


Abb. 4

a = Gehalt an freier Kohlensäure in mg/l
 b = Sauerstoffzehrung nach 48 Stunden in mg/l

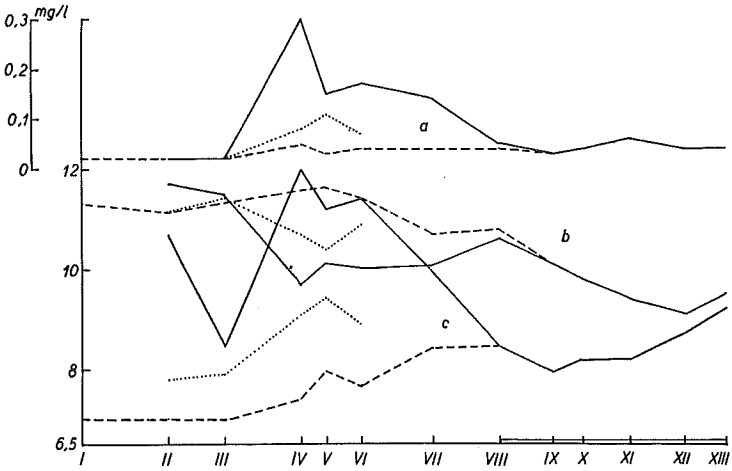


Abb. 5

a = Phosphatgehalt in mg/l P₂O₅
 b = Sauerstoffgehalt in mg/l
 c = Kaliumpermanganatverbrauch in mg/l

Abszisse bedeutet das Gebiet des Wettingerstaus. Die ausgezogenen Kurven beziehen sich auf die linksseitig und die im Staugebiet an der Oberfläche in der Flussmitte entnommenen Proben; die punktierten Linien beziehen sich auf die Proben aus der Flussmitte von der Wipkingenbrücke bis zur Industriebrücke und die gestrichelten Linien auf die rechtsseitig erhobenen Proben von der Quai- bis zur Spinnerei Öttil.

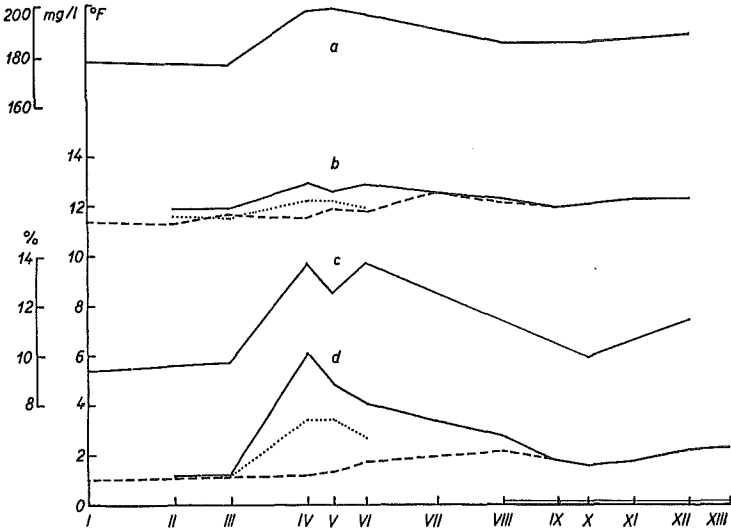


Abb. 6

- a = gelöste Stoffe in mg/l
- b = Karbonathärte in °F
- c = Organischer Anteil der gelösten Stoffe in %
- d = Chloridgehalt in mg/l

