

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 53 (1961)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Die Verunreinigung von Linth und Limmat : Bericht über die chemischen Untersuchungen vom 11./12. März 1959  
**Autor:** Märki, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-920767>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die Verunreinigung von Linth und Limmat

DK 628.31

## Bericht über die chemischen Untersuchungen vom 11./12. März 1959

Im Auftrage des *Linth-Limmat-Verbandes* verfaßt von Dr. E. Märki, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH (Direktion: Professor Dr. O. Jaag), unter Mitwirkung der hierfür tätigen Kommissions-Mitglieder.

*Anmerkung:* Der ausführliche, von der großen Kommission behandelte Originalbericht über diese Untersuchungen liegt ab Ende 1961 in beschränkter Anzahl beim Eidg. Amt für Gewässerschutz, bei den Uferkantonen, der Stadt Zürich und beim Linth-Limmat-Verband zur Einsicht auf. Für die definitive Bereinigung des nachfolgenden Auszuges aus dem Originalbericht wurde eine Redaktionskommission, bestehend aus dem Berichtverfasser und den Kommissionsmitgliedern H. Bachofner, F. Baldinger und G. A. Töndury, eingesetzt.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Vorwort	275
A. Einleitung	276
B. Zweck der Untersuchung	276
C. Untersuchungsprogramm und Organisation	277
D. Untersuchungsmethodik	278
E. Durchführung der Untersuchung	279
F. Wasserführung der Linth und Limmat	280
G. Die einzelnen Fließstrecken	280
1. Linth im Glarnerland	280
2. Linthkanal und Hintergräben	281
3. Limmat	282
4. Aare — Reuß — Limmat	285
5. Walensee — Obersee — Zürichsee	286
H. Biologische Untersuchungen	287
I. Fischereiwirtschaftliche Situation	290
K. Nährstoffbilanzen	291
L. Berechnung der Nährstoffzufuhr auf Grund der Bevölkerungszahlen	293
M. Frühere Untersuchungen	295
N. Zusammenfassung	296
O. Schlußfolgerungen	298
P. Literaturverzeichnis	300

### Vorwort

Die Einzugsgebiete der Linth und der Limmat nehmen heute, was ihre Bevölkerungszahl und die Industrialisierung anbetrifft, im Wirtschaftsleben der Schweiz eine bedeutende Stellung ein. Das war bereits im letzten Jahrhundert so, da beispielsweise die Textilindustrie des Glarnerlandes zu den ersten schweizerischen Industrien überhaupt gehörte. Zwar finden wir nicht in den gesamten Einzugsgebieten die gleiche Ansammlung von Industrien, namentlich nicht im Gebiet des St.-Galler Oberlandes, soweit es nach dem Walensee entwässert, sowie in der Landschaft zwischen Walensee und Seedamm Rapperswil, die vorwiegend zur Landwirtschaftszone gehört. Am unteren Zürichsee, besonders im Gebiet von Stäfa und von Wädenswil an abwärts, kann man von einer zusammenhängenden Siedlung längs der Seeufer sprechen.

Eigentlicher Schwerpunkt der Besiedlung ist die Stadt Zürich, deren Wohngebiet von einem Industriegürtel umsäumt wird. Anschließend beginnt längs der Limmat das wohl am dichtesten besiedelte Tal der Schweiz. Im gesamten Limmattal bis zur Mündung in die Aare nimmt die städtische Struktur immer mehr überhand, und die fortschreitende Industrialisierung verändert allmählich den ehemals landwirtschaftlichen Charakter der Gegend. Diese Wandlung, die sich früher ohne besonderes Aufsehen vollzogen hat, nimmt nun seit einigen Jahren einen immer stürmischeren Verlauf, und

die Gemeinden stehen plötzlich vor Aufgaben, die man noch vor wenigen Jahren als wenig dringlich angesehen hat. So sind die wasserwirtschaftlichen Probleme, noch vor kurzem wenig beachtet, nun auf einmal zu äußerst wichtigen Aufgaben der Kommunalpolitik geworden. Der schlechte Zustand der Gewässer und die Schwierigkeiten in der Trinkwasserbeschaffung zwingen sie nun zu raschem Handeln, vor allem mit dem Bau von Kanalisationen und Abwasserreinigungsanlagen. An manchen Orten ist es schon schwierig, den stets steigenden Wasserbedarf zu sichern, vom erforderlichen Kampf gegen die Abwasserlast nicht zu reden. Die Planung der Abwasserbeseitigung, insbesondere im Gebiet der Kantone St. Gallen, Zürich und Aargau ist heute soweit gediehen, daß in den nächsten Jahren mit der Fertigstellung einer ganzen Reihe von Großanlagen gerechnet werden darf, worunter die biologische Anlage der Stadt Zürich im Werdhölzli die wichtigste ist. Wir dürfen deshalb annehmen, daß die Limmat nun bereits etwa ihren maximalen Verunreinigungszustand erreicht hat, allerdings nur sofern die Behörden dafür sorgen werden, daß die Abwasserlast nicht mehr weiter zunimmt. Es erweist sich daher als sinnvoll, im heutigen Zeitpunkt eine Bestandsaufnahme im Raum Linth—Limmat vorzunehmen. Diese Arbeit kann zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden, um dann über den Erfolg der durchgeführten Anstrengungen ein Bild zu gewinnen.

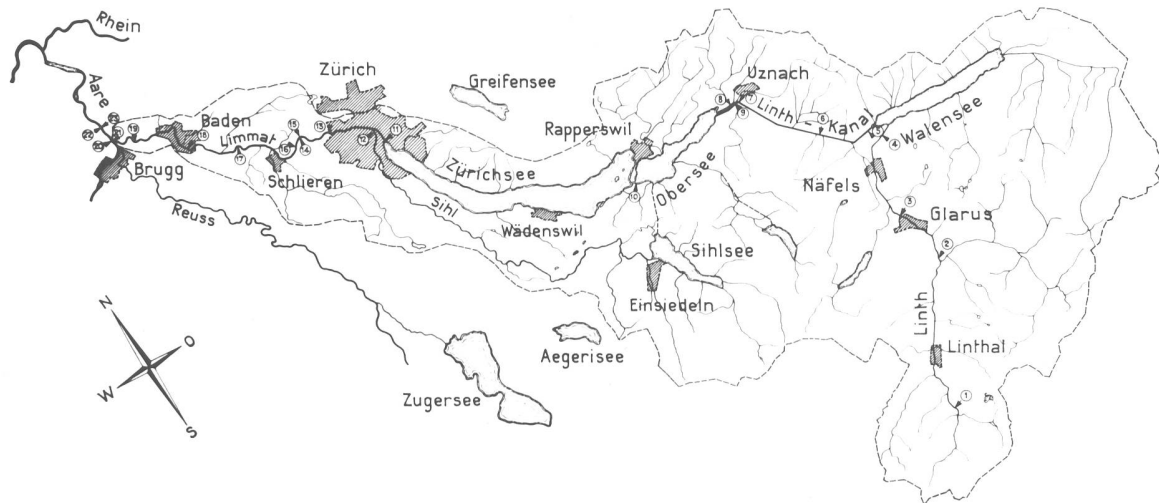


Bild 1 Plan des Einzugsgebietes von Linth und Limmat mit Ortsangabe der Probenahmestellen; Maßstab 1 : 750 000

### A. Einleitung

Im Frühjahr 1958 wurden auf Anregung des Linth-Limmat-Verbandes und unter dessen Patronat der Rahmen der Untersuchung, die Zahl der Probenahmestellen und ihre Verteilung auf die an der Untersuchung beteiligten Kantone und die Stadt Zürich sowie deren mutmaßlichen Kostenbeiträge festgelegt. Zu ihrer finanziellen Entlastung bewilligte der Bund Beiträge für die Finanzierung der Untersuchungen, während sich für die Vorbereitungen die Baudirektionen der Kantone Aargau, Glarus, Schwyz, St. Gallen und Zürich mit ihrem Personal zur Verfügung stellten. Die chemischen Laboren der gleichen Kantone, das städtische Labor Zürich und die Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), welche mit den chemisch-bakteriologischen Untersuchungen betraut wurden, koordinierten die Analysen-Methodik. Da sich die verschiedenen Jahreszeiten für Großuntersuchungen dieser Art unterschiedlich eignen, mußten zuerst die hydrographischen Verhältnisse studiert und die Zeitperioden niedriger Wasserführung ermittelt werden, in denen die Abwasserlast am besten zu erfassen ist.

Um nicht das für die Probenerhebung eingesetzte Personal unnötig Gefahren auszusetzen, war es sodann notwendig, alle Probenahmestellen auf ihre Tauglich-

keit für eine 24stündige Daueruntersuchung zu prüfen. Unter Berücksichtigung aller wesentlichen Faktoren kam die Untersuchung schließlich am 11./12. März 1959 zur Durchführung. Ihre Ergebnisse sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt und ausgewertet. Außer während dieser Daueruntersuchung vom 11./12. März 1959 wurden Linth und Limmat am 2. und 9. Oktober 1959 auch einer einfachen biologischen Prüfung unterzogen.

### B. Zweck der Untersuchung

Daueruntersuchungen an Gewässern dienen im allgemeinen der Abklärung folgender Probleme:

1. Von der chemisch-biologisch-bakteriologischen Untersuchung eines Gewässers erwartet man Auskunft über seinen momentanen Verunreinigungszustand. Die Ergebnisse sollen Schlüsse darüber zulassen, an welchen Stellen ein Gewässer mit Schmutzstoffen, mitunter auch mit Giftstoffen, belastet wird und welche hygienischen Gefahren daraus der Bevölkerung erwachsen, die mit diesem Wasser in Berührung kommt.

2. Man soll feststellen können, welche Siedlungen und Industrien ein Gewässer in unzulässiger Weise belasten.

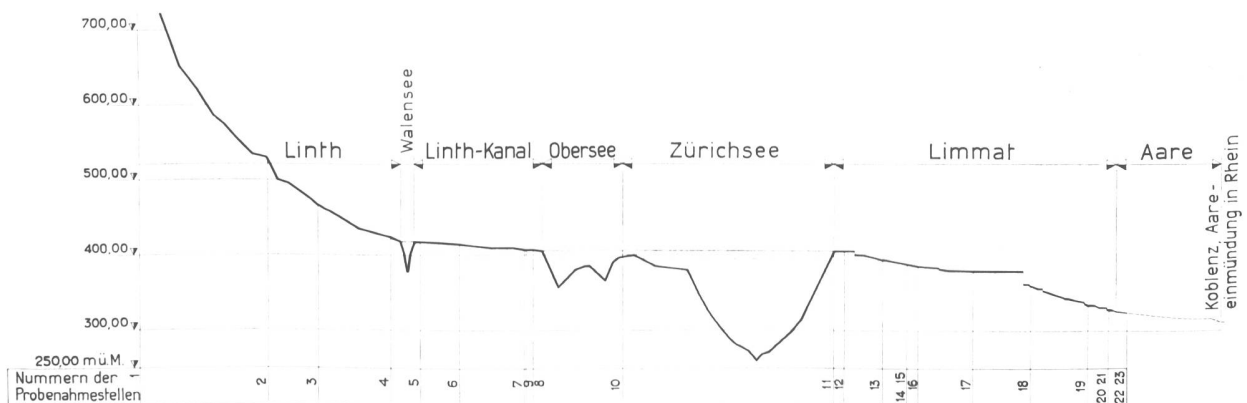


Bild 2 Längenprofil der Linth-Limmat, Maßstab 1 : 1 000 000 / 10 000

3. Im Interesse des Gewässers selbst liegt dabei auf der Ermittlung des status quo ein besonderes Gewicht; denn auf dieser Basis kann zu einem späteren Zeitpunkt, nachdem die Abhilfemaßnahmen wirksam geworden sind, festgestellt werden, wieweit sich ein Gewässer wieder erholt hat und ob die seinerzeit geforderten Abwasserreinigungsanlagen zweckmäßig geplant und richtig dimensioniert worden sind.

4. Daueruntersuchungen über 24 Stunden lassen überdies die Tagesschwankungen der Belastung des Gewässers erkennen, die einerseits von den klimatischen Faktoren, andererseits aber von der sich verändernden Abwassermenge abhängig sind. Die üblichen sog. Längsprofiluntersuchungen im Sinne der fließenden Welle lassen nur einen Momentanzustand des Gewässers erfassen, vermögen hingegen keine Hinweise zu geben über die täglich wiederkehrenden Verunreinigungsspitzen. Nur Profiluntersuchungen, die im Verlaufe einer Zeitperiode wiederholt durchgeführt werden und bei denen die Probenahmen zeitlich gestaffelt sind, erlauben einen Einblick in die Konzentrationsschwankungen der Verschmutzungsindikatoren.

5. Da in der Schweiz in den meisten Fällen letztlich der Stimmbürger über den Ausbau von Abwasserreinigungsanlagen zu entscheiden und die nötigen Kredite zu bewilligen hat, darf er auch einen Anspruch darauf erheben, über die Notwendigkeit und die Dringlichkeit der Sanierungsmaßnahmen orientiert zu werden.

### C. Untersuchungsprogramm und Organisation

*Wahl der Untersuchungsstellen* (Bilder 1 und 2, Tabelle 1). — Vom Ausschuß für Gewässerschutzfragen des Linth-Limmat-Verbandes sind die Probenahmestellen im Einvernehmen mit den zuständigen kantonalen Ämtern nach folgenden Gesichtspunkten festgelegt worden:

#### 1. Linth

Stelle Nr. 1, *Tierfehd* (Bild 3): Nicht verunreinigt; oberhalb der Linthschlucht sind keine dauernd bewohnten Siedlungen vorhanden.

Stelle Nr. 2, *Schwanden*: Durch Industriesiedlungen im Tal der Linth und im Sernftal vorbelastet (Bild 4).

Stelle Nr. 3, *Glarus*: Erfassen der Abwasserlast von rund 75 Prozent der gesamtglarnerischen Bevölkerung, vor der Verdünnung der Linth mit reinem Wasser aus dem Klöntalersee (Löntschwerk).

Stelle Nr. 4, *Gäsi* (Bild 14): Feststellung der Nährstoffzufuhr nach dem Walensee.

#### 2. Linthkanal

Stelle Nr. 5, *Abfluß des Walensees bei Biätsche* (Eisenbahnbrücke): Erfassen des Nährstoffabflusses aus dem Walensee.

Stelle Nr. 6, *Bilten*: Straßenbrücke nach Schänis; Erfassen des Zustandes der Linth nach Aufnahme des Abwassers aus dem Raume Niederurnen und Ziegelbrücke.