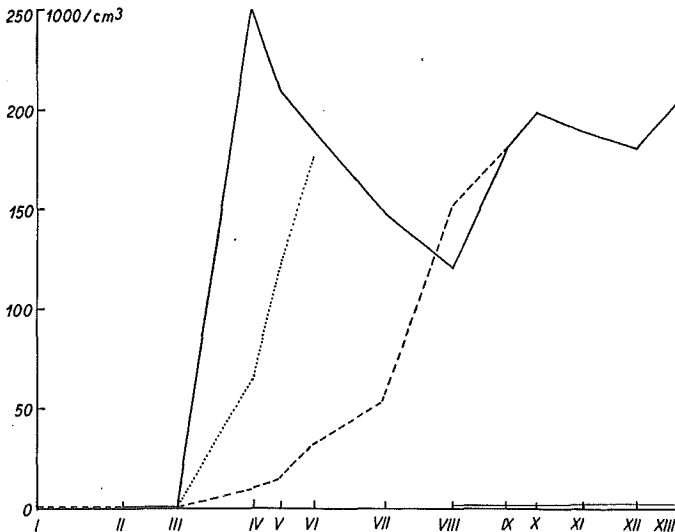


Abb. 7

Keimzahl pro cm³

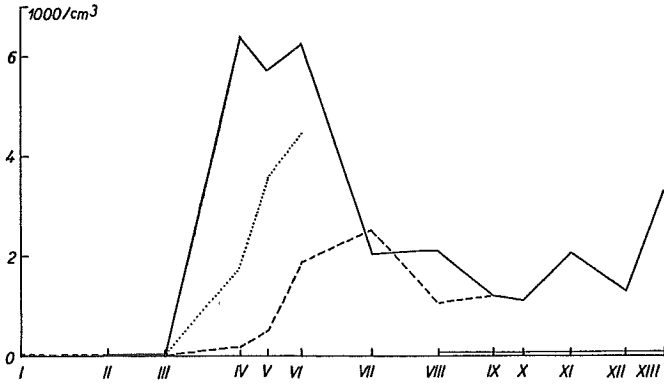


Abb. 8

Gehalt an *Bacterium coli* und ähnlichen Arten auf Endoagar pro cm³

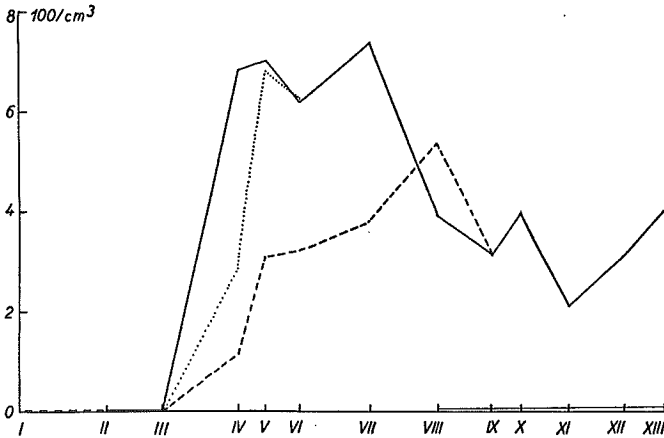


Abb. 9

Zahl der Gasbildner in Milchzuckerbouillon pro cm³

3. Vergleich des heutigen Zustandes mit dem Zustand vor dem Aufstau

An den oberhalb der Kläranlage Werdhölzli gelegenen Probennahmestellen fanden wir im Berichtsjahr gegenüber 1931/32 keine bemerkenswerten Veränderungen. Die von der Kläranlage Werdhölzli einflussenden Abwassermassen dehnten sich bei der damaligen Untersuchung im allgemeinen etwas rascher gegen das rechte Flussufer hin aus. Diese Verschiebung scheint zufälligen Charakter zu haben, es sei denn, dass durch den Kanal des Elektrizitätswerkes Wasser und Söhne bei der vorliegenden Untersuchung etwas mehr Wasser floss.

Grosse Unterschiede zwischen der ungestauten und der gestauten Limmat traten von Öttil an abwärts auf. Vor dem Aufstau brauchte das Wasser zu

seiner Selbstreinigung eine längere Fließstrecke, weil die Fliessgeschwindigkeit grösser war. Heute geht auf der relativ kurzen Strecke von Ötwil bis Killwangen eine intensive Selbstreinigung vor sich, wobei allerdings in den Monaten Juli und August vom Sauerstoffvorrat des Wassers eine beträchtliche Menge aufgezehrt wird. Die hohen Keimzahlen lassen auf einen regen Anteil der Bakterienflora bei der Selbstreinigung schliessen. Andererseits ist diese Selbstreinigung zum Teil nur eine scheinbare, weil ein erheblicher Anteil der Schwebestoffe sich im Flussbett absetzt, ohne oxydiert und mineralisiert zu sein.

Im Jahre 1943/44 war der Ersatz des bei der Selbstreinigung verbrauchten Sauerstoffes ungenügend und kleiner als 1931/32, weil bei der wenig bewegten Wasseroberfläche im Staugebiet die Sauerstoffaufnahme aus der Luft kleiner war als in der ungestauten Limmat und weil die Entwicklung der untergetauchten Wasserpflanzen im Staugebiet heute verhältnismässig gering ist.

Die unzersetzten, abgelagerten Schwebestoffe und der schon bei Killwangen beginnende Sauerstoffmangel wirken sich im unterhalb liegenden Staugebiet ungünstig aus. Bei Neuenhof und bei der Staumauer verschlechtert sich die Beschaffenheit des Wassers. Die ungünstigen Sauerstoffverhältnisse in den Monaten Juli und August erweckten bei uns die Vermutung, dass die Fische im Sommer aus diesem untersten Gebiet teilweise verdrängt werden. Ein guter Kenner des Fischbestandes versicherte uns bei unseren Nachfragen, dass ein grosser Teil der Fische über Neuenhof hinaus flussaufwärts wandert, sobald das Wasser 21°C erreicht hat. Diese Beobachtung deckt sich mit den von uns bestimmten Sauerstoffgehalten des Wassers in den Monaten Juli und August und den gleichzeitig gemessenen Wassertemperaturen.

Der Gehalt des Limmatwassers an Schwebestoffen war im Jahre 1931/32 bei der Staumauer etwa doppelt so gross wie bei der Quaibrücke, im Berichtsjahr dagegen sogar kleiner als bei der Quaibrücke. Die Entfernung der Schwebestoffe aus dem Limmatwasser bedeutet einen wichtigen Teil der Selbstreinigung. Der gestaute Limmatabschnitt übernimmt somit heute einen grossen Teil der Entfernung von Stoffen, mit denen die unterhalb Wettingen liegende Flußstrecke belastet war. Sobald sich die Sauerstoffverhältnisse im Staugebiet verbessert haben, wird deshalb die Wasserqualität bei Damsau stets besser sein als vor dem Aufstau. Nach gründlicher biologischer Reinigung der Zürcher Abwässer ist dies zu erwarten.

4. Vergleich des heutigen Zustandes mit dem Zustand ein Jahr nach dem Aufstau

Im Jahrzehnt zwischen 1933/34 und 1943/44 fand im obersten Teil der Limmat keine wesentliche Änderung in der Zuleitung von Abwässern statt, weshalb das Aussehen und die Durchsichtigkeit des Limmatwassers sich

kaum veränderten; das gleiche gilt für die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen.

Oberhalb vom Gaswerk Schlieren machte sich der Einfluss des Abwassers aus der Kläranlage Werdhölzli linksseitig etwas stärker geltend als im Untersuchungsjahr 1933/34, was besonders aus den Durchsichtigkeitsmessungen und den Sauerstoffbestimmungen hervorgeht. In keinem der beiden Untersuchungsjahre war oberhalb von Dietikon die Vermischung des Werdhölzliabwassers mit dem gesamten Limmatwasser vollzogen, d. h. in beiden Jahren liess sich der Abwassereinfluss linksseitig noch deutlicher nachweisen. Erst die durch das Elektrizitätswerk Dietikon bedingten Strömungsänderungen bewirken in der Regel einen Ausgleich in der linksseitigen und rechtsseitigen Wasserqualität der Limmat.

Die gestaute Limmatstrecke von Ötwil bis zur Wettinger Staumauer kann für den Vergleich als Gesamtheit betrachtet werden. Bedeutsam ist dabei schon die von Auge gemachte Feststellung, dass im Wettingerstau während des Untersuchungsjahres 1933/34 stets grössere oder kleinere Schlammfladen, die sich in saurer, stinkender Gärung befanden, an der Oberfläche schwammen und limmatabwärts trieben. Im Untersuchungsjahr 1943/44 waren solche Schlammfladen nur selten zu beobachten; deshalb war der Anblick der Limmat im gestauten Teil gefälliger.

In keinem der beiden Untersuchungsjahre betrug der Temperaturunterschied zwischen dem Wasser der Oberfläche und der tiefsten Wasserschicht mehr als 2—3° C; meist war die Temperatur im ganzen Profil ausgeglichen. Auch die chemischen Untersuchungszahlen weisen hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit im allgemeinen auf keine Schichtung hin. Einzig im Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt zeigen die bodennahen Wasserschichten zeitweise eine gewisse Veränderung. Es fehlen aber charakteristische Merkmale, damit man den Wettingerstau von hydrobiologischen Gesichtspunkten aus als See bezeichnen könnte.

Der Sauerstoffgehalt war im Jahre 1943/44 an allen vergleichbaren Probenahmestellen der Oberfläche und der Profile deutlich günstiger als unmittelbar nach dem Aufstau. Ebenso ist die Sauerstoffzehrung im Staugebiet seither kleiner geworden. Da der Sauerstoffgehalt eines Gewässers mit zu seinen wichtigsten hydrobiologischen Eigenschaften gehört und eine auffällige Verschlechterung im Zustand des Wettingerstaus in anderer Beziehung seither nicht eintrat, darf man in chemischer Beziehung von einer Verbesserung der Eigenschaften des Wettingerstaus sprechen. Von Fischern wird bestätigt, dass heute weniger kranke Fische gefunden werden, als vor einigen Jahren.

In bezug auf den Ammoniakgehalt ist in beiden vergleichbaren Jahren eine kleine sekundäre Zunahme im untersten Teil des Staus zu verzeichnen.

In beiden Untersuchungsjahren vermochte das Zooplankton eine fluss-eigene Zusammensetzung zu erreichen, während das Phytoplankton fast vollständig von der Zusammensetzung des Zürichseep planktons abhängig blieb. Anscheinend überwindet also das Zooplankton die langsame Strömung der

gestauten Limmat durch aktive Schwimmbewegungen in Richtung flussaufwärts.

Die absoluten Höhen der Keimzahlen waren 1943/44 im Staugebiet durchschnittlich niedriger als 1933/34; in beiden Jahren erfolgte von Ötwil bis zur Staumauer durchschnittlich eine Zunahme. Es ist denkbar, dass die Verbesserung in bakteriologischer Beziehung mit der Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse zusammenhängt.

Wenn wir für das Untersuchungsjahr 1943/44 gegenüber dem Untersuchungsjahr 1933/34 im allgemeinen eine Verbesserung im Zustand des Wetzingerstaus feststellten, so ist immer auch daran zu denken, dass das Abwasser der Stadt Zürich in den Kriegsjahren wesentlich dünner war als vor dem Kriege. Diesem Umstand ist es wohl nicht zuletzt zu verdanken, dass der Wetzingerstau heute fischreich ist (vgl. A. KNOLL, Schweiz. Fischereizeitung, 52. Jahrg., 1944, Nr. 1, S. 6, und mündliche Aussagen von Fischern), wobei allerdings Forellen fast ganz fehlen.

B. Über den anzustrebenden Reinheitsgrad des Limmatwassers

Die untersuchte Limmatstrecke zerfällt, hydrobiologisch betrachtet, in drei Hauptabschnitte: 1. die Zone von der Quaibrücke bis zur Kläranlage Werdhölzli, 2. die Zone von der Kläranlage Werdhölzli bis zur Reppischmündung, 3. die Zone von der Reppischmündung bis zur Staumauer Wettingen.

Unsere unterste Probenahmestelle bei der Spinnerei Damsau schliessen wir von dieser Betrachtung aus, weil die dort erhobenen Wasserproben nicht immer über die mittlere Beschaffenheit des abfliessenden Wassers Auskunft gaben. Zeitweise befand sich nämlich diese Probenahmestelle im Rückstau, wodurch sich die Wasserbeschaffenheit etwas ändern konnte; dies war besonders dann möglich, wenn sich Abwasser aus der Spinnerei Damsau bemerkbar machte. Im folgenden sollen nur die drei Hauptzonen betrachtet werden.

1. Die Zone von der Quaibrücke bis zur Kläranlage Werdhölzli

Beim Ausfluss aus dem Zürichsee kann das Limmatwasser als rein bezeichnet werden. Eine leichte Verunreinigung bringen möglicherweise nach starken Regenfällen die am Utoquai in den See mündenden Hochwasserentlastungen des Kanalisationssystems. Bisher sind aber dadurch in der Limmat keine Mißstände aufgetreten, wohl aber im Zürichsee im Gebiete der Badanstalt Utoquai.

Nicht ausser Betracht zu lassen ist der zeitweise hohe Phytoplanktongehalt des Limmatwassers. Besonders im Herbst, wenn das oberflächliche Zürichseewasser sich auf eine Temperatur von ca. 17° C abkühlt, steigt eine grosse

Masse von *Oscillatoria rubescens* aus der sommerlichen Aufenthaltstiefe von ca. 10 m an die Wasseroberfläche empor. Dadurch gelangen diese Algen in das Limmatwasser, wo sie sich im gestauten Teil unliebsam bemerkbar machen können. Einen hohen Phytoplanktongehalt erreicht das Limmatwasser auch im Frühjahr, wenn im See die jahreszeitlich bedingte Massenproduktion einsetzt.

Nachts verändert sich der Planktongehalt der Limmat zugunsten des Zooplanktons. Im See steigen nämlich nachts die Planktonkrebsechen aus wenigen bis vielen Metern Tiefe an die Wasseroberfläche und können dann ebenfalls ins Limmatwasser gelangen. Die Folge davon ist, dass grosse Schwärme von Jungfischen in der Limmat «stehen» und sich an den Krebschen sattfressen. Die Fischchen schwimmen dann der Strömung der Limmat gerade so stark entgegen, dass sie nicht abgeschwemmt werden; vom Ufer aus betrachtet bleiben sie somit am gleichen Ort. Über den Krebschenreichtum des Wassers kann man sich zu solchen Zeiten leicht durch einen Planktonfang orientieren.

In hygienischer Beziehung ist das Limmatwasser bei der Quaibrücke in der Regel für ein Oberflächenwasser nicht zu beanstanden. Seine Qualität genügt den an ein Badewasser zu stellenden Anforderungen, ja sie erreicht zeitweise nahezu Trinkwasserqualität.