Stelle Nr. 7, *Grynau*: Straßenbrücke; nach 9 km langer Selbstreinigungsstrecke von Bilten nach Grynau. Feststellen der Nährstoffzufuhr durch die Linth nach dem Zürcher Obersee (ohne Hintergräben).

Kilometrierung der Untersuchungsstrecke Tabelle 1

Probenahmestelle Nr.	Ort	Laufkilometer km	Meereshöhe m ü. M.	Wasserführung m³/s
1.	Tierfehd	0,00	810	0,81
	Linth	5,5	660	
		15,0	535	
2.	Schwanden	17,1	505	10,1
	Glarus	23,0	475	
3.	Glarus	23,7	465	11,2
	Löntschmündung	25,4	458	
4.	Gäsi	33,5	425	16,9
	Walensee,			
	Linthmündung	34,9	419	
	Walenseeausfluß	36,6	419	29,2
5.	Biätsche	37,1	418	
	Ziegelbrücke	39,65	417	
6.	Bilten Straßenbrücke	42,65	415	29,2
7.	Grynau	51,3	409	29,2
9.	Hintergraben links	51,5	409	10,7
8.	Hintergraben rechts	52,4	407	5,5
	Linthkanalmündung			
	Obersee	53,6	406	
10.	Durchstich Hurden	64,7	406	63,5
11.	Limmat			
	bei Quaibrücke			
	in Zürich	92,7	406	64,24
12.	Sihl beim Hauptbahnhof Zürich	94,15	406	4,58
13.	Limmat			
	beim Wasserwehr			
	unterhalb			
	Hönggerbrücke	99,35	394	68,8
14./15.	Limmat bei der			
	Brücke Unterengstringen-Schliren,			
	rechts und links	102,60	389,30	68,8
16.	Limmat bei der			
	Industriebrücke,			
	oberhalb Dietikon	104,19	386,50	70,8
	Einmündung			
	Reppisch	107,95	380,70	
17.	Limmat im Chessel	111,40	380	70,85
	Wehr EW Wettingen	117,85	363,30	
18.	Limmat im UWK			
	des Kraftwerkes			
	Wettingen	119,15	359	70,85
	Wehr EW Baden Aue	120,52	356,54	
	EW Kanal			
	Kappelerhof I.	124,1	343	
19.	Limmat im OWK			
	bei der Schiffmühle			
	Turgi	126,65	335,45	70,85
	Turbinenhaus der			
	Spinnerei Bebié	128,0	332	
20./21.	Aare bei der Brücke			
	Vogelsang-Lauffohr			
	links und rechts	129,1	329,30	259,6
	Limmat-Einmündung in die Aare	130,4	326,30	
22./23.	Aare bei der			
	Brücke Stilli,			
	links und rechts	131,8	325	393,4

#### 3. Hintergräben

Stelle Nr. 8, *Rechter Hintergraben*: Erfassen der Abwasserlast aus dem Raume Uznach und der Nährstoffausschwemmung aus dem meliorierten Gebiet der Linthebene.

Stelle Nr. 9, *Linker Hintergraben*: Erfassen der Abwasserlast aus dem Raum Tuggen—Schübelbach und der Nährstoffausschwemmung aus dem meliorierten Gebiet.

#### 4. System Obersee und Zürichsee (Bild 19)

Stelle Nr. 10, *Durchstich bei Hurden*: Erfassen der Verunreinigung und der Nährstoffe, die dem eigentlichen Zürichsee zufließen.

Stelle Nr. 11, *Limmat bei Quaibrücke in Zürich*: Erfassen der Umwandlungsprodukte aus den Seezuflüssen und dem Abwasser der Uferregionen ohne Kilchberg und Zollikon. Erfassen der Wasserqualität der Limmat vor ihrer Belastung mit ungenügend gereinigtem Abwasser der Stadt Zürich.

#### 5. Limmat

Stelle Nr. 12, *Sihl beim Hauptbahnhof Zürich*: Erfassen der Abwasserlast der Sihl, dem Hauptzufluß der Limmat.

Stelle Nr. 13, *Limmat beim Wasserwehr, unterhalb der Höngerbrücke*: Erfassen des Zustandes der Limmat unmittelbar oberhalb der Einmündung des Abwassers der Stadt Zürich.

Stelle Nr. 14, *Limmat bei der Brücke Unterengstringen-Schlieren: linke Seite*: Erfassen der Hauptabwasserfahne aus der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich und des Gaswerks Zürich in Schlieren (das Abwasser fließt bei Niederwasser im linksseitigen Drittel des Flußbettes).

Stelle Nr. 15, *Limmat bei der Brücke Unterengstringen-Schlieren: rechte Seite*: Erfassen der Flußbreite, die nur durch die Abwasser von Ober- und Unterengstringen beeinflusst ist (Bild 20).

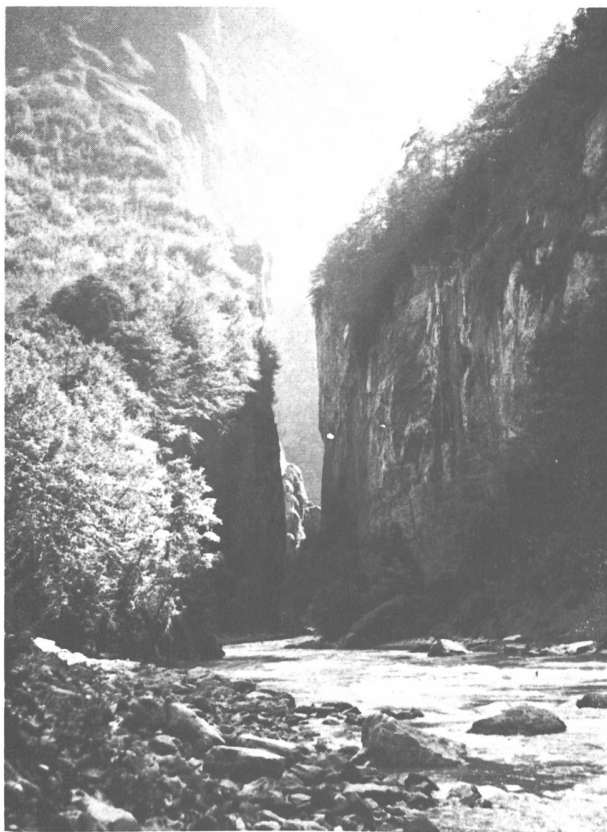


Bild 3 Austritt der Linth aus der Schlucht bei Tierfehd

Stelle Nr. 16, *Limmat bei der Industriebrücke oberhalb Dietikon*: Erfassen der Flußpartie, in der das Abwasser der Stadt Zürich mit dem Limmatwasser einigermaßen gemischt sein dürfte (das Abwasser von Schlieren mündet weiter unten in die Limmat).

Stelle Nr. 17, *Limmat im Chessel*: Erfassen der Qualität des Limmatwassers beim Beginn der Stauhaltung des Kraftwerkes Wettingen und beim Verlassen des Zürcher Kantonsgebietes.

Stelle Nr. 18, *Limmat im Unterwasserkanal des Kraftwerkes Wettingen*: Erfassen der Schmutzstoff- und Nährstoffmengen, die aus dem Stauraum Wettingen während eines Tages abfließen und in die Industrie-region Baden-Wettingen gelangen. Feststellen der Selbstreinigungsvorgänge im Fluß-Stau.

Stelle Nr. 19, *Limmat im Oberwasserkanal bei der Schiffmühle in Turgi*: Feststellen der Veränderung der Wasserqualität auf der Selbstreinigungsstrecke Baden—Turgi. Erfassen der Schmutzmenge, die durch die Limmat in die Aare abgeleitet wird.

#### 6. System Aare — Reuß — Limmat

Stelle Nr. 20, *Aare bei der Brücke Vogelsang—Lauf-fuhr, links*: Erfassen der Qualität des Aarewassers, bevor es sich mit Reußwasser vermischt; Errechnung der Nährstoffabfuhr aus einem großen Einzugsgebiet.

Stelle Nr. 21, *Aare bei der Brücke Vogelsang—Lauf-fuhr, rechts*: Erfassen der Qualität des Reußwassers, wo es noch nicht mit dem Wasser der Aare vermischt ist (Bild 22); Errechnen der Nährstoffmengen aus dem Raume Innerschweiz.

Stelle Nr. 22, *Aare bei der Brücke Stilli, links*: Erfassen einer Wasserqualität, die sich vorwiegend aus der Mischung des Aarewassers mit dem Reußwasser ergibt.

Stelle Nr. 23, *Aare bei der Brücke Stilli, rechts*: Erfassen einer Wasserqualität, die der Mischung von Limmat- mit Reußwasser entspricht.

#### D. Untersuchungsmethodik

Es wurde vereinbart, daß sich die folgenden chemischen Laboratorien in die Untersuchung teilen:

1. Kantonales Laboratorium Glarus (Kantonschemiker Dr. E. Hefti), unter Mitwirkung von Personal der EAWAG; Stellen Tierfehd bis Glarus (1—3).
2. Feldlaboratorium des Kantonalen Labors St. Gallen in der Biäsche (Kantonschemiker Dr. E. Wieser); Stellen Gäsi bis Bilten (4—6).
3. Feldlaboratorium der urschweizerischen Lebensmitteluntersuchungsanstalt im Schloß Grynau (Kantonschemiker Dr. M. Betschart) unter Mitwirkung von Personal der EAWAG; Stellen Grynau bis Seedamm (7—10).
4. Kantonales Laboratorium Zürich (Kantonschemiker Dr. M. Staub, Leiter der limnologischen Abteilung; Dr. E. A. Thomas) unter Mitwirkung von Personal der EAWAG; Stellen Quaibrücke bis Industriebrücke (11—16).
5. Laboratorium der Stadt Zürich (Stadtchemiker Dr. H. Forster; Leiter des Wasserlabors: Dr. P. Zimmermann), unter Mitwirkung des Personals des Kantonalen Laboratoriums Aargau (Dr. H. Ambühl) und

des Gewässerschutzamtes des Kantons Aargau (Chemiker *R. Ott*); Stellen «Im Chessel» bis Brücke Stilli (17—23).

An den Stellen Nrn. 2—4, 6—10 und 12—23 wurden alle 10 Minuten Wasserproben aus dem Fluß geschöpft (Bild 21). Das Mischwasser aus je 6 Einzelproben ergab einstündige Mischproben, die in einem 2- bis 3stündigen Turnus in die entsprechenden Laboratorien geliefert wurden.

An den Stellen 1, 5 und 11 begnügte man sich mit stündlich einmal erhobenen Proben, da hier zum vornehin keine großen Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung zu erwarten waren.

Die Analyse umfaßte folgende Komponenten:

1. Temperatur in Grad Celsius (an Ort und Stelle bestimmt).
2. pH-Wert (potentiometrisch im Labor, nach Überprüfung aller Geräte mit der gleichen Pufferlösung).
3. Trübung mit Photometer (Messung der Durchsichtigkeit).
4. Sauerstoffgehalt (an Einzelproben).
5. Biochemischer Sauerstoffbedarf an Einzelproben oder nach Verdünnung.
6. Kaliumpermanganatverbrauch (Oxydierbarkeit).
7. Ammoniak mit Neßler-Reagens (photometrische Messung).
8. Nitrit, Diazomethode nach Grieß-Ilosvay (z. T. photometrische Messung).
9. Nitrat, Salicylatmethode (photometrische Messung).
10. Kjeldahl-Stickstoff.
11. Phosphate (Molybdänblaureaktion mit Zinnchlorür).
12. Gesamtphosphor (Aufschluß in Platinschale durch Glühen).
13. Chloride (Mercurinitratmethode).
14. Karbonathärte (Titration mit Salzsäure gegen Methylorange).
15. Freie Kohlensäure (Titration mit Natronlauge auf pH 8,0).
16. Eisen (mit Ortho-Phenanthrolin).
17. Keimzahl an 6stündigen Einzelproben (auf Plate Count Agar, 20 Grad Celsius Bebrütungstemperatur).
18. Coli-keime an stündlichen Einzelproben (Membranfilter auf Endo-Agar).

## E. Durchführung der Untersuchung

Für die Entnahme der Proben und ihren Transport in die Laboratorien waren die folgenden Amtsstellen der kantonalen Baudirektionen besorgt:

Glarus: Kantonsingenieurbüro; Vorsteher:  
Dipl. Ing. *V. Wettler*.

St. Gallen: Gewässerschutzamt; Vorsteher:  
Dipl. Ing. *B. Dix*,

Schwyz: Kantonsingenieurbüro; Vorsteher:  
Dipl. Ing. *E. Beeler*.

Zürich: Abt. Wasserbau und Wasserrecht; Vorsteher:  
Dipl. Ing. *H. Bachofner*.

Aargau: Gewässerschutzamt; Vorsteher:  
Dipl. Ing. *F. Baldinger*.

Die Gerätschaften zur Probenerhebung wurden teils durch die Bauämter beschafft, teils durch das aufgebotene Personal selbst zur Verfügung gestellt. Im allgemeinen waren pro Probenahmestelle vier Mann notwendig, die sich in Zweiergruppen ablösten. Diese Mitarbeiter rekrutierten sich aus dem Personal der Gesundheitsbehörden der Anliegergemeinden sowie aus Polizeimännern und Angestellten der Wasserbauämter. Kurz vor der Durchführung der Daueruntersuchung wurde dem Personal gleich an den Probenahmestellen seine Aufgabe erläutert und die Handhabung der Geräte eingeübt. Jeder Posten mußte über seine Tätigkeit Protokoll führen und wurde im Verlaufe der 24 Stunden von den Leitern der Untersuchung mehrmals besucht.

Nachdem sich die Wetterlage an den Vortagen als ziemlich günstig erwiesen hatte, gab das Gewässerschutzamt Aargau im Einvernehmen mit der chemischen Abteilung der EAWAG auf den 11. März 1959 die Weisung zur definitiven Durchführung der ganzen Untersuchung mit Beginn um 11.00 Uhr.

Die Daueruntersuchung war vom Wetter überaus begünstigt und konnte ohne den geringsten Unfall durchgeführt werden. Mit erfreulichem Einsatz haben die Beteiligten, sowohl jene im Freien als auch jene, die in den Laboratorien eingesetzt waren, bisweilen mehr als 24 Stunden ausgeharrt und zum guten Gelingen der Sache beigetragen.

Die in den folgenden Wochen in den einzelnen Laboratorien ermittelten Ergebnisse wurden fristgemäß der chemischen Abteilung der EAWAG zur Zusammenstellung und Ausarbeitung des Gesamtberichtes abgeliefert.

In der Zwischenzeit war die EAWAG, welche die Ergebnisse für die Kantone Glarus und Schwyz verarbeitete, an die im Einzugsgebiet liegenden Speicherkraftwerke gelangt, um die Wasserführungsdaten für die Untersuchungszeit vom 11./12. März 1959 zu erhalten. Ferner erklärte sich das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft in zuvorkommender Weise bereit, schon vor ihrer Veröffentlichung die Abflusssummen an allen Pegeln im Linth-Limmat-Gebiet zur Verfügung zu stellen.



Bild 4    Linth unterhalb Schwanden, Blick flußabwärts

## F. Wasserführung der Linth und Limmat

(Bild 13, Tabelle 4)

Für die Auswertung der chemischen Untersuchungsergebnisse standen im Einzugsgebiet der Linth-Limmat neun vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (EAWW) bediente Limnigraphenstationen im Betrieb, von denen die Meßstreifen zur Ermittlung der Wassermengen am 11./12. März 1959 zur Verfügung gestellt wurden. Ferner lagen die Abflußdiagramme der Kraftwerke Sernf—Niedererbach, Löntsch, Wägital und Sihlsee vor, aus denen weitere Angaben über die Hydrographie entnommen werden konnten.

Auf Grund dieser Unterlagen sind die Wasserführungen an den einzelnen Probenahmestellen wie folgt berücksichtigt worden:

	Tages- mittelwert m <sup>3</sup> /s
1. Tierfehd, Wassermeßstation EAWW	0,82
2. Schwanden, $\frac{9}{10}$ der Wasserführung bei Glarus	10,1
3. Glarus, Wasserführung der Station Gäsi, abzüglich 0,4 m <sup>3</sup> /s des Löntsch und der Abflußmenge des Kraftwerkes	11,2
4. Gäsi, Wassermeßstation EAWW	16,9
5. Linthkanal Biätsche, Wassermeßstation EAWW Murg/Walensee	29,2
6. Linthkanal Biltlen, Wassermeßstation EAWW Murg/Walensee	29,2
7. Linthkanal Grynau, Wassermeßstation EAWW Murg/Walensee	29,2
8. Rechter Hintergraben, Angabe der Linthverwaltung, Lachen	5,5
9. Linker Hintergraben, Angabe der Linthverwaltung, Lachen	10,7
10. Zürichsee, Durchfluß beim Seedamm: Summe der Zuflüsse Linth, Hintergräben, Kraftwerke Wägital und Sihlsee (Etelzwerk)	63,5
11. Limmat Quaibrücke, Differenz zwischen Station Unterhard Zürich und Sihl (Sihlhölzli)	64,24
12. Sihl, Wassermeßstation EAWW beim Sihlhölzli	4,58
13. Wasserwehr, Wassermeßstation EAWW Unterhard Zürich	68,8
14./15. Brücke Unterengstringen, Wassermeßstation EAWW Unterhard	68,8
16. Industriebrücke, Abfluß der Wassermeßstation EAWW Unterhard + 2 m <sup>3</sup> /s Abwasser Werdhölzli Zürich	70,8
17. Chessel, Wassermeßstation EAWW in Baden	70,85
18. Unterwasserkanal Wettingen, Wassermeßstation EAWW in Baden	70,85
19. Schiffmühle Turgi, Wassermeßstation EAWW in Baden	70,85
20. Aare-Brücke Vogelsang—Lauffohr links, Wassermeßstation EAWW, Brugg (Aare)	259,6
21. Aare-Brücke Vogelsang—Lauffohr rechts, Wassermeßstation EAWW, Mellingen (Reuß)	54,5
22./23. Aare-Brücke Stilli links und rechts, Wassermeßstation EAWW, Stilli	393,4

Während des Untersuchungstages schwankte die Wasserführung nur dort erheblich, wo Speicherkraftwerke ihren Betrieb dem Energiebedarf anpassen mußten. Die Stelle Gäsi wird weitgehend beeinflusst vom Kraftwerkbetrieb des Klöntalersees, während aus der Linthschlucht bei Tierfehd über 24 Stunden eine konstante Wassermenge von 0,82 m<sup>3</sup>/s austrat.

Da das Abwasser der Stadt Zürich bei der Brücke Unterengstringen mit dem Limmatwasser noch sehr schlecht vermischt ist, hat man, um mit der unverschmutzten Limmat direkte Vergleiche anstellen zu können, an dieser Stelle mit der gleichen Wasserführung gerechnet, wie sie im Unterhard gemessen wurde.

## G. Die einzelnen Fließ-Strecken

(Tabellen 2—8, Bilder 1, 2, 5—12, 16)

### 1. Linth im Glarnerland:

Das hochgelegene Einzugsgebiet bei der *Linth-schlucht* entläßt ein weiches, sauberes Wasser, welches, mit Sauerstoff gesättigt, mit einem sehr geringen, praktisch zu vernachlässigenden Gehalt an organischen Stoffen, belastet ist; zudem enthält es kaum nachweisbare Mengen an Stickstoff- und Phosphorverbindungen und weist sehr gute bakteriologische Verhältnisse auf, so daß dieses Wasser sogar den Anforderungen an Trinkwasser (Quellwasser) gerecht würde. Aber schon nach ihrer Vereinigung mit dem Sernf zeigt die Linth ein merklich anderes Bild. 13 000 Einwohner und die Industrie mit ungefähr ebensoviel Gleichwerten lassen die Linth etwas an Sauerstoff verlieren und verursachen zeitweise einen BSB<sub>5</sub> von 3 mg/l. Solches Oberflächenwasser ist im allgemeinen aber bereits in der Lage, Grundwasservorkommen zu schädigen. Die Gehalte an Ammoniak, Nitrat und besonders Kjeldahlstickstoff zeigen, daß der größte Teil der organischen Stickstoffverbindungen noch nicht abgebaut ist. Ein erheblicher Anteil der Abwasserstoffe stammt aus der Gemeinde *Schwanden*, welche einen Viertel der Bevölkerung des gesamten Einzugsgebietes umfaßt. Die verhältnismäßig hohe Zahl der Colibakterien weist ferner darauf hin, daß am gesamten Abwasseranfall hauptsächlich häusliches Abwasser beteiligt ist. Während die chemischen und hygienischen Verhältnisse in der Linth bis unterhalb Schwanden trotz der erwähnten Belastung noch nicht als ausgesprochen schlecht zu klassieren sind, erfährt die Linth bis unterhalb *Glarus* nun aber doch eine massive Verschlechterung. So nehmen Sauerstoffgehalt und Sättigung ab, dafür steigen die Gehalte an sauerstoffzehrenden Verbindungen beträchtlich an, ihre Schwankungen werden größer und erreichen zeitweise unzulässig hohe Werte. Das gleiche gilt auch für die Stickstoffverbindungen. Die Chloridkonzentration, die gegenüber dem ursprünglichen Wert in Tierfehd auf das Dreifache ansteigt, bestätigt, daß die Schmutzstoffe aus den menschlichen Siedlungen stammen.

Auf der restlichen Strecke bis zum *Walensee* erfährt die Linth keine große Mehrbelastung mehr. Die talauswärts liegenden Gemeinden und Fabriken leiten ihre Abwässer in Kanäle und Entwässerungsgräben ab, die quer über die Linthebene direkt in den Linthkanal unterhalb des Walensees münden. So kann hier eine gewisse Selbstreinigung einsetzen, was sich durch eine leichte Sauerstoffanreicherung und eine geringe Abnahme des Permanganatwertes und des Ammoniakgehaltes äußert, während die nun vorhandenen Nitrite anzeigen, daß eine mikrobielle Oxydation der Ammoniumverbindungen im Gange ist. Auch die bakteriologischen Verhältnisse verbessern sich wesentlich, sinkt doch die Zahl der Colibakterien auf einen Drittel des Wertes von Glarus ab. Diese Selbstreinigungsstrecke genügt allerdings bei weitem nicht, um alle organischen Stoffe (von rund 25 000 bis 30 000 Einwohnern) zu mineralisieren; ein ziemlich großer Rest fließt immer noch in den See, nämlich pro Tag neben 28,5 Tonnen Sauerstoff 5,7 Tonnen sauerstoffzehrende Stoffe sowie 82 kg Ammoniak-, 570 kg Nitrat- und 480 kg organisch ge-

bundener Stickstoff, was total rund 1100—1200 kg Stickstoff ausmacht. Daneben hat der See 35—40 kg Phosphor und 1200 kg Chloride aufzunehmen. Während sich nun die Chloride am biologischen Geschehen im See nicht beteiligen, sind die gelösten Phosphor- und Stickstoffverbindungen gemäß ihrer Rolle als Pflanzennährstoffe oder Düngesalze um so wirksamer für die Entwicklung des Planktons. Die mineralischen Schwebstoffe werden dagegen größtenteils sedimentiert.

## 2. Linthkanal und Hintergräben

Zwischen den beiden Seen bildet der Linthkanal eine Fließ-Strecke, die mit den übrigen Flußabschnitten nicht in direkter Beziehung steht und deshalb auch keine unmittelbaren Vergleiche erlaubt. Während das Wasser der Glarner Linth nur zum kleinsten Teil aus Seen stammt, entsprechen die chemischen Verhältnisse des Linthkanals weitgehend den Abflüssen aus Mittellandseen. Da sich während des Jahres in jedem See biologische Vorgänge abspielen, welche die chemische Zusammensetzung seines Wassers verändern, ist diese Feststellung nicht ganz belanglos. So unterliegen beispielsweise die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff zusammen mit der Entfaltung der Algenflora periodischen Veränderungen. Im gleichen Rhythmus schwanken die Konzentration an organischen Verbindungen, die Karbonate, der Kohlensäuregehalt und der pH-Wert, ferner der Gehalt an Kieselsäure.

Während nun bei Hochwasser die Stoffgehalte in Gewässern wie der Glarner Linth infolge Verdünnung stark absinken, reagieren die Seeabflüsse nur mit der höheren Wasserführung, ohne jedoch ihre Stoffkonzentrationen zu verschieben. Die Sauerstoffsättigung des Abflusses lag — wohl infolge innerer Vorgänge im See — unter 100 Prozent, was im allgemeinen bei Seeabflüssen in dieser Jahreszeit nicht abnormal zu sein braucht. Ebenfalls nicht unerklärlich, wenn im ersten Moment auch etwas merkwürdig, sind die starken

Schwankungen der organischen Stoffe; vermutlich sind hier Planktonschwärme die Ursache. Ammoniak und Nitrite fehlten ganz, während der Nitratstickstoff mit 0,39 mg/l doppelt so hoch war wie der Kjeldahlstickstoff (0,19 mg/l). Der Mineralisationsgrad des Wassers ist demnach, wie auch die Phosphatwerte belegen, befriedigend.

In bakteriologischer Hinsicht erreichte der Seeausfluß beinahe die Qualität der Linth bei Tierfehd.

Bis nach Bilten nimmt der Linthkanal alle Entwässerungsgräben aus dem Dreieck Näfels—Weesen—Ziegelbrücke auf, nämlich das «Chli Linthli», den Rauti- und den Niederurnenalpenbach, und erhält damit das Abwasser aus einem Gebiet mit schätzungsweise 10 000 Einwohnern und viel Industrie. Da jedoch die Selbstreinigung in den Bächen und im Linthkanal durch den intensiven Sohlenbewuchs sehr bedeutend ist, erhöhen sich die Abwasserkomponenten mit Ausnahme der Colizahl nur unwesentlich, so daß die Resultate der Stelle Bilten trotzdem nicht wesentlich schlechter ausgefallen sind, als jene des Seeausflusses.

Bis zur Höhe des Schlosses Grynau stieg der Sauerstoffgehalt gegenüber Bilten um 6 Prozent an, während gleichzeitig eine Abnahme des mittleren BSB<sub>5</sub> um 0,2 mg/l oder um 15 Prozent zu beobachten war. Dagegen stieg der Permanganatwert fast auf das Doppelte und mit ihm die übrigen Abwasserkomponenten, nämlich Ammoniak, Nitrite, organisch gebundener Stickstoff, Phosphat und Chlorid, wogegen sich die bakteriologischen Verhältnisse nur geringfügig veränderten.

Das Wasser, das unterhalb Grynau in den Obersee floß, führte am Untersuchungstage neben 105 kg Ammoniak- und 1331 kg Nitrat- noch 625 kg organisch gebundenen Stickstoff nebst 82 kg Phosphor und 2421 Kilo Chloriden ab. Es ist verhältnismäßig gut mineralisiert. Mehr als zwei Drittel des gesamten Stickstoffs

Temperaturen, pH-Werte und Lichtdurchlässigkeit

Tabelle 2

Probenahmestellen	Lufttemperatur °C			Wassertemperatur °C			pH-Wert			Lichtdurchlässigkeit in %		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
1. Tierfehd	—	—	—	4,3	5,1	4,7	8,15	8,3	8,2	—	—	—
2. Schwanden	—	—	—	5,0	7,9	6,1	8,15	8,55	8,3	—	—	—
3. Glarus	—	—	—	5,3	8,2	6,9	8,15	8,65	8,4	—	—	—
4. Gäsi	4,0	15,0	7,25	5,1	7,3	6,28	7,95	8,35	8,12	93,0	99,5	95,7
5. Biätsche	4,5	13,5	7,50	5,6	6,3	5,81	6,7	8,0	7,81	99,5	100,0	99,8
6. Bilten	5,0	14,0	8,35	5,5	7,0	6,02	6,55	8,2	7,78	99,5	100,0	99,8
7. Grynau	5,0	13,1	7,77	5,3	7,4	6,21	8,1	8,8	8,35	—	—	—
8. Hintergraben rechts	4,0	14,0	6,96	6,2	9,0	7,8	7,8	8,1	7,94	—	—	—
9. Hintergraben links	4,8	16,0	8,29	6,4	10,7	8,28	7,45	7,9	7,63	—	—	—
10. Seedamm Hurden	5,5	10,5	7,17	4,4	5,0	4,63	8,15	8,3	8,21	—	—	—
11. Quaibrücke	5,0	10,0	7,90	4,7	6,2	5,35	7,8	8,1	7,92	98,5	100,0	99,6
12. Sihl	6,0	12,0	8,70	5,6	7,3	6,53	8,2	8,8	8,53	95,5	100,0	98,9
13. Wasserwehr	4,5	12,5	7,80	4,9	5,5	5,08	7,9	8,15	8,01	97,5	100,0	99,2
14. Unterengstringen links	5,0	12,0	7,70	5,2	6,7	5,71	7,85	8,05	7,97	92,0	100,0	97,8
15. Unterengstringen rechts	5,0	12,0	8,08	5,0	6,1	5,29	7,95	8,4	8,04	97,5	100,0	99,1
16. Industriebrücke	5,0	14,0	8,46	5,3	6,8	5,78	7,9	8,2	8,01	96,0	99,5	98,2
17. Chessel	4,0	14,0	7,77	5,2	6,2	5,59	7,8	8,25	8,01	78,5	96,0	89,9
18. Wetingen	5,0	16,0	8,67	5,4	6,4	5,79	7,8	8,25	7,96	86,0	96,0	92,3
19. Schiffmühle Turgi	6,5	19,5	10,16	5,3	6,8	5,88	7,8	8,1	7,95	88,0	95,0	91,4
20. Lauffohr links	6,5	14,0	9,07	6,2	6,8	6,38	7,9	8,2	8,02	87,0	92,0	90,2
21. Lauffohr rechts	7,0	14,0	9,48	6,8	7,8	7,45	7,95	8,2	8,02	85,0	93,0	90,4
22. Stilli links	6,0	16,0	9,36	5,3	6,2	5,63	7,85	8,15	8,00	85,0	92,5	89,3
23. Stilli rechts	5,0	13,5	8,08	6,8	7,8	7,18	7,85	8,1	8,00	87,0	94,0	90,8

Wellenlänge 575 m $\mu$  Schichtdicke 20 mm

lagen als Ammoniak und Nitrat vor. Der BSB<sub>5</sub>-Wert scheint etwas günstiger zu liegen als in der Glarner Linth, doch darf nicht übersehen werden, daß der Großteil der Abwässer aus den Randgemeinden der Linthebene mit 16 700 Einwohnern in die verschiedenen Hintergräben wie Schwerzibach, Wildbachkanal, Chettenkanal, Mülibachkanal, Tuggenerkanal, Friedgrabenkanal, Flößgraben und Alt Linth gelangt, wo die Selbstreinigung nicht so weit geht wie in der Linth.