Der bei der Quaibrücke vorhandene Reinheitsgrad des Limmatwassers wird bis oberhalb der Kläranlage Werdhölzli im ganzen weder durch die Sihl, noch durch Abwassereinleitungen wesentlich verschlechtert, was aus den chemischen und bakteriologischen Zahlen unserer Untersuchungen hervorgeht. Die Sanierung dieser obersten Limmatzone kann sich deshalb darauf beschränken, die stellenweise noch vorhandenen kleineren Abwassereinläufe unschädlich zu machen, um damit die noch vorhandenen lokalen Verunreinigungsherde zu beseitigen.

2. Die Zone von der Kläranlage Werdhölzli bis zur Reppischmündung

Diese Zone zerfällt in drei Unterabschnitte, von denen sich der oberste von der Kläranlage Werdhölzli bis zur Industriebrücke erstreckt. Das Limmatwasser fliesst hier mit natürlicher Geschwindigkeit. Das beim Werdhölzli auf der linken Flußseite eingeleitete, mechanisch gereinigte Abwasser der Stadt Zürich berührt bei der Engstringerbrücke die rechte Flußseite erst wenig, bei der Industriebrücke schon so stark, dass auch rechtsseitig zeitweise *Sphaerotilus*-bildungen auftreten. Eine vollständige Durchmischung von Abwasser und Limmatwasser hat aber auf dieser Höhe noch keineswegs stattgefunden.

An einer Limmatkommissionssitzung vom 13. Februar 1933 haben die kantonalen Instanzen darauf hingewiesen, dass durch eine bessere Vermischung von Abwasser und Limmatwasser eine Vermeidung des *Sphaerotilus*-Wachstums in der Limmat nicht zu erwarten sei. Die Stadt Zürich hat deshalb auf die Durchführung eines von anderer Seite empfohlenen Projektes zur Ver-

mischung von Abwasser und Limmatwasser verzichtet, weil die damals dazu benötigten Fr. 95 000.— ihren Zweck nicht erfüllt hätten.

Der mittlere Abschnitt der zu besprechenden Limmatzone erstreckt sich von unterhalb der Industriebrücke bis zum Stauwehr des Elektrizitätswerkes in Dietikon. Obschon auf dieser Strecke der reichliche Abwassermengen mitbringende Riedbach von links her einmündet, findet meistens eine weitgehende Vermischung von Abwasser und Limmatwasser statt. Unterschiede im Reinheitsgrad des linksseitigen und des rechtsseitigen Flusswassers sind aber immer noch bemerkbar, besonders, wenn bei reichlicher Wasserführung ein grösserer Teil des Limmatwassers rechtsseitig im alten Limmatbett fliesst.

Bei der Vereinigung des alten Limmatbettes mit dem Kanal des Elektrizitätswerkes von Dietikon und der Reppisch darf die Vermischung des Zürcher Abwassers mit dem Limmatwasser als praktisch vollzogen angesehen werden. In diesem dritten Abschnitt ist die Selbstreinigungskraft des Limmatwassers klein, weil das Wasser vorwiegend den schmalen Kanal des Elektrizitätswerkes passiert.

Für die durch die Einleitung des nur mechanisch gereinigten Zürcher Abwassers stark verunreinigte Limmatzone von der Kläranlage Werdhölzli bis zur Reppischmündung drängt sich aus ästhetischen, bade- und trinkwasserhygienischen und fischereilichen Gründen die Notwendigkeit einer gründlichen Sanierung auf. Wie schon aus früheren Untersuchungen hervorgeht, insbesondere aus dem Gutachten des Kantonschemikers vom 15. Mai 1937 «Über den Reinheitsgrad der Limmat vom Ausfluss aus dem Zürichsee bis Wettingen», ist eine solche Sanierung nur zu erreichen durch die mechanische und biologische Reinigung der beim Werdhölzli in die Limmat mündenden Abwässer aus der Stadt Zürich. Auch heute noch trifft es zu, dass diese Abwässer an der Verschmutzung der Limmat den weitaus grössten Anteil haben. Die Abwässer aus den Gebieten von Altstetten, Schlieren, Engstringen, Dietikon usw. sind deshalb erst in zweiter Linie in Betracht zu ziehen.

Bevor wir davon sprechen können, wie weitgehend die Abwässer der Stadt Zürich zu reinigen sind, müssen wir darlegen, welcher Reinheitsgrad im Limmatwasser anzustreben ist. Hiezu ist eine Beurteilung des Limmatwassers nach folgenden Gesichtspunkten notwendig:

a) Der in ästhetischer Beziehung anzustrebende Reinheitsgrad des Limmatwassers

Es ist zu verlangen, dass das Limmatwasser einen appetitlichen Anblick bietet. Abortpapiere, Kotteile und dergleichen dürfen deshalb nicht mehr in das Gewässer gelangen. Als unappetitlich, weil auf Abwasserstoffe hindeutend, ist auch das Auftreten von *Sphaerotilus*bärten und *Carchesium*-rasen zu bezeichnen, wie sie heute in der kühleren Jahreszeit in Massen auftreten. Diese weissen bis grauen Organismen geben dem Fluss im Gegensatz zu den grünen Wasserpflanzen ein krankes Aussehen. Die natürliche Durchsichtigkeit des Limmatwassers darf nicht merklich verändert werden.

b) Der in hygienischer Beziehung anzustrebende
Reinheitsgrad des Limmatwassers

Auch ein appetitlich aussehendes Gewässer kann hygienisch bedenkliche Eigenschaften haben. Erst bakteriologische Untersuchungen geben darüber Auskunft. Das Limmatwasser soll als Bade- und Brauchwasser dienen können. Dazu ist notwendig, dass das eingeleitete Abwasser möglichst wenig Bakterien aus der Gruppe des *Bacterium coli* enthält. Gründliche biologische Reinigung vermag die Zahl dieser Bakterien um 90 und mehr Prozent herabzusetzen.

c) Der in biologischer Beziehung anzustrebende
Reinheitsgrad des Limmatwassers

Die biologische Beurteilung eines Gewässers gibt gute Anhaltspunkte über den mittleren Reinheitsgrad der abfließenden Wassermassen. Unter a) haben wir schon darauf hingewiesen, dass die heute makroskopisch sichtbaren Organismenmassen von *Sphaerotilus* und *Carchesium* aus dem Limmatbett verschwinden müssen. Die mikroskopisch-biologische Beurteilung kann eine noch genauere Abgrenzung des anzustrebenden Reinheitsgrades geben. Die Biocoenosen des Limmatbettes sollen jederzeit einen β -mesosaproten oder oligosaproten Charakter aufweisen; d. h. das einzuleitende Abwasser ist so zu reinigen, dass die heute zeitweise vorhandenen α -mesosaproten bis polysaproten Biocoenosen vollständig verschwinden.

d) Der in chemischer Beziehung anzustrebende
Reinheitsgrad des Limmatwassers

Als Grundlage für die in chemischer Beziehung zu stellenden Anforderungen können einerseits die an den gleichen Untersuchungstagen in der Limmat oberhalb der Kläranlage Werdhölzli erhaltenen Untersuchungszahlen gelten, andererseits die an anderen Zürcher Flüssen erhaltenen Zahlen früherer Untersuchungen, die wir den Originalarbeiten entnehmen (Untersuchungen der öffentlichen Gewässer des Kantons Zürich I bis X; aus dem kantonalen Laboratorium Zürich).