Die Hintergräben, deren Sauerstoffsättigung ein Defizit von 9—14 Prozent aufweist, führen Gehalte an oxydierbaren Stoffen, die sogar an diejenigen der Limmat unterhalb der Stadt Zürich heranreichen. Ähnliches gilt für alle anderen Abwasserkomponenten. Erwartungsgemäß führen die Hintergräben bedeutende Konzentrationen an Eisenverbindungen, die aus der Linthebene stammen.

Die übrigen, mit der Untersuchung nicht erfaßten Zuflüsse zum Obersee, wie die Abflüsse der Kraftwerke im Wägital und am Sihlsee sowie die Jona, führen weitere mineralisierbare Abgänge von über 60 000 Einwohnern in den Obersee.

### 3. Limmat

Im engeren Stadtgebiet wurde der Limmat am Untersuchungstag, abgesehen vom weiter oben verunreinigten Wasser der Sihl, kein Abwasser zugeleitet, weshalb die Zusammensetzung des Limmatwassers bis zur Wasserbrücke und sogar bis Unterengstringen praktisch unverändert blieb. Nur die Zahl der Colibakterien erfuhr auf dieser Strecke eine wesentliche Erhöhung und deutete an, daß, obwohl die chemische Untersuchung nur eine geringe Zunahme der Verunreinigungsindikatoren erkennen ließ, doch erheb-

liche Abwassermengen aus den rechtsufrigen Dörfern Ober- und Unterengstringen (5200 Einwohner) in die Limmat gelangen. Im großen und ganzen kann die Limmat zwischen Quaibrücke und Werdhölzli als verhältnismäßig gutes und sauberes Gewässer gelten.

Dieser Zustand ändert sich vollständig, nachdem linksseitig das teils ungeklärte Abwasser von Zürich, Zollikon und Kilchberg mit total 366 000 Einwohnern in die Limmat gelangte. In den Tabellen Nrn. 2, 3, 5—8 sind die wichtigsten Abwasserkomponenten als Tagesmittelwerte dargestellt; die Differenzen zwischen Minimum und Maximum zeigen den gewaltigen Umschwung im Chemismus des Wassers. Um einen besseren Überblick zu bekommen, sind die wichtigsten Ergebnisse der drei Stellen Wasserwehr, Unterengstringen und Industriebrücke denjenigen des Werdhölzli gegenübergestellt.

	Limmat beim Wasser- wehr	Werd- hölzli Ab- wasser	Limmat bei Un- tereng- stringen	Limmat bei In- dustrie- brücke
Sauerstoffgehalt mg/l	11,0	ca. 2-3	10,4	10,5
Biochemischer Sauerstoffbedarf mg/l	1,4	143,4	9,7	7,0
Kalium- permanganat- verbrauch mg/l	6,4	342	21,9	16,7
Ammoniak mg N/l	0,032	9,0	1,224	0,824
Nitrit mg N/l	0,002	0,12	0,021	0,0155
Nitrat mg N/l	0,42	2,32	0,42	0,42
Kjeldahlstick- stoff mg N/l	0,92	24,2	3,22	2,58
Phosphate mg P/l	0,048	4,6	0,266	0,295
Gesamt- phosphor mg P/l	0,06	5,3	0,418	0,478
Chloride mg Cl'/l	1,32	69,5	5,58	4,53
Colibakterien pro ml	69	viele	5200	4400

Sauerstoffkonzentration und biochemischer Sauerstoffbedarf

Tabelle 3

Probenahmestellen	Sauerstoffgehalt mg/l			Sauerstoffsättigung in %			Sauerstoffmenge		Bioch. Sauerstoffbedarf mg/l			Biochemischer Sauerstoffbedarf	
	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen
1. Tierfeld	10,8	12,3	11,7	97	108	104	34,35	0,8	0,0	1,6	0,7	2,2	0,05
2. Schwanden	10,6	12,1	11,6	96	108	103	418,7	10,0	0,8	3,0	1,8	64,1	1,5
3. Glarus	10,7	11,9	11,3	99	107	102	457,3	11,0	1,2	7,8	3,7	149,8	3,4*
4. Gäsi	10,7	12,5	11,5	95	112	101	698,2	16,8	1,4	6,5	4,0	239,5	5,7
5. Biäsche	11,1	11,8	11,3	96	102	98	1 186,8	28,5	0,8	3,9	1,7	175,8	4,2
6. Bilten	10,6	12,2	11,2	92	110	98	1 175,7	28,2	1,0	3,5	1,8	188,4	4,5
7. Grynau	10,6	13,8	11,7	92	124	104	1 233,8	29,6	0,9	2,6	1,6	164,5	3,9
8. Hintergraben rechts	8,0	12,0	10,0	72	112	91	197,4	4,7	2,3	5,7	4,0	78,8	1,9
9. Hintergraben links	7,5	11,8	9,2	66	116	86	353,4	8,5	1,4	2,9	2,1	81,0	1,9
10. Seedamm Hurden	11,5	13,2	12,1	97	112	102	2 762,7	66,3	0,5	2,3	1,2	262,9	6,3
11. Quaibrücke	10,0	11,2	10,7	86	98	92	2 483,0	59,6	0,1	1,7	1,0	244,3	5,9
12. Sihl	10,3	13,6	11,5	93	122	102	189,9	4,6	1,6	3,3	2,1	34,8	0,8
13. Wasserwehr	10,4	12,3	11,0	89	106	94	2 739,0	65,7	0,7	2,2	1,4	346,5	8,3
14. Unterengstringen links	9,4	11,2	10,4	81	99	90	2 568,6	61,6	3,1	22,0	9,7	2400,0	57,6
15. Unterengstringen rechts	10,4	13,9	11,7	88	122	100	2 889,0	69,3	1,1	3,7	2,1	517,6	12,4
16. Industriebrücke	9,5	11,8	10,5	82	105	91	2 681,0	64,3	1,8	14,4	7,0	1777,0	42,6
17. Chessel	9,9	12,7	10,8	85	111	93	2 749,9	66,0	3,8	21,5	10,2	2614,0	62,7
18. Wettingen	9,7	12,0	10,4	84	105	90	2 647,0	63,5	3,3	7,6	5,3	1363,0	32,7
19. Schiffmühle Turgi	9,4	11,4	10,2	82	102	89	2 601,0	62,4	2,6	8,1	5,4	1395,0	33,5
20. Lauffohr links	10,8	12,0	11,2	95	106	98,5	10 446,0	250,7	3,5	6,1	4,35	4061,0	97,4
21. Lauffohr rechts	10,1	12,3	11,0	92	112	99	2 154,0	51,7	3,6	6,0	4,8	933,9	22,1
22. Stilli links	10,7	11,3	11,1	92	99	96,5	15 682,0	376,4	3,3	5,2	4,2	5952,0	142,8
23. Stilli rechts	9,7	11,4	11,0	95	103	99	15 507,0	72,2	3,3	4,8	3,9	5579,0	133,9

\* 23 Werte

Tagessummen der Belastung der Linth-Limmat in %, bezogen auf die Stelle Schiffmühle Turgi (Nr. 19)

Tabelle 4

Probenahmestellen	Ein- wohner*		Wassermenge		Sauerstoffgehalt		Biochemischer Sauerstoffbedarf		Kaliumpermanganat- verbrauch		Ammoniak		Nitrit		Nitrat		Kjeldahl-Stickstoff		Gesamtstickstoff		Phosphat		Gesamtposphor		Chlorid	
	%		m³/s	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%
1. Tierfeld	0	8,91	1,4		824	1,3	53	0,16	114	0,15	3	0,1	0	0	23	0,6	13	0,2	36	0,4	0,7	0,1	0,7	0,1	25	0,1
2. Schwanden	1,7	10,1	14,2		10 050	16,1	1 538	4,6	3 372	4,8	33	1,1	0	0	413	11,8	880	13,7	1 293	13,0	13,0	1,8	8,7	0,8	695	4,1
3. Glarus	3,0	11,2	15,8		10 975	17,6	3 444	10,3	7 692	9,2	77	2,6	0	0	520	14,9	730	11,4	1 250	12,6	27,0	3,7	16,9	1,6	1 077	6,3
4. Gläsi	4,5	16,9	23,8		16 757	26,8	5 749	17,2	10 144	13,5	82	2,8	2,5	2,0	574	16,4	560	8,7	1 133	11,4	38,3	5,3	35,9	3,4	1 200	7,0
5. Büsche	7,2	29,2	41,2		28 483	45,6	4 218	12,6	8 273	11,0	0	0,0	0,2	0,2	968	27,7	670	10,4	1 637	16,5	54,6	7,5	50,5	4,8	1 379	8,1
6. Hiltten	7,8	29,2	41,2		28 218	45,2	4 521	13,5	7 949	10,6	2	0,1	1,4	1,0	968	27,7	320	5,0	1 288	13,0	26,3	3,6	25,3	2,4	1 190	7,0
7. Grynau	7,8	29,2	41,2		29 612	47,4	3 948	11,8	14 497	20,0	105	3,6	5,2	4,0	1 332	38,1	730	11,4	2 062	20,8	57,0	8,4	82,1	7,9	2 421	14,2
8. Hintergraben rechts	1,3	5,5	7,7		4 737	7,6	1 891	5,6	6 631	8,8	107	3,7	4,1	3,2	336	9,6	320	5,0	655	6,6	23,2	3,2	30,9	3,0	855	5,0
9. Hintergraben links	1,0	10,7	15,1		8 481	13,6	1 945	5,8	10 646	14,8	393	13,6	7,2	5,6	847	24,2	810	15,6	1 657	16,7	38,2	5,3	55,5	5,3	2 458	14,4
10. Seedamm Hürden	18,6	63,5	89,6		66 305	106,2	6 309	18,8	41 537	55,4	192	6,6	7,6	5,8	3 829	109,4	1 520	23,8	5 349	53,9	132,6	18,3	178,3	17,1	6 492	38,0
11. Quäbrücke	33,4	64,24	90,6		59 595	95,5	5 864	17,5	31 290	41,8	123	4,2	17,7	13,7	2 357	67,4	577	89,9	8 126	81,9	226,6	31,2	291,3	27,9	6 938	40,7
12. Sihl	35,3	4,58	6,5		4 558	7,3	835	2,5	5 963	8,0	56	1,9	3,0	2,3	207	5,9	490	7,6	697	7,0	15,3	2,1	24,7	2,4	727	4,3
13. Wasserwehr	36,5	65,8	97,1		65 736	105,3	8 915	24,8	37 896	50,6	193	6,7	11,9	9,2	2 513	71,9	5 560	86,5	8 073	81,4	287,1	39,6	356,8	34,2	7 880	48,2
14. Unterensträngen links	86,0	68,8	97,1		61 646	98,8	57 595	172,1	125 971	168,0	7 284	252,4	122,7	94,7	2 438	71,4	19 210	289,2	21 708	218,9	1585,7	218,6	2369,2	228,9	33 210	194,6
15. Unterensträngen rechts	86,0	68,8	97,1		69 340	111,1	12 422	37,1	45 489	60,7	360	12,5	25,1	19,4	2 496	71,4	6 330	98,6	8 825	89,0	287,4	39,6	371,8	35,8	8 684	50,9
16. Industriebrücke	86,2	70,8	99,9		64 346	103,1	42 639	127,4	102 326	136,5	5044	174,8	95,2	73,4	2 564	73,3	15 810	246,3	18 374	185,3	1806,4	249,0	2926,0	280,2	27 733	162,5
17. Chessel	92,0	70,85	100,0		65 982	105,7	62 740	187,4	102 685	137,0	2892	100,2	111,2	85,8	3 129	89,4	5 630	87,7	8 759	88,3	614,0	84,8	970,4	92,9	13 549	78,0
18. Wettingen	93,4	70,85	100,0		65 521	101,8	32 706	97,7	77 585	103,5	2639	91,4	118,4	91,4	3 171	90,7	5 520	81,3	8 391	84,6	675,0	90,1	1 058,8	101,4	15 821	95,0
19. Schiffmühle Turgi	100,0	70,85	100,0		62 425	100,0	33 471	100,0	74 937	100,0	2885	100,0	129,6	100,0	3 497	100,0	6 420	100,0	9 917	100,0	725,3	100,0	1044,2	100,0	17 064	100,0
20. Laufrohr links		259,6	366,4		250 698	401,6	97 456	291,2	696 389	929,3	2306	119,2	484,7	374,1	28 865	825,0	17 990	279,3	46 794	471,8	782,5	105,9	1592,6	152,5	100 576	589,0
21. Laufrohr rechts		54,5	76,9		51 702	82,8	22 414	67,0	205 949	273,6	447	15,5	80,8	62,4	2 518	72,0	2 130	33,2	4 448	46,8	110,0	15,2	129,9	12,4	11 680	68,4
22. Stilli links		393,4	555,2		376 359	602,9	142 840	427,0	1 090 645	1 455,0	2195	76,0	736,3	568,0	39 744	1 165,0	19 560	304,7	59 304	598,0	1157,5	159,6	1448,7	138,3	220 303	772,0
23. Stilli rechts		393,4	555,2		327 160	596,2	133 903	400,0	940 526	1 262,0	6142	212,9	707,0	546,0	31 653	905,2	20 880	325,2	52 533	529,7	1967,7	271,3	2721,4	260,6	165 444	982,0

\* summiert

Effektive und theoretische Belastung von Linth und Limmat

Tabelle 9

Probenahmestellen	Ein- wohner	Total Biochem. Sauerstoff Bedarf kg/Tag	Total Kalium- permang. Verbrauch kg/Tag	Gesamt Stick- stoff kg/Tag	Gesamt Phosphor kg/Tag	Chloride kg/Tag	Biochemischer Sauerstoffbedarf			Kaliumpermanganatverbrauch			Gesamt Stickstoff			Gesamt Phosphor			Chloride			Einwohnergleichwerte aufgerundet auf 100					Eff. Ein- wohner summiert					
							summiert (1)	gemessen (2)	Differenz (1) > (2) = - (1) < (2) = +	summiert (1)	gemessen (2)	Differenz (1) > (2) = - (1) < (2) = +	summiert (1)	gemessen (2)	Differenz (1) > (2) = - (1) < (2) = +	summiert (1)	gemessen (2)	Differenz (1) > (2) = - (1) < (2) = +	summiert (1)	gemessen (2)	Differenz (1) > (2) = - (1) < (2) = +	BSB <sub>5</sub>	KMnO <sub>4</sub>	Ges. N	Ges. P	Chloride						
1. Tierfeld								53	+	83		113	+	113		36	+	36		0,7	+	0,7		25	+	25	1 100	900	3 000	200	1 300	0
2. Schwanden	12 912	645	1 614	155	39	258	645	1 538	+	893	1 614	5 572	+	3 958	155	1 593	+	1 384	39	8,7	—	30,3	258	695	+	437	30 800	28 600	103 400	2 900	34 700	12 912
3. Glarus	10 770	538	1 346	129	32	215	1 183	3 444	+	2 261	2 960	7 692	+	4 732	284	1 250	+	966	71	16,9	—	64,1	473	1 077	+	604	68 900	61 500	104 100	5 600	53 800	23 682
4. Gläsi	9 600	480	1 200	115	29	192	1 663	5 749	+	4 086	4 160	10 144	+	5 984	399	1 133	+	734	100	35,9	—	64,1	656	1 200	+	535	120 000	81 100	94 400	12 000	60 000	33 282
5. Büsche	20 019	1 001	2 502	240	60	400	2 664	4 218	+	1 554	6 662	8 273	+	1 611	639	1 637	+	1 732	100	50,5	—	109,5	1 065	1 379	+	314	84 400	66 200	136 400	16 800	68 900	53 301
6. Hiltten	4 682	234	585	56	14	94	2 898	4 521	+	1 623	7 247	7 949	+	7 02	695	1 288	+	593	174	25,3	—	148,7	1 159	1 190	+	31	90 400	63 600	107 300	8 400	59 500	57 983
7. Grynau	4 682	—	585	56	14	94	2 898	3 948	+	1 050	7 247	14 497	+	7 250	695	2 062	+	1 367	174	82,1	—	91,9	1 159	2 421	+	1 262	79 000	116 000	171 800	27 300	121 000	67 983
8. Hintergraben rechts	9 765	488	1 220	117	29	195	488	1 891	+	1 403	1 220	6 631	+	5 411	117	655	+	538	29	30,9	+	1,9	195	855	+	660	17 800	53 000	54 600	10 300	42 800	9 765
9. Hintergraben links	7 006	350	876	84	21	140	350	1 945	+	1 595	876	10 646	+	9 770	84	1 657	+	1 573	21	55,5	+	34,5	140	2 458	+	2 318	39 000	85 200	138 000	18 500	122 900	7 006
10. Seedamm Hürden	62 875	3 144	7 859	754	189	1 257	6 880	6 309	—	571	17 202	41 537	+	24 335	1 650	5 349	+	3 699	413	178,3	—	234,7	2 751	6 492	+	3 741	126 200	332 300	445 600	59 400	324 600	137 629
11. Quäbrücke	109 395	5 170	13 674	1 512	328	2 188	12 350	5 864	—	6 486	30 870	31 290	+	414	2 962	8 126	+	5 164	741	291,3	—	440,7	4 939	6 938	+	1 999	117 300	250 300	676 900	97 000	246 900	247 024
12. Sihl	14 251	712	1 781	171	43	285	712	835	+	123	1 781	5 963	+	4 182	171	697	+	526	43	24,7	—	18,3	285	727	+	442	16 700	47 700	58 100	8 200	36 300	14 251
13. Wasserwehr	9 085	454	1 156	109	27	182	13 516	8 315	—	5 201	33 813	37 896	+	4 083	3 242	8 073	+	4 831	811	356,8	—	454,2	5 406	7 880	+	2 474	166 300	303 200	672 500	118 800	394 000	270 360
14. Unterensträngen links	366 749	18 337	45 844	4 400	1 100	7 335	31 853	37 595	+	25 742	79 657	125 971	+	46 214	7 642	21 708	+	14 066	1 911	2369,2	+	458,2	12 741	33 210	+	20 469	1 151 900	1 007 000	1 808 300	788 900	1 660 500	637 109
15. Unterensträngen rechts		1 101	55	138	13	3	31 853	12 422	—	19 431	79 657	45 489	—	34 168	7 642	8 825	+	1 183	1 911	371,8	—	1539,2	12 741	33 210	+	20 469	1 151 900	1 007 000	1 808 300	788 900	1 660 500	637 109
16. Industriebetriebe	1 101	55	138	13	3	233	31 853	42 639	+	10 791	79 657	102 326	+	22 531	7 642	18 374	+	10 120	1 914	2296,9	+	1012,0	12 763	27 733	+	14 070	1 151 900	1 007 000	1 808 300	788 900	1 660 500	637 109
17. Chessel	42 554	2 128	5 310	510	128	851	34 036	62 740	+	28 704	85 114	102 685	+	17 571	8 193	18 374	+	10 120	1 914	2296,9	+	1012,0	12 763	27 733	+	14 070	1 151 900	1 007 000	1 808 300	788 900	1 660 500	637 109
18. Wettlingen	10 682	534	1 335	125	32	214	34 570	32 706	—	1 864	85 114	102 685	—	1 864	8 193	18 374	+	10 120	1 914	2296,9	+	1012,0	12 763	27 733	+	14 070	1 151 900	1 007 000	1 808 300	788 900	1 660 500	637 109
19. Schifflühle Turgi	48 645	2 432	6 080	584	146	973	37 002	33 471	—	5 351	92 529	74 937	—	17 792	8 877	9 917	+	1 040	2 220	1044,2	—	1175,5	14 801	17 064	+	2 253	609 400	526 100	247 700	74 001	247 700	74 001
20. Laufhof links																																
21. Laufhof rechts																																
22. Still links																																
23. Still rechts																																
Total:	740 091	37 002	92 529	8 877	2 220	14 805																										

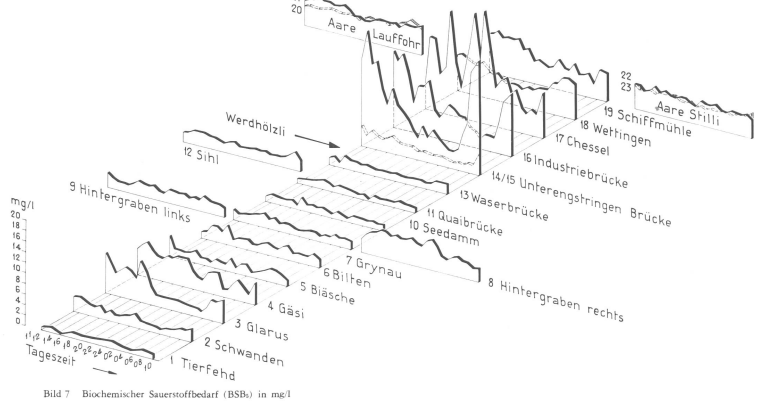
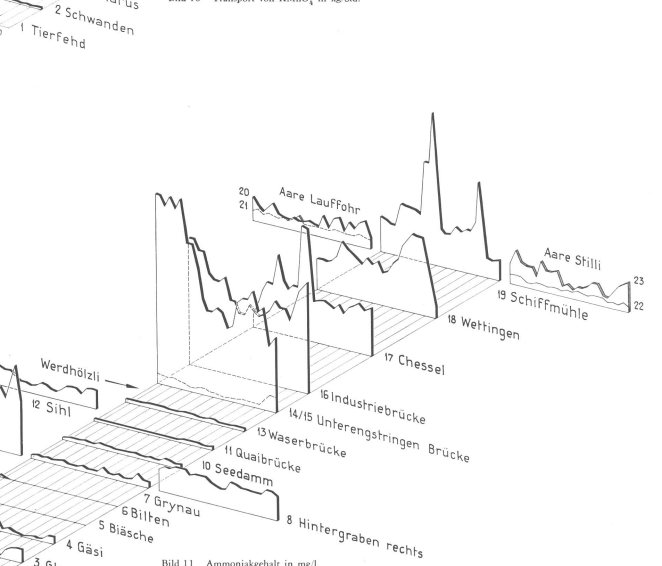
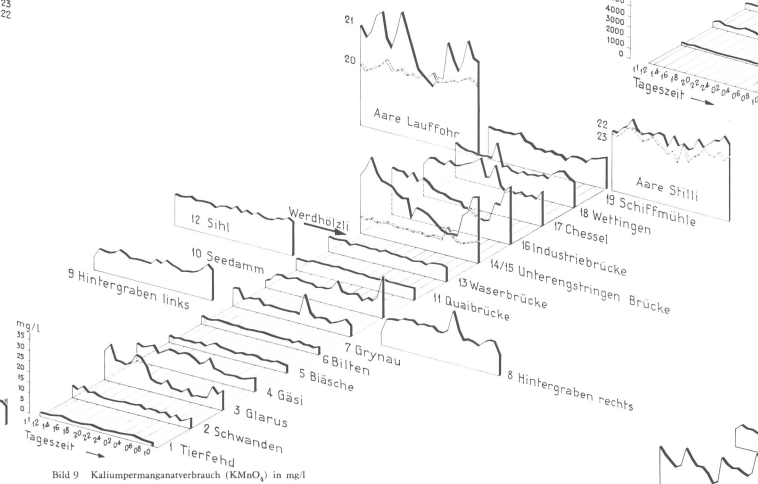
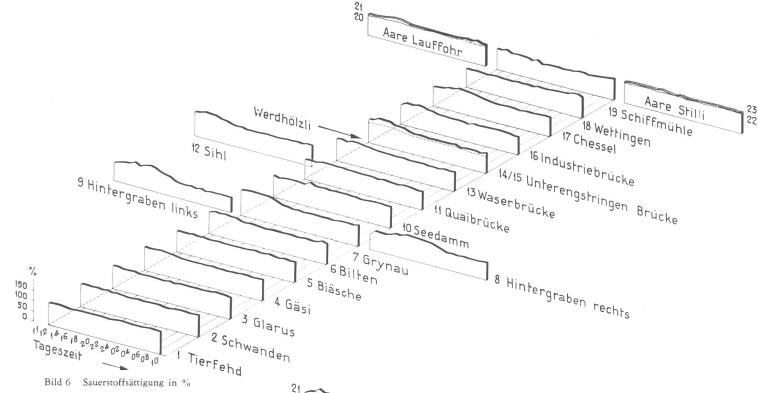
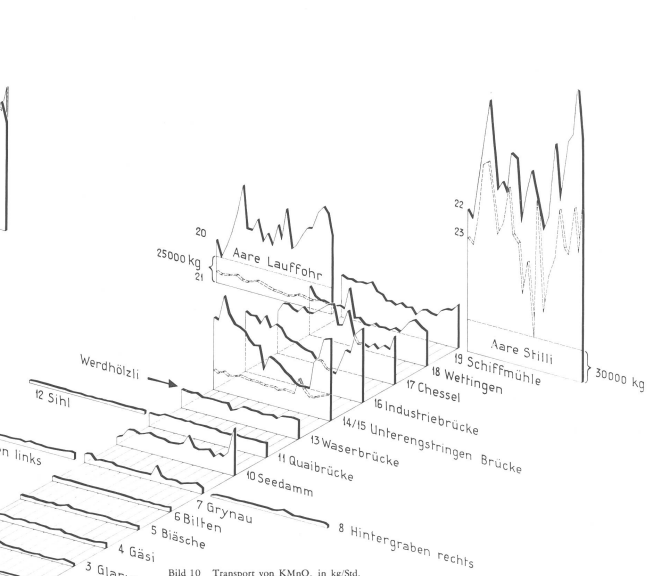
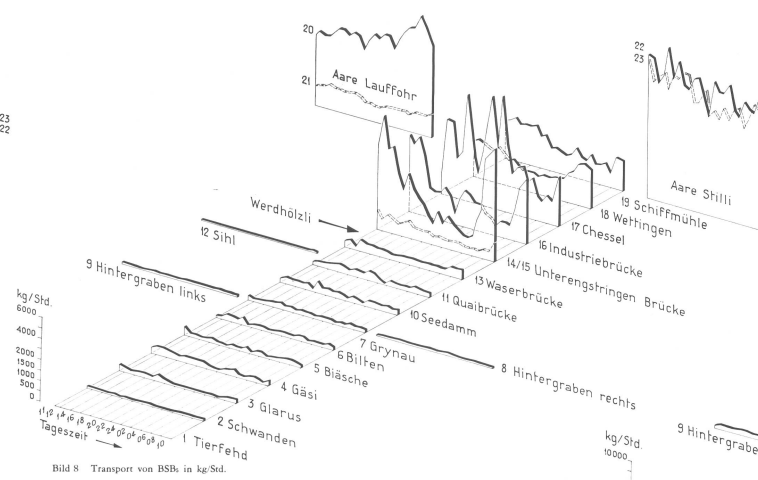
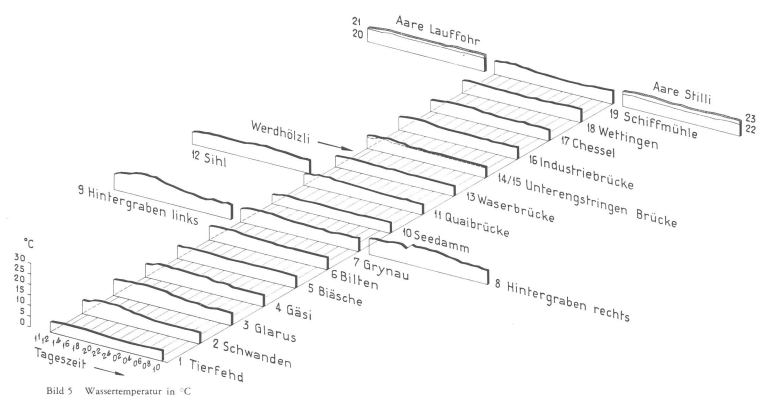
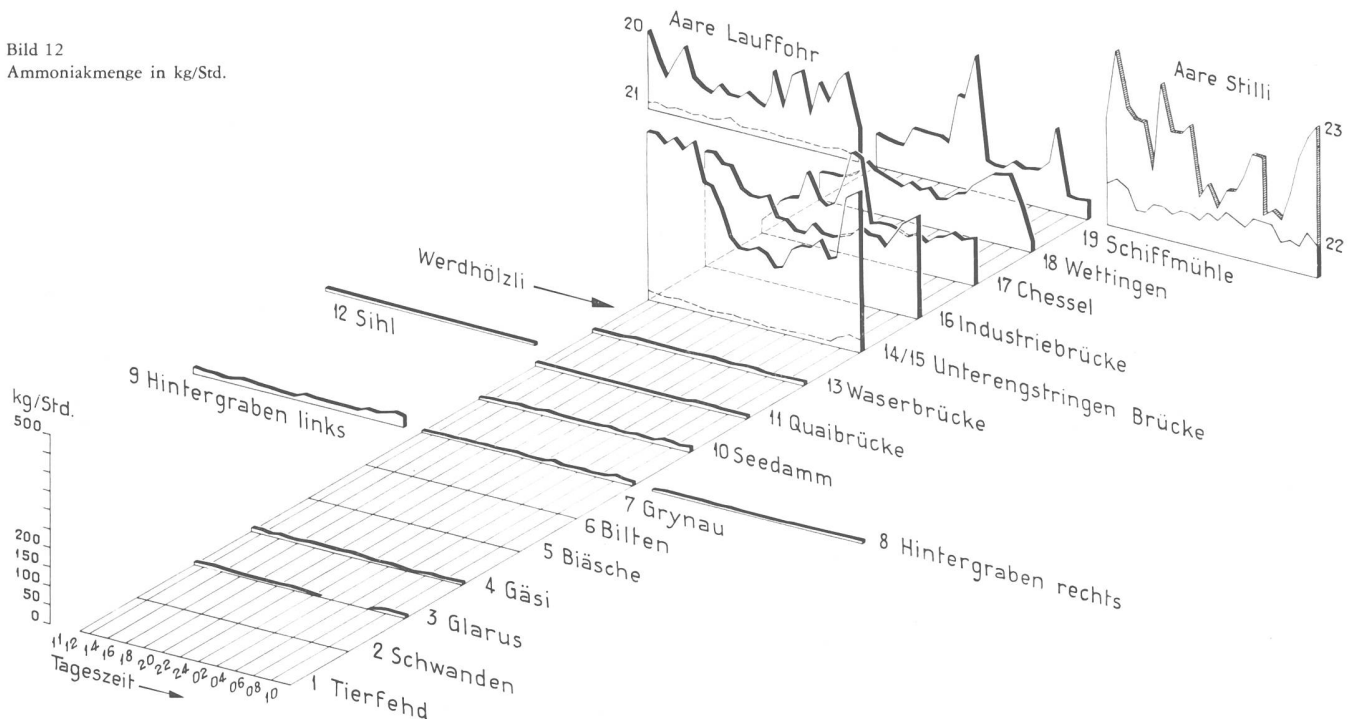