Der Sauerstoffgehalt des Limmatwassers nimmt durch die Einleitung des Werdhölzliabwassers linksseitig bedeutend ab. Wie wir experimentell feststellten, handelt es sich dabei nicht in erster Linie um eine rasch vor sich gehende chemische Zehrung, sondern um die Folge der Vermischung des sauerstoffarmen Abwassers mit dem Limmatwasser und um biochemische Vorgänge, an denen die Organismen des Flussbettes wesentlich beteiligt sind. Für Edelfische ist eine Herabsetzung des Sauerstoffgehaltes durch eingeleitetes Abwasser direkt und indirekt ungünstig: direkt, weil ein hoher Sauerstoffgehalt zu ihren Lebensansprüchen gehört, indirekt, weil ein niedriger Sauerstoffgehalt im Vorfluter die Selbstreinigungsvorgänge erschwert. Es ist deshalb anzustreben, dass der absolute Sauerstoffgehalt und die prozentuale Sauerstoffsättigung durch die Einleitung des Zürcher Abwassers möglichst wenig herabgesetzt werden.

Nach der Sanierung sollte die Sauerstoffzehrung nach 48 Stunden nach völliger Durchmischung von Abwasser und Limmatwasser nicht mehr als etwa 1,3 mg/l oder etwa 10 % im Durchschnitt betragen; dies entspricht etwa den Verhältnissen in anderen Flüssen des Kantons Zürich, wo sie sich in gesundem Zustand befinden.

Die Zahlen für den Kaliumpermanganatverbrauch sollten infolge der linksseitigen Abwassereinleitung kaum mehr zunehmen als etwa 1,5 mg/l im Mittel. Absolute Zahlen für den anzustrebenden Kaliumpermanganatverbrauch anzugeben, ist sehr schwierig, weil er in einem Gewässer von Faktoren erhöht werden kann, die sich nicht in jedem Fall ungünstig auswirken; wir denken an einen erhöhten Planktongehalt, an Huminsäuren und an andere stabile organische Stoffe.

Die Gesamtheit von freiem Ammoniak und Ammoniumionen kann in einem Gewässer sehr genau bestimmt werden. Die Schädlichkeit der Ammoniumionen ist für Fische viel kleiner als die des freien Ammoniaks. Eine Grenze zwischen den beiden Ammoniakformen zu ziehen ist aber praktisch kaum möglich. In der Natur befindet sich das Ammoniumion mit dem gelösten Ammoniak in einem Gleichgewicht. Dieses wird vermutlich zugunsten des Ammoniaks verschoben, wenn dem Wasser bei der Assimilation Kohlensäure entzogen wird. Aus diesen Gründen ist es zweckmässig, bei der Beurteilung der Schädlichkeitsgrenze von freiem Ammoniak in einem Vorfluter (entsprechend der chemischen Bestimmung) die beiden Formen als Gesamtheit zu betrachten und die Schädlichkeitsgrenze an diejenige des freien Ammoniaks anzulehnen. (Vgl. «Kleine Mitteilungen», Berlin-Dahlem, 12. Jahrg., 1936, Nr. 1/4, S. 52.) Auf diese Weise schliesst man den nötigen Sicherheitsfaktor mit ein. Der Kürze halber bezeichnen wir im folgenden die Gesamtheit von Ammoniumion und freiem Ammoniak als «Ammoniak».

Ein Gehalt von 2 bis 3 mg/l freien Ammoniaks wirkt auf empfindliche Fischarten bereits tödlich. Erfahrungsgemäss kann aber ein Fischbestand durch Abwassereinleitung schon in mannigfaltiger Weise geschädigt werden, bevor die empfindlichsten Fische getötet werden; bekannt ist vor allem das Abwandern der Edelfische aus verunreinigten Gewässern. Es scheint, dass schon ein Gehalt von einigen Zehnteln mg/l Ammoniak (inkl. Ammoniumion) die Edelfische zum Abwandern veranlassen kann. So sind z. B. im Kanton Zürich die besten Fischgewässer fast ammoniakfrei. In diesem Zusammenhang seien vergleichsweise einige Zahlen angeführt.

Bei zwölf über das ganze Jahr verteilten Probenahmen enthielten: die Linth bei der Grynau immer weniger als 0,1 mg/l Ammoniak; die Thur von der Murgmündung bis zur Thurmündung ebenfalls weniger als 0,1 mg/l Ammoniak mit Ausnahme der durch die Murg beeinflussten Probenahmestelle; der Rhein auf der Strecke von Schaffhausen bis Kaiserstuhl mit einer einzigen lokalen Ausnahme (0,3 mg/l) nie über 0,1 mg/l Ammoniak; die Sihl vom Sihlsee bis zur Mündung weniger als 0,3 mg/l Ammoniak; der Aabach an den reinsten Stellen oberhalb von Uster weniger als 0,1 mg/l, an den stark verschmutzten Stellen in Uster bis 3,5 mg/l Ammoniak; die Glatt ober-

halb der Einmündung des stark verschmutzten Leutschenbaches weniger als 0,1 mg/l, unterhalb der Einmündung 1,7 mg/l und weniger. Die Limmat enthält oberhalb der Kläranlage Werdhölzli weniger als 0,1 mg/l, unterhalb der Kläranlage im Jahresmittel bis 1,0 mg/l Ammoniak.