Bild 12  
Ammoniakmenge in kg/Std.



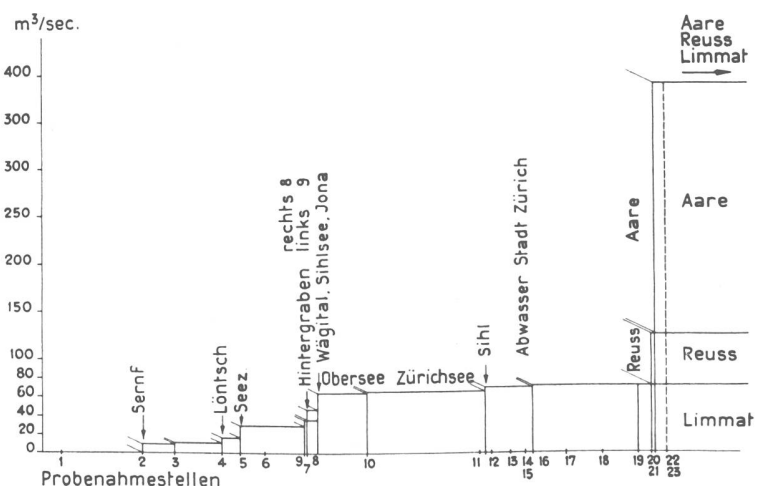
Gemessen an der Wasserführung wird das Abwasser des Werdhölzli bis zur Industriebrücke somit 27mal verdünnt. Die Berechnung der Verdünnung auf Grund der Abwasserkomponenten ergibt die nachstehenden Werte:

BSB<sub>5</sub> 25,6:1; KMnO<sub>4</sub> 33:1; Ammoniak 11,3:1; Kjeldahl-Stickstoff 14,7:1; Phosphate 18,6:1; Gesamtphosphor 12,6:1 Chloride 21,6:1. Natürlich ist es kaum möglich, daß man mit einem einzigen Beobachtungspunkt in einem einseitig mit Abwasser belasteten Fluß Proben erhalten kann, die für die gesamte Flußbreite repräsentativ sind. Die vorstehend genannten Verdünnungswerte zeigen aber, daß die Stelle an der Industriebrücke trotz allem nicht schlecht gewählt war, liegt doch der Wert für den biochemischen Sauerstoffbedarf in der Limmat in der richtigen Größenordnung, wenn die Verdünnung des Abwassers berücksichtigt wird. Der Kaliumpermanganatwert liegt dagegen etwas höher und die Chloridzahl etwas tiefer.

Bei der Unterengstringerbrücke links und bei der Industriebrücke weist das Limmatwasser eine Zusammensetzung auf, die man zumindest als bedenklich bezeichnen muß. Ständig war es durch Papierfetzen, Sphärotillusflocken und andere Stoffe getrübt, zudem grau verfärbt. Der Gehalt an organischen Stoffen ist zu hoch, als daß der vorhandene Sauerstoff zu ihrem Abbau ausreichen würde, müssen doch im Tagesmittel Stoffe biochemisch abgebaut werden, die einen BSB<sub>5</sub> von 9,7 mg/l verursachen. Zudem sind auch die Stickstoff- und Phosphorverhältnisse grundsätzlich anders als in den Seen und in nicht verunreinigten fließenden Gewässern.

Im Stauraum von Wettingen, dem zudem noch die Abwässer der Region Schlieren und Dietikon (42 000 Einwohner) zufließen, werden in erster Linie noch diejenigen Schwebestoffe abgelagert, die den Stau des Werkes in Dietikon passieren konnten. Das intensive

Bild 13  
Mittlere Wasserführung in m<sup>3</sup>/s am 11./12. März 1959



Kaliumpermanganatverbrauch und Chloridkonzentration

Tabelle 5

Probenahmestellen	Kaliumpermanganat- verbrauch mg/l			Kaliumpermanganat- verbrauch		Chloride mg/l			Chloride	
	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen
1. Tierfehd	1,1	2,5	1,6	4,7	0,1	0,3	0,5	0,4	1,0	0,02
2. Schwanden	2,4	6,7	4,1	148,8	3,6	0,6	1,2	0,8	29,0	0,69
3. Glarus	2,5	17,1	8,1	320,5	7,7	0,7	1,7	1,1	44,9	1,08
4. Gäsli	4,1	9,9	7,02	422,6	10,1	0,5	2,7	0,8	50,0	1,20
5. Biätsche	2,4	4,9	3,27	344,7	8,3	0,4	0,8	0,55	57,4	1,38
6. Bilten	2,4	3,9	3,1	331,2	7,9	0,4	0,7	0,48	49,6	1,19
7. Grynnau	3,8	14,2	5,74	604,0	14,5	0,7	1,2	0,96	100,9	2,42
8. Hintergraben rechts	6,3	25,0	14,0	276,3	6,6	0,8	3,2	1,8	35,6	0,86
9. Hintergraben links	6,8	16,6	11,3	436,1	10,5	1,6	8,2	2,66	102,4	2,46
10. Seedamm Hurden	3,3	19,6	7,57	1730,7	41,5	0,9	1,6	1,18	270,5	6,49
11. Quaibrücke	5,1	6,2	5,64	1303,8	31,3	1,2	1,3	1,25	289,1	6,94
12. Sihl	13,5	17,2	15,05	248,4	6,0	1,5	2,1	1,84	30,3	0,73
13. Wasserwehr	5,4	7,3	6,37	1579,0	37,9	1,2	1,6	1,32	328,3	7,88
14. Unterengstringen links	9,9	36,8	21,13	5245,0	125,9	2,3	10,1	5,58	1383,8	33,21
15. Unterengstringen rechts	6,4	13,2	7,65	1895,0	45,5	1,3	1,7	1,45	360,3	8,68
16. Industriebrücke	8,1	27,3	16,7	4264,0	102,3	2,0	7,8	4,53	1155,5	27,73
17. Chessel	11,6	24,1	16,72	4278,0	102,7	1,3	30,0	3,3	831,4	19,95
							3,8*	2,2*	564,6*	13,55*
18. Wettingen	9,1	21,0	12,64	3233,0	77,6	1,6	46,0	4,3	1084,2	26,02
							4,2*	2,4*	658,5*	15,82*
19. Schiffmühle Turgi	8,3	15,7	12,25	3122,0	74,9	1,6	3,8	2,8	711,0	17,06
20. Lauffohr links	26,4	35,2	31,06	29 016,0	696,4	3,9	5,9	4,5	4190,7	100,58
21. Lauffohr rechts	27,0	58,8	43,51	8544,0	205,0	1,8	3,2	2,5	486,7	11,68
22. Stilli links	27,7	39,3	32,18	45 443,0	1090,6	3,2	35,4	6,5	9179,3	220,30
							4,8*	4,1*	5820,9*	139,70*
23. Stilli rechts	21,5	31,8	27,81	39 397,0	945,5	3,8	13,6	4,9	6893,5	165,44
							5,2*	4,5*	6384,2*	153,22*

\* Unter Eliminierung der Extremwerte

Ammoniak und organische Stickstoffverbindungen

Tabelle 6

Probenahmestellen	Ammoniak mg/l			Ammoniak		Kjeldahl-Stickstoff mg/l			Kjeldahl- Stickstoff	Gesamt- Stickstoff	
	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel		Mittel mg/l	Summe Tonnen
1. Tierfehd	0	0,01	0,01	0,12	0,003	0,12	0,24	0,19	0,013	0,49	0,033
2. Schwanden	0,01	0,08	0,04	1,36	0,033	0,97	1,18	1,01	0,88	1,51	1,29
3. Glarus	0,01	0,14	0,08	3,19	0,077	0,32	0,96	0,55	0,53	1,05	1,05
4. Gäsli	0	0,11	0,06	3,42	0,082	0,28	0,45	0,38	0,56	0,77	1,13
5. Biätsche	0	0	0	0	0	0,16	0,35	0,26	0,67	0,65	1,64
6. Bilten	0	0,02	0	0,08	0,002	0,11	0,14	0,13	0,32	0,51	1,29
7. Grynnau	0,03	0,10	0,04	4,38	0,105	0,24	0,33	0,28	0,73	0,81	2,06
8. Hintergraben rechts	0,16	0,26	0,23	4,47	0,107	0,53	0,76	0,68	0,32	1,39	0,65
9. Hintergraben links	0,21	0,84	0,42	16,37	0,393	0,75	1,03	0,88	0,82	1,80	1,67
10. Seedamm Hurden	0,02	0,06	0,04	8,00	0,192	0,25	0,31	0,28	1,52	0,98	5,35
11. Quaibrücke	0,02	0,03	0,02	5,11	0,122	0,86	1,20	1,04	5,77	1,46	8,13
12. Sihl	0,07	0,22	0,14	2,33	0,056	0,96	1,44	1,24	0,49	1,76	0,70
13. Wasserwehr	0,02	0,04	0,03	8,05	0,193	0,72	1,32	0,94	5,56	1,36	8,07
14. Unterengstringen links	0,68	1,80	1,22	303,51	7,284	2,10	5,40	3,22	19,21	3,64	21,71
15. Unterengstringen rechts	0,02	0,15	0,06	15,00	0,360	0,96	1,20	1,06	6,33	1,48	8,83
16. Industriebrücke	0,60	1,20	0,82	210,20	5,044	1,80	3,60	2,58	15,81	3,00	18,37
17. Chessel	0,16	1,08	0,47	120,48	2,892	0,18	1,40	0,92	5,63	1,43	8,76
18. Wettingen	0,11	0,74	0,43	109,94	2,639	0,65	1,25	0,85	5,22	1,37	8,39
19. Schiffmühle Turgi	0,16	1,43	0,47	120,22	2,885	1,00	1,10	1,05	6,42	1,62	9,92
20. Lauffohr links	0,09	0,25	0,15	136,09	3,266	0,60	1,00	0,80	17,93	2,09	46,79
21. Lauffohr rechts	0,08	0,15	0,10	18,64	0,447	0,25	0,90	0,45	2,10	0,99	4,62
22. Stilli links	0,04	0,09	0,06	91,44	2,195	0,50	0,70	0,58	19,56	1,75	59,30
23. Stilli rechts	0,80	0,32	0,18	225,91	6,142	0,10	1,25	0,61	20,88	1,54	52,53

Bakterienwachstum hat eine Erhöhung der Trübungswerte zur Folge. Leicht verfaulbares Schlammmaterial, das sich — gasend — vom Boden abhob, verursachte eine weitere Erhöhung des BSB<sub>5</sub>-Wertes, während der KMnO<sub>4</sub>-Wert ungefähr gleich blieb, so daß sich Zufuhr und Selbstreinigung praktisch die Waage hielten. Die übrigen Abwasserkomponenten verminderten sich dagegen sehr wesentlich, was sich am deutlichsten in den Colizahlen auswirkte.

Vom Chessel bis zum Unterwasserstollen des Kraftwerkes Wettingen war eine weitere Elimination der organischen Schmutzstoffe festzustellen, und zwar auf Kosten des gelösten Sauerstoffes. Immerhin war das den Stauraum verlassende Wasser zu 90 % gesättigt, wobei freilich einige Prozente auf die starke Turbulenz im Auslaufstollen zurückgehen dürften. Der BSB<sub>5</sub> und die Oxydierbarkeit sind rund 30 % tiefer als am oberen Ende des Staues, und auch die Stickstoffverbindungen werden in einem gewissen Ausmaß eliminiert.

Trotzdem ist die Qualität des Limmatwassers beim Eintritt in die Region Baden-Wettingen noch durchaus ungenügend und nicht in der Lage, noch weitere Abwasserlasten zu verarbeiten.

Die Abwasserzufuhr aus der Region Baden (43 000 Einwohner) summiert sich mit derjenigen des oberen Limmattales, so daß die Aare schließlich 33,5 Tonnen BSB<sub>5</sub> pro Tag aufzunehmen hat, gegenüber 62,4 Tonnen Sauerstoff. Entsprechend hoch sind die Konzentrationen an Ammoniak, während der Kjeldahl-Stickstoff wiederum den gleichen Wert erreichte, wie ihn die Limmat an der Quaibrücke aufwies.

Die einzelnen Abwasserkomponenten haben sich, um die Veränderungen von der Quaibrücke bis Lauffohr zu illustrieren, bis zum Ende der Strecke um die folgenden Werte vervielfacht:

BSB<sub>5</sub> 5,4mal; KMnO<sub>4</sub> 2,2mal; Ammoniak 21,5mal; Nitrit 6,6mal; Nitrat 1,3mal; Kjeldahl-Stickstoff 1,0mal; Phosphor 2,9mal; Gesamtphosphor 3,3mal; Chloride 2,2mal.

Demnach bewegen sich diese Faktoren, mit Ausnahme des Ammoniaks in den Grenzen von 1—6,6, wobei die wichtigsten Komponenten, nämlich Phosphor und Stickstoff, im unteren Teil dieses Bereiches bleiben.

#### 4. Aare—Reuß—Limmat

Aus der folgenden Übersicht geht hervor, wie unterschiedlich sich die Qualität der drei Hauptflüsse präsentiert:

	Limmat		Aare	Reuß
	Quaibrücke	Schiffmühle	Lauffohr	Lauffohr
Lichtdurchlässigkeit in %	99,6	91,4	90,2	90,4
Sauerstoffsättigung in %	92	89	98,5	99
BSB <sub>5</sub> mg/l	1,0	5,4	4,35	4,8
Kaliumpermanganatverbrauch mg/l	5,64	12,25	31,06	43,51
Ammoniak mg N/l	0,022	0,473	0,146	0,095
Phosphat mg P/l	0,041	0,118	0,035	0,023
Chloride mg Cl/l	1,25	2,8	4,5	2,5
Colibakterien pro ml	4	320	136	74

Die Trübung zeigt keine großen Unterschiede, wohl aber der Sauerstoffgehalt und dementsprechend der Sättigungswert. Die Limmat steht hier zuhinterst, da es auf der Fließ-Strecke vom Werdhölzli bis zur Mündung offenbar nicht möglich ist, den abwasserbedingten Sauerstoffverlust zu ergänzen. Die BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen liegen alle in der gleichen Größenordnung. Immerhin weist nicht etwa, wie man eigentlich vermuten sollte,

#### Anorganische Stickstoffverbindungen

Tabelle 7

Probenahmestellen	Nitrite mg/l			Nitrite		Nitrate mg/l			Nitrate	
	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen
1. Tierfehd	0	0	0	0	0	0,3	0,4	0,3	0,95	0,02
2. Schwanden	0	0	0	0	0	0,4	0,6	0,5	17,22	0,41
3. Glarus	0	0	0	0	0	0,5	0,7	0,5	21,67	0,52
4. Gäsi	0	0,005	0,0017	0,105	2,53	0,35	0,48	0,39	23,90	0,57
5. Biätsche	0	< 0,001	0	~ 0,008	0,21	0,33	0,44	0,39	40,31	0,97
6. Bilten	0	< 0,001	< 0,0005	~ 0,056	1,36	0,35	0,43	0,38	40,35	0,97
7. Grynau	< 0,001	0,004	~ 0,002	~ 0,215	5,15	0,35	0,70	0,53	55,48	1,33
8. Hintergraben rechts	0,006	0,014	0,009	0,171	4,10	0,60	1,05	0,71	13,98	0,33
9. Hintergraben links	0,004	0,010	0,008	0,300	7,20	0,75	1,25	0,92	35,31	0,85
10. Seedamm Hurden	< 0,001	0,003	~ 0,001	0,314	7,55	0,60	0,85	0,70	159,5	3,83
11. Quaibrücke	0,001	0,012	0,0032	0,74	17,72	0,35	0,55	0,42	98,19	2,36
12. Sihl	0,006	0,011	0,0076	0,126	3,02	0,45	0,65	0,52	8,62	0,21
13. Wasserwehr	0,001	0,005	0,002	0,496	11,90	0,35	0,50	0,42	104,72	2,51
14. Unterengstringen links	0,012	0,040	0,021	5,11	122,67	0,28	0,50	0,42	104,09	2,50
15. Unterengstringen rechts	0,001	0,015	0,0042	1,05	25,13	0,32	0,50	0,42	104,0	2,50
16. Industriebrücke	0,008	0,032	0,0155	3,96	95,16	0,35	0,50	0,42	106,8	2,56
17. Chessel	0,012	0,024	0,0182	4,63	111,15	0,43	0,62	0,51	130,4	3,13
18. Wettingen	0,015	0,024	0,0193	4,94	118,44	0,48	0,56	0,52	132,1	3,17
19. Schiffmühle Turgi	0,016	0,030	0,0211	5,40	129,56	0,53	0,63	0,57	145,7	3,50
20. Lauffohr links	0,018	0,027	0,0216	20,20	484,72	1,24	1,36	1,29	1202,7	28,86
21. Lauffohr rechts	0,015	0,020	0,0172	3,37	80,82	0,48	0,61	0,54	104,9	2,52
22. Stilli links	0,018	0,030	0,0217	30,68	736,31	1,12	1,23	1,17	1656,0	39,74
23. Stilli rechts	0,017	0,024	0,0208	29,46	707,00	0,88	1,01	0,93	1318,9	31,65

die Reuß die günstigsten Verhältnisse auf, sondern die Aare. Etwas merkwürdig präsentieren sich die Kaliumpermanganatwerte. Während nämlich die Selbstreinigung der Limmat die leicht abbaubaren Schmutzstoffe aus den häuslichen Abwässern auf Kosten des Sauerstoffes bis auf 12,25  $\text{KMnO}_4$  mg/l eliminierte, lagen in der Aare und namentlich in der Reuß ganz andere Verhältnisse vor.  $\text{BSB}_5$  und  $\text{KMnO}_4$  verhielten sich in den drei Gewässern wie folgt:

	$\text{BSB}_5$	:	$\text{KMnO}_4$
Aare	1		7,15
Reuß	1		9,08
Limmat	1		2,27
Kläranlage Werdhölzli Ablauf	1		2,38

Während sich die Werte von Werdhölzli und Limmat sozusagen decken, verschob sich bei der Aare und der Reuß das Verhältnis der abbaubaren organischen Stoffe stark zugunsten der nur durch chemische Oxydation erfassbaren Körper. Es kann sich hier weder um Kohlenhydrate noch um Eiweißverbindungen aus häuslichem Abwasser handeln. Dagegen liegt es nahe zu prüfen, in welchem Verhältnis  $\text{BSB}_5$ ,  $\text{KMnO}_4$  und die Nährstoffe zueinander stehen:

	$\text{BSB}_5$	$\text{KMnO}_4$	Stickstoff	Phosphor
Aare	100	715	48	1,6
Reuß	100	908	21	0,6
Limmat	100	227	30	3
Werdhölzli	100	238	19	3,7

Pro mg  $\text{BSB}_5$  standen im allgemeinen ausgeglichene Mengen Stickstoff zur Verfügung, dagegen sehr unterschiedliche Mengen Phosphor. In der Reuß und der Aare wird daher bei vollständigem Abbau der organischen Stoffe ein geringerer Phosphorüberschuß vorhanden sein als in der Limmat.

Das Abwasser, das in der Aare und der Reuß die hohen Permanganatwerte hervorruft, ist besonders arm an Stickstoff- und Phosphorverbindungen, wesentlich ärmer jedenfalls als häusliches Abwasser. Dieser Zusammensetzung entsprechen unter anderem die Abwässer aus textilverarbeitenden Betrieben oder Papier- oder Cellulosefabriken. Dieses aus der Rückschau eigentlich wenig überraschende Ergebnis ist eine wesentliche Feststellung, die man bei der Planung der Daueruntersuchung vom 11./12. März 1959 nicht im voraus erwartet hat.

Bei der Brücke Stilli sind die Verhältnisse nur wenig verschieden von denjenigen an den Mündungsgebieten von Reuß und Limmat. Weder genügt die kurze Fließstrecke, um die drei Flüsse miteinander zu mischen, noch erfolgt ein wesentlicher Abbau der Verschmutzungskomponenten.

Das Aarewasser, das in die Stauräume von Beznau und Klingnau einfließt, ist noch zu sehr mit abbaubaren Stoffen belastet, als daß es in den talabwärts liegenden Fließstrecken nicht zu Störungen im Gewässer selber und auch im Grundwasser führen kann.

#### 5. Walensee—Obersee—Zürichsee

Obschon sich die vorliegende Untersuchung hauptsächlich mit Fließgewässern befaßt, ist es nicht uninteressant, die Abflüsse von drei Seen zur gleichen Jahreszeit miteinander zu vergleichen.

Während im 150 m tiefen Walensee die Zirkulation lediglich eine Reduktion der Sauerstoffsättigung um 2% verursachte, macht sich diese Erscheinung im 140 m tiefen Zürichsee wesentlich stärker bemerkbar, nämlich um 8%. Der Abfluß des etwa 50 m tiefen Obersees weist dagegen eine leichte Übersättigung auf. Die  $\text{BSB}_5$ -Werte der Zuflüsse sinken aber in den Seen nicht

### Phosphorverbindungen

Tabelle 8

Probenahmestellen	Phosphate mg/l			Phosphate		Gesamtphosphor mg/l				Karbonat- härte franz. °H
	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Mittel kg/St.	Summe Tonnen	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel	Summe Tonnen	
1. Tierfehd	0,005	0,025	0,01	0,03	0,7	0,01	0,01	0,01	0,72	8,25
2. Schwanden	0,005	0,10	0,02	0,54	13,0	0,01	0,01	0,01	8,68	11,85
3. Glarus	0,01	0,045	0,03	1,12	27,0	0,01	0,03	0,02	16,94	12,50
4. Gäsi	0,01	0,06	0,027	1,60	38,3	0,02	0,04	0,025	35,94	11,95
5. Biäsche	0,00	0,16	0,021	2,28	54,6	<0,01	0,05	0,02	50,54	11,09
6. Bilten	0,00	0,03	<0,01	1,10	26,3	<0,01	<0,01	0,01	25,26	11,49
7. Grynau	0,02	0,03	0,023	2,41	57,9	0,03	0,04	0,033	82,11	11,86
8. Hintergraben rechts	0,03	0,07	0,049	0,96	23,2	0,06	0,08	0,065	30,89	21,09
9. Hintergraben links	0,03	0,06	0,041	1,59	38,2	0,05	0,07	0,06	55,48	26,56
10. Seedamm Hurden	0,02	0,03	0,024	5,52	132,6	0,03	0,04	0,033	178,31	13,82
11. Quaibrücke	0,03	0,05	0,041	9,44	226,6	0,04	0,07	0,052	291,33	13,12
12. Sihl	0,02	0,05	0,039	0,64	15,3	0,06	0,07	0,062	24,68	16,51
13. Wasserwehr	0,04	0,06	0,048	12,0	287,1	0,06	0,06	0,06	356,78	13,00
14. Unterengstringen links	0,13	0,48	0,266	66,1	1585,7	0,19	0,68	0,418	2369,2	14,29
15. Unterengstringen rechts	0,04	0,06	0,048	11,97	287,4	0,06	0,07	0,062	371,75	13,03
16. Industriebrücke	0,08	0,56	0,295	75,27	1806,4	0,26	0,70	0,478	2926,0	13,84
17. Chessel	0,037	0,158	0,100	25,62	614,9	0,033	0,23	0,158	970,4	13,22
18. Wettingen	0,061	0,171	0,110	28,12	675,0	0,13	0,23	0,17	1058,8	13,20
19. Schiffmühle Turgi	0,090	0,178	0,118	30,2	725,3	0,11	0,22	0,17	1044,2	13,20
20. Lauffohr links	0,007	0,061	0,035	32,6	782,5	0,057	0,085	0,069	1512,6	15,80
21. Lauffohr rechts	0,000	0,042	0,023	4,58	110,0	0,011	0,052	0,029	129,9	12,57
22. Stilli links	0,003	0,061	0,034	48,2	1157,5	0,029	0,054	0,042	1443,7	15,02
23. Stilli rechts	0,019	0,117	0,058	82,0	1967,7	0,070	0,100	0,079	2721,4	14,19