Aus dieser ganz schematischen Zusammenstellung geht hervor, dass das Wasser der Flüsse im Kanton Zürich an den unverschmutzten Stellen weniger als 0,1 mg/l Ammoniak enthält. In der Limmat auch unterhalb der Kläranlage Werdhölzli einen so hohen Reinheitsgrad zu finden, wäre erfreulich; indessen wäre es allzu kostspielig, die Zürcher Abwässer so weitgehend zu reinigen. Und vor allem darf der Limmat ein gewisses Mass von Selbstreinigung des eingeleiteten Abwassers zugemutet werden. Beim Vergleich der Limmat mit den übrigen Flüssen des Kantons Zürich kommen wir hinsichtlich des Ammoniakgehaltes zu folgender Auffassung: Bei einer (praktisch kaum möglichen) sofort vollständigen Vermischung von gereinigtem Abwasser und Limmatwasser sollte die Mischung im Tagesmittel nicht mehr als 0,3 mg/l Ammoniak enthalten. Auch in extremen Fällen sollte dann der Ammoniakgehalt 0,6 mg/l nicht übersteigen.

Unter den Stickstoffverbindungen sind die Nitrate für die ungestaute Limmat am wenigsten schädlich. In einem an organischen Stoffen armen Milieu dienen sie fast nur den chlorophyllhaltigen Pflanzen als Nährstoffe. Ein gewisser Bestand an grünen Wasserpflanzen ist in einem Vorfluter erwünscht.

Phosphate werden der Limmat durch das Zürcher Abwasser in verhältnismässig grosser Menge zugetragen. Die bei der biologischen Abwasserreinigung entfernte Phosphatmenge ist zu klein, als dass sie die Biologie der Limmat merklich zu beeinflussen imstande wäre.

e) Der in fischereibiologischer Beziehung anzustrebende Reinheitsgrad des Wassers

Es ist erwünscht, dass die Edelfische auf der vom Zürcher Abwasser beeinflussten Limmatstrecke wieder ihnen zusagende Lebensbedingungen finden. Von Bedeutung ist dabei die Prüfung der Frage, ob das einzuleitende Abwasser nach Passieren der biologischen Reinigungsanlage wie bisher auf der linken Flussseite eingeleitet, oder nunmehr auf die ganze Flussbreite verteilt werden soll.

Für eine wie bisher linksseitige Einleitung sprechen unseres Erachtens folgende Vorteile: 1. Der Laichablage und dem Aufwachsen der Jungfische steht die rechte Flussseite fast ohne Einfluss des Abwassers zur Verfügung, weil nach biologischer Reinigung des Abwassers die Abwasserstoffe sich rechtsseitig noch weniger bemerkbar machen werden als heute. 2. Für Fischwanderungen steht auf der rechten Seite reines Wasser zur Verfügung. 3. Bei Spitzenbelastungen oder Betriebsstörungen der Kläranlage werden die auf der rechten Flussseite stehenden Fische kaum berührt (Ausweichmöglichkeit). 4. Der auf biologischer Selbstreinigung beruhende Abbau von Abwasserstoffen ist in der Limmat voraussichtlich grösser, wenn das Ab-

wasser linksseitig eingeleitet wird. Man darf dies z. B. aus der Erfahrungsfatsache schliessen, dass der Reinigungseffekt einer Abwasserreinigungsanlage leichter hochzuhalten ist, wenn die Konzentration des Abwassers hoch ist. Dies ist für den Zustand des Wetzingerstaues sehr wichtig. 5. Bei linksseitiger Einleitung des Abwassers bleibt die rechte Flussseite in badehygienischer Beziehung sicher in einwandfreiem Zustand bis zur vollständigen Vermischung im Gebiet von Dietikon. 6. Bei linksseitiger Einleitung des Abwassers ist nach Ausbau der Reinigungsanlage eine Beurteilung des Reinigungseffektes der biologischen Anlage leichter möglich. 7. Sollte sich aus irgendwelchen Gründen eine Verteilung des einzuleitenden Abwassers auf die ganze Flussbreite von der Einleitungsstelle an als notwendig erweisen, so kann dies später nachgeholt werden.

Aus den genannten Gründen empfehlen wir für das in Zukunft biologisch gereinigte Abwasser der Stadt Zürich eine wie bisher linksseitige Einleitung in die Limmat.

3. Die Zone von der Reppischmündung bis zur Staumauer in Wetzigen

Wie wir dargelegt haben, ist diese gestaute Limmatstrecke nicht als See im hydrobiologischen Sinne zu bezeichnen. Trotzdem ist der Wetzingerstau seiner Morphologie und Hydrologie entsprechend gegen Abwasser sehr empfindlich. Erst nach einer Sanierung des Wetzingerstaues wird man die Limmat als saniert bezeichnen dürfen. Es erhebt sich somit die besonders wichtige Frage, welcher Reinheitsgrad im gestauten Teil der Limmat zwischen der Reppischmündung und der Staumauer Wetzigen anzustreben ist.

Am nötigsten scheint uns eine Verbesserung in der Beschaffenheit des das Flussbett auskleidenden Schlammes. Die Beschaffenheit dieses Schlammes kann heute je nach dem Entnahmeort erheblich variieren. Ohne auf eine zahlenmässige Angabe der Anforderungen einzutreten, möchten wir den anzustrebenden Zustand des Schlammes folgendermassen umschreiben: An jeder Stelle des Staues soll der Schlamm stark mineralisiert und durchoxydiert sein, so dass seine Sauerstoffzehrung möglichst klein ist. Entsprechend soll der Gehalt an fäulnisfähigen, stickstoffhaltigen und gasbildenden Stoffen sehr klein sein. Das schlammeigene Wasser darf nur wenig Sulfide und Ammoniak enthalten. Im gesamten muss deshalb die Beschaffenheit des Schlammes ganz wesentlich besser werden, so dass sich eine Biocoenose aus aeroben Organismen einstellt. Sekundäre Verunreinigungen sollten nicht mehr auftreten, auch nicht als Folge einer stärkeren Verkrautung.

In den übrigen Anforderungen können wir uns an die unter 2 gegebenen Ausführungen halten; die unter 2a—2c gestellten Anforderungen gelten auch für den Wetzingerstau.

Bei den chemischen Untersuchungen des Limmatwassers sollten sich die Anzeichen der biochemischen Selbstreinigung bemerkbar machen, indem

die Sauerstoffzehrung und der Kaliumpermanganatverbrauch von Dietikon an abwärts abnehmende Tendenz haben sollten. Auch im gestauten Teil sollte das Limmatwasser in der Regel mit Sauerstoff gesättigt sein.

Im Untersuchungsjahr 1943/44 war der Ammoniakgehalt des Limmatwassers bei der Staumauer Wettingen an sechs von zwölf Probenahmetagen kleiner als 0,2 mg/l Ammoniak. Es ist anzustreben, dass diese Zahl in Zukunft nicht mehr überschritten wird.

Vom fischereibiologischen Standpunkt aus ist der Wettingerstau so weitgehend zu sanieren, dass seine Bewirtschaftung mit Edelfischen erfolgreich wird.

Nach der Sanierung der Limmat wird voraussichtlich im Wettingerstau eine stärkere Verkrautung einsetzen. Ob sie belästigenden Umfang annimmt und besondere Massnahmen erfordert, ist in einem späteren Zeitpunkt zu entscheiden.

Ergänzend sei hier mit Deutlichkeit darauf hingewiesen, dass die Reinhaltung des Wettingerstaus auch aus Gründen der Trinkwasserhygiene unsere höchste Aufmerksamkeit verdient, weil zu dem grossen Limmattal-Grundwasserstrom besonders aus diesem gestauten Limmatteil eine bedeutende Menge Wasser durchsickert. Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, dass dadurch bereits Schädigungen des Grundwasserstromes aufgetreten sind, die bei Trinkwasserfassungen Abwehrmassnahmen notwendig machten. Weitere Schädigungen sollen durch eine gründliche Sanierung der Limmat verhindert werden.

C. Schlussfolgerungen

Die vorliegenden, ausgedehnten Untersuchungen wollen eingehend orientieren über den Reinheitsgrad der Limmat auf der Strecke von der Quai-Brücke in Zürich bis zur Spinnerei Damsau in Wettingen. Die in der Limmat auf dieser Strecke auftretenden Verunreinigungen sind zu suchen:

a) im Abwassereinlauf aus der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich

Da die Abwassermenge zeitweise mehr als einen Zwanzigstel des gesamten Limmatwassers ausmacht, ist die Qualität des eingeleiteten Abwassers richtunggebend für den Reinheitsgrad des Limmatwassers auf einer Strecke, die weiter als bis Wettingen reicht. Wir werden deshalb diesem Abwasser nach der Betrachtung der nur lokalen Verunreinigungen die ausschliessliche Aufmerksamkeit schenken.

b) in lokalen Verunreinigungen

Die grössten lokalen Verunreinigungen stellen der Riedbach bei Schlieren und der Dorfbach von Altstetten dar. Die Wasserbeschaffenheit dieser beiden Zuflüsse ist so schlecht, dass man an eine biologische Reinigung der eingeleiteten Abwässer wird denken müssen. Es muss aber speziellen Studien überlassen bleiben, in welcher Weise die diesen beiden Vorflutern zu-

geführten Abwässer kanalisationstechnisch zusammengefasst und gereinigt werden sollen, ob in der Kläranlage Werdhölzli oder in einer separaten Anlage. Wir können hier nur beifügen, dass die Sanierung der beiden Bäche als dringend zu bezeichnen ist.

Die Reppisch bringt heute im Vergleich zur Limmat bei Dietikon ein nahezu gleichwertiges Wasser, also ein Wasser, das ebenfalls Spuren von Verunreinigungen trägt. Durch den Bau einer Kläranlage für die Abwässer der Gemeinde Dietikon wird sich der Zustand des Reppischwassers verbessern. Der Bau der Kläranlage für die Abwässer von Dietikon sollte nicht erheblich später erfolgen als der Ausbau der Kläranlage Werdhölzli.

Auf die kleineren, lokalen Verunreinigungen möchten wir an dieser Stelle nicht eintreten, solange nicht die Hauptverschmutzung durch die Abwässer der Stadt Zürich, auf die wir nun zu sprechen kommen, beseitigt ist.

Nachdem wir uns über den gegenwärtigen Reinheitsgrad der Limmat und über die für die Zukunft zu stellenden Anforderungen an ihren Reinheitsgrad Rechenschaft abgelegt haben, interessiert es in hohem Masse, wie weitgehend das beim Werdhölzli einzuleitende Abwasser gereinigt werden muss, um die heute in der Limmat vorhandenen Übelstände zu beheben. Die Qualität des verdünnenden Limmatwassers geht aus unseren Untersuchungen der bei der Höggerbrücke erhobenen Wasserproben hervor. Für die Berechnung des notwendigen Reinheitsgrades des Abwassers ist somit noch die Kenntnis des ungefähren heutigen Verdünnungsverhältnisses nötig.

Aus der Beschaffenheit des Verdünnungswassers (V), des heutigen Abwassers (A) und des Mischwassers (M) lässt sich der gesuchte Anteil (x) des Verdünnungswassers folgendermassen berechnen:

$$x \cdot V + 1 \cdot A = (x + 1) \cdot M \text{ oder } x = \frac{A - M}{M - V}$$

Auf Grund unserer Untersuchungszahlen haben wir die Möglichkeit, das heutige Vermischungsverhältnis bei den verschiedenen Probenahmestellen zu berechnen; dabei interessiert vor allem das Vermischungsverhältnis linksseitig beim Gaswerksteg, also rund 2 km unterhalb der Einmündung des Abwassers. Der Vermischungsgrad hat hier bereits ein gewisses Ausmass erreicht, ohne allerdings die rechte Flussseite stark zu berühren.

Von allen angewendeten Untersuchungsmethoden ist die Chloridbestimmung am ehesten geeignet, über die Verdünnungsverhältnisse an dieser Probenahmestelle Aufschluss zu geben, weil auf der 2 km langen Fliessstrecke bereits biologische und chemische Faktoren der Selbstreinigung die Werte anderer Bestimmungen verändern konnten; die Chloride sind in dieser Beziehung verhältnismässig stabil.

Auf Grund der Jahresmittelwerte der Chloridbestimmungen rechnet sich das Verdünnungsverhältnis beim Gaswerksteg linksseitig mit: Abwasser

zu Verdünnungswasser = 1 : 11,0; die extremen Werte betragen 1 : 6,4 (Dezember 1943) und 1 : 20,9 (Mai 1943).

Würde bei der Abwassereinleitung sofort die ganze Abflussmenge der Limmat als Verdünnungswasser benützt, so wäre, wie erwähnt, mit minimalen Verdünnungen von etwa 1 : 20 zu rechnen. Obschon eine derartige Abwassereinleitung unseres Erachtens in diesem Falle nicht erwünscht ist (vgl. Abschnitt B 2e), wollen wir auch dieses Verdünnungsverhältnis im folgenden in Betracht ziehen.

Sauerstoffreies Abwasser vermag einen Sauerstoffgehalt des Limmatwassers von 12 mg/l bei einer Verdünnung von 1 : 6 bis 1 : 20 allein durch die Verdünnung um 1,7 bis 0,6 mg/l herabzusetzen. Ausserdem begünstigt sauerstoffarmes Abwasser im Vorfluter, besonders wenn es kälter ist als das Vorflutwasser, die Bildung von Fäulnisherden und polysaproben Bioceosen. Ein gewisser Sauerstoffgehalt ist deshalb im einzuleitenden Abwasser erwünscht; einen Gehalt von 5 mg/l erachten wir bei einem niedrigen biochemischen Sauerstoffbedarf als genügend.

Auf Grund von Vergleichen mit anderen Zürcher Flüssen haben wir für die Limmat bei voller Durchmischung von Abwasser und Limmatwasser für die Sauerstoffzehrung einen Maximalwert von 1,3 mg/l angegeben. Bei einer Sauerstoffzehrung des Verdünnungswassers von 1 mg/l und zwanzigfacher Verdünnung weist das Abwasser dann theoretisch eine Zehrung von 7,3 mg/l auf. Nach den heutigen Verhältnissen (mittleres Verdünnungsverhältnis 1 : 11, Zehrung des Verdünnungswassers 1 mg/l, Zehrung des Mischwassers 4,82 mg/l) ergibt sich für das Abwasser eine theoretische Sauerstoffzehrung von 37,2 mg/l. Die heutige Zehrung des Abwassers verhält sich also zur angestrebten wie 37,2 : 7,3. Die angestrebte Zehrung ist also theoretisch 5,1mal kleiner als die heutige. Auf Grund dieser Überlegungen darf man annehmen, dass eine Herabsetzung des biochemischen Sauerstoffbedarfes des einzuleitenden Abwassers um 80 Prozent den gestellten Anforderungen genügt.

Eine ähnliche Berechnung zeigt, dass eine Herabsetzung des Kaliumpermanganatverbrauches des einzuleitenden Abwassers um rund 50 Prozent genügt, um unsere in Abschnitt B 2d gestellte Anforderung zu erfüllen. Wie wir bemerkten, sollen bei der Beurteilung des Limmatwassers weniger die absoluten Werte des Kaliumpermanganatverbrauches, die immer verhältnismässig klein sind, berücksichtigt werden, als vielmehr die Zunahme beim verunreinigten Limmatwasser gegenüber dem reinen.

Erhebliche Bedeutung kommt dem Ammoniakgehalt (gelöstes Ammoniak und Ammoniumionen) des Limmatwassers zu, weshalb wir nach Vergleichen mit den übrigen Flüssen des Kantons Zürich zur Festsetzung eines zulässigen mittleren Gehaltes von höchstens 0,3 mg/l kamen. Bei einer Verdünnung von 1 : 20 darf deshalb das einzuleitende Abwasser einen Ammoniakgehalt von höchstens 6,3 mg/l haben.

Es ist uns heute noch nicht möglich, eine Grenze dafür anzugeben, ein wie grosser Teil des Gesamtstickstoffes bei der biologischen Abwasser-

reinigung entfernt werden soll. Wir müssen aber bemerken, dass die Entfernung eines möglichst grossen Teiles besonders im Hinblick auf den gestauten Limmatabschnitt von Ötwil bis Wettingen notwendig ist.

Schliesslich müssen wir noch auf die an das Abwasser in biologischer Beziehung zu stellenden Anforderungen eintreten. Es ist verlockend, die heute im Limmatbett vorhandenen biologischen Mißstände dadurch zu beseitigen, dass man mit der biologischen Abwasserreinigung möglichst wenig weit geht und dafür das Abwasser über den ganzen Flussquerschnitt verteilt. Diese Auffassung ist zu verwerfen, weil sie den Sicherheitsfaktoren keine Rechnung trägt. Wie beim Bau einer Brücke oder eines Dampfkessels Sicherheitsgrenzen nötig sind, so soll die biologische Reinigung in der Kläranlage Werdhölzli so weit getrieben werden, dass in biologischer Beziehung keine abwasserbedingten Mißstände mehr auftreten können. Diese Forderung wird dadurch unterstützt, dass bei einer «knappen» Abwasserreinigung die Nährstoffzufuhr zum Wettingerstau immer noch das Auftreten von sekundären Verunreinigungen befürchten lässt, was durchaus verhindert werden muss. Das biologische Geschehen im Wettingerstau soll sich ganz im aeroben Milieu abspielen. Die biologische Abwasserreinigung ist deshalb so weit zu treiben, dass auch bei einer Verdünnung des Abwassers von 1:6, wie sie bei linksseitiger Abwassereinleitung noch in vielen hundert Meter Entfernung von der Einleitungsstelle vorkommen kann, keine polysaprogenen oder α -mesosaprogenen Verhältnisse auftreten können. So ist am ehesten Gewähr dafür geboten, dass die Edelfische wieder die ihnen zusagenden Lebensbedingungen finden werden.

Zusammenfassung

Die Hauptverunreinigung des Gewässers erfolgt auf der genannten Strecke durch die Abwässer aus der nur mechanischen Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich.

Für eine in jeder Hinsicht befriedigende Sanierung des stark verunreinigten Limmatabschnittes von Zürich-Altstetten bis Wettingen ist eine gründliche biologische Reinigung des einzuleitenden Abwassers der Stadt Zürich notwendig. Da heute infolge der Abwassereinleitung die Sauerstoffverhältnisse in der Limmat gestört, der Ammoniakgehalt und der Gehalt an organischen, leicht zersetzbaren Stoffen im Limmatwasser zu hoch und die Biocoenosen unterhalb der Einleitungsstelle bis zur Staumauer Wettingen ungünstig sind, ist diesen Verhältnissen bei der Abwasserreinigung besondere Aufmerksamkeit zu schenken.