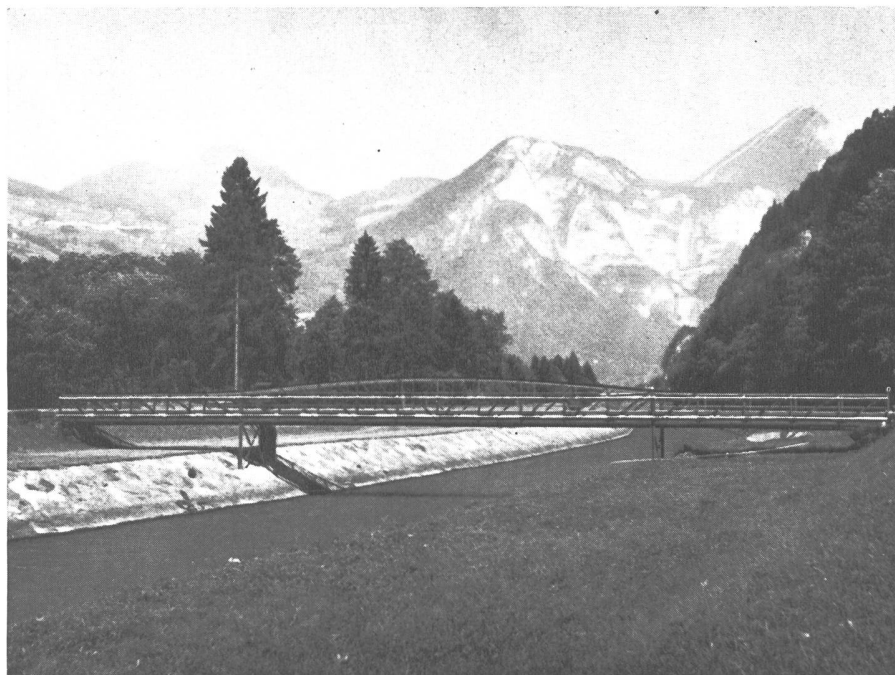


Bild 14  
Linthkanal bei Stelle 4 im Gäsi,  
Blick gegen Walensee

wesentlich ab — es sei daran erinnert, daß die Limmat immer noch einen BSB<sub>5</sub> von 1 mg/l aufwies, der zwar nicht durch Schmutzstoffe bedingt ist, sich aber trotzdem als Sauerstoffzehrung äußert. Entsprechend den höheren Algenmengen (*Oscillatoria*) stieg auch der Permanganatverbrauch vom Walensee zum Obersee, und parallel dazu ging auch die Stickstoffkonzentration in die Höhe, nämlich von 0,58 auf 0,98 und 1,46 mg/l, allerdings mit einer sehr unterschiedlichen Verteilung auf die einzelnen Stickstoffverbindungen, wie die folgenden Verhältniszahlen zeigen:

	Ammonium-Stickstoff	Nitrat-Stickstoff	Kjeldahl-Stickstoff
Walensee	0,00	2,05	1,0
Obersee	0,14	2,5	1,0
Zürichsee	0,02	0,4	1,0

Während im Walensee und besonders im Obersee die organischen Stickstoffverbindungen weitgehend mineralisiert sind, liegen die Verhältnisse im Zürichsee gerade umgekehrt; der meiste Stickstoff lag in gebundener Form, d. h. als Plankton vor. Dagegen waren die Phosphorverhältnisse ausgeglichener:

	Phosphat mg P/l	Gesamtphosphor mg P/l	Verhältnis
Walensee	0,021	0,02	1 : 1
Obersee	0,024	0,033	0,73 : 1
Zürichsee	0,041	0,052	0,79 : 1

Zwischen Stickstoff und Phosphor finden sich vom Walensee zum Zürichsee interessante Verhältnisse:

	Stickstoff mg N/l	Phosphor mg P/l	Verhältnis
Walensee	0,58	0,02	100 : 3,4
Obersee	0,98	0,033	100 : 3,4
Zürichsee	1,46	0,052	100 : 3,6

Demnach besitzen die drei Seen bei aller Verschiedenheit der Morphologie, der Zusammensetzung des Planktons, der Einzugsgebiete und Abflusssmengen praktisch das gleiche Verhältnis von Stickstoff zu Phosphor, eine Feststellung, die man wohl kaum erwartet hat.

## H. Die biologischen Verhältnisse in der Linth und Limmat

Da im Rahmen der Daueruntersuchung vom 11./12. März 1959 aus zeitlichen Gründen die chemisch-bakteriologischen Erhebungen nicht durch biologische Aufnahmen ergänzt werden konnten, wurden am 2. Oktober von Tierfehd bis Hurden und am 9. Oktober 1959 von Zürich bis zur Aare während niedriger Wasserführung der Linth und Limmat einfache biologische Untersuchungen von den Uferstellen aus vorgenommen.

### 1. Abschnitt: Linth

Als Folge des Kieswäschereibetriebes für den Bau der Kraftwerke Linth—Limmeren verließ am Tag der Begehung die junge Linth bei Tierfehd die Schlucht als trübes, rauhes Wasser und führte dementsprechend reichlich sedimentierbares Material mit sich. Das Flußbett ist verschlickt mit feinem Sediment und weist große Kies- und Sandbänke auf. Wegen des starken Geschiebes, der ganzjährig tiefen Wassertemperatur und der hohen Fließgeschwindigkeit ist die Besiedlung eher dürrftig. Sie besteht vor allem aus wenigen, besonders gut an die Strömung angepaßten Insektenlarven.

Bei Schwanden, wo ausgedehnte Sandbänke das Ufer säumen, hat sich das Flußwasser schon merklich geläutert. An den langsamer durchflossenen Uferstellen und in Hinterwassern finden sich ausgedehnte Beläge von Kieselalgen. Die allgemeine Besiedlung mit tierischen Organismen ist immer noch eher dürrftig. Es handelt sich dabei durchwegs um ausgesprochene Reinwasserformen oder um Ubiquisten.

Bei Netstal ist das Wasser immer noch trüb. Im Flußbett ist alles überzogen von einer feinen, grauen Schlickschicht. Die deutliche Zunahme der Organismen nach Arten und Individuen deutet auf eine allmähliche Umgestaltung des Wassers, möglicherweise eine Zunahme der Schmutzstoffe hin, was besonders im Gäsi deutlich wird. Das Wasser ist nur noch schwach trüb und schäumt leicht. Das Flußbett ist trotz der ausgeprägten Verschlickung, die an das Rheinbett bei Ems erinnert, ordentlich gut besiedelt. Unter den Grünalgen tauchen als deutliche Verschmutzungsanzeiger Clado-

phora und Vaucheria auf. Bei der Mündung der Linth in den Walensee ist also die Abwasserbelastung, welche der Fluß auf seinem Weg durch das Glarnerland aufzunehmen hat, im biologischen Bild deutlich sichtbar, wenn auch noch nicht von einer eigentlichen Verschmutzung gesprochen werden kann.

## 2. Abschnitt: Linthkanal

Der Kanal unterscheidet sich in seinem allgemeinen Charakter ganz wesentlich von der Linth. Er zeigt das typische Bild eines Seeabflusses, und zwar aus einem reinen See. Der reiche Bewuchs des Flußbettes mit verschiedenen Laichkräutern, Moosen und Grünalgen, sowie dessen dichte, artenreiche Besiedlung, insbesondere das Vorkommen bestimmter Formen wie Egel, Dendrocoelum, sowie von Süßwasserschwämmen, lassen immerhin eine Belastung durch Abwässer (Weesen, Ziegelbrücke u. a. m.) deutlich erkennen. Insbesondere führen auch die Seitengraben bei der Grynau ziemlich stark eutrophiertes Wasser. Der große Fischreichtum des Linthkanals läßt darauf schließen, daß in diesem Wasser offenbar noch vorzügliche Verhältnisse herrschen, indem die allgemeine Eutrophierung eben so weit geht, daß die Fische eine reichliche Nahrung finden, ohne daß sich eigentliche Abwasserschäden abzeichnen.

## 3. Abschnitt: Hurdener Durchstich

Der Verbindungskanal zwischen Obersee und Zürichsee ist ausgesprochen schwach bewachsen und besiedelt. Die vorhandenen Formen lassen keinen sicheren Schluß auf die Wassergüte zu.

## 4. Abschnitt: Limmat bis Wettingen

Die Limmat zeigt im Teilstück vom See bis Werdhölzli das typische Bild eines Seeabflusses, und zwar aus einem stark eutrophen Gewässer; ihr Wasser war am Tag der Begehung durch Plankton deutlich getrübt. Die Organismenbeläge am Flußboden und an den Ufermauern bestehen aus Blau- und Grünalgen, ferner finden sich reichlich Süßwasserschwämme. Der allgemeine Bewuchs ist gering, da der Trübung wegen zu wenig Licht in die Tiefe dringen kann.

Die Sihl führt der Limmat bei Trockenwetter im allgemeinen klares, leicht schäumendes Wasser zu. Der vorherrschende Bewuchs des Sihlbettes, vereinzelte Ölschlieren, vor allem wenn Steine aufgehoben werden, sowie allerhand treibender Unrat zeigen allerdings, daß auch das Sihlwasser mit Schmutzstoffen belastet ist.

Einzelne Hochwasserentlastungen des Kanalisationsnetzes im Stadtgebiet von Zürich, die schon bei den geringsten Niederschlägen anspringen, sind für die Limmat besonders arge Quellen der Verschmutzung. In ihrem Unterwasser haben sich z. T. ausgedehnte Zonen primärer Verunreinigung gebildet. Im großen ganzen jedoch ist das Flußbett sauber; es treten weder Faulschlammdecken noch heterotrophe Organismen in Erscheinung. Daß die Limmat im Stadtgebiet ferner ein vorzügliches Edelfischwasser ist, bestätigt diesen Befund.

Mit dem Zufluß des Abwassers aus der städtischen Kläranlage Werdhölzli ändern sich die Verhältnisse grundlegend. Zunächst mehr linksufrig, dann, nach allmählicher Vermischung der Abwasserfahne mit dem gesamten Limmatwasser, was ungefähr auf der Höhe von

Schlieren der Fall ist, deckt üppiges Heterotrophengewucher alles zu. Unter dem Pelz von Abwasserbakterien und Abwasserpilzen liegt eine stinkende, schwarze Faulschlammdecke. Dieser Zustand schwerster Verschmutzung hält bis in das Staubecken von Wettingen an.

Im Chessel ist das Wasser noch stark trüb, und es herrscht ein mäßiges Flockentreiben. An der Sohle liegt eine dicke Faulschlammdecke, die stellenweise von Schwefelbakterien überzogen ist. Im Chessel setzen sich die vom Oberlauf hertreibenden heterotrophen Flocken ab und faulen; hier befindet sich deshalb die Zone stärkster sekundärer Verunreinigung. Überall steigen Gasblasen auf. Vom Grund lösen sich Algen- und Schlammfäden und treiben an der Wasseroberfläche als dichte, häßliche Teppiche dem Wettinger Stauwehr zu.

## 5. Abschnitt: Unterhalb Wettinger Stau bis Schiffmühle Turgi

Obleich das Wasser hier klarer erscheint, haben sich die Verhältnisse gegenüber dem Flußabschnitt oberhalb des Stauwehrs Wettingen nicht grundlegend gebessert. Immer noch bedecken heterotrophe Organismen die Flußsohle, und darunter ist alles faulig. Die starke Strömung scheint aber so viel Sauerstoff ins Wasser zu bringen, daß die Mineralisierung auf der Strecke vom Wettinger Stau bis zum Kraftwerk Aue große Fortschritte machen kann. Beim Kraftwerk Aue sind die heterotrophen Organismen zugunsten der autotrophen zurückgetreten. Unter den Steinen herrscht kaum mehr Fäulnis, und das Flußbett macht beim Beginn des Stadtgebietes von Baden einen ziemlich guten Eindruck. Immerhin weisen Heterotrophenflocken in der Tiefe, sowie massenhaftes Vorkommen von Egel, Dendrocoelum, ferner der Grünalgen Vaucheria und Cladophora, die alle ausgesprochene Schmutzwasseranzeiger sind, noch deutlich auf die hohe Belastung des Limmatwassers hin.

Im Stadtgebiet von Baden erfährt die Limmat erneut eine sehr starke primäre Belastung, welche bei dem extremen Niederwasser im Oktober 1959 besonders deutlich in Erscheinung trat. Das gesamte Abwasser aus den Badehotels gelangt offenbar ohne oder nur mit mangelhafter Klärung unmittelbar in den Fluß, so daß sich bei den Kloakenausläufen größere Depots von primärem Abwasserschamm bilden. Dank der starken Strömung und dem schnellenartigen Charakter des Gerinnes wirkt sich allerdings diese Belastung zunächst nicht weiter aus. Das Flußbett bleibt, abgesehen von den örtlichen Depots, ziemlich sauber, und es herrschen Grünalgen vor. Sobald das Abwasser jedoch gestaut wird, wie oberhalb des Wehrs beim Kappelerhof und im Oberwasserkanal dieses Werkes, so stellen sich die gleichen Verhältnisse ein, wie etwa unterhalb des Werdhölzli-Auslaufes. Dank der auch unterhalb des Kappelerhofes herrschenden kräftigen Strömung wird das Wasser gut durchlüftet, und die Aufarbeitung des Abwassers geht rasch vor sich. Auf der Höhe des Streichwehres der Schiffmühle treten die heterotrophen Organismen im Gesamtbewuchs bereits stark zurück. In der Tiefe liegt allerdings noch alles voll Faulschlamm, und in der tierischen Besiedlung herrschen die typischen Abwasserorganismen vor. Die hohe Belastung des Limmatwassers ist also trotz des verhältnismäßig guten

Aussehens des Flußbettes unverkennbar. Gleichwohl sollen, nach Aussage eines Fischers, unterhalb des Streichwehrs regelmäßig Forellen gefangen werden. Dies ist ein Hinweis dafür, daß die Selbstreinigung in diesem Abschnitt gute Fortschritte macht. Zusammenfassend lassen die Begehungsprotokolle die folgende biologische Beurteilung von Linth und Limmat zu:

Die Linth ist auf ihrer ganzen Länge ein sauberer Bergfluß. Lokale Verschmutzungsherde wirken sich weiter nicht augenfällig aus. Gegen die Mündung hin sind leichte Anzeichen einer Belastung unverkennbar.

Der Linthkanal ist sauber, allerdings mit lokalen Verschmutzungen. Seine Biocönose zeigt eine mäßige Belastung mit Abwasser an. Der Zustand der Limmat entspricht im Stadtgebiet von Zürich dem hohen Eutrophierungsgrad des Zürichseewassers. Die Limmat wird durch den Abfluß aus der städtischen Kläranlage Werdhölzli aufs schwerste belastet. Die starke Verschmutzung hält an bis in den Wettinger Stau. Unterhalb dieses Staues macht sich eine leichte Besserung bemerkbar. Die Abwässer der Region Wettingen—Baden führen dann neuerdings zu einer sehr starken Verschmutzung, welche freilich dank der günstigen hydraulischen Verhältnisse bis zum Zusammenfluß mit der Aare nicht so ausgeprägt in Erscheinung tritt.

#### Die bakteriologische Untersuchung

Die Zahl der Bakterien in einem Gewässer ist abhängig von einer Reihe von Faktoren und Zufälligkeiten, worunter die Zufuhr von Abwasser aus Siedlungen infolge ihrer massiven Auswirkungen eine besonders wichtige Rolle spielt. Bei der Festlegung des Programmes waren sich die beteiligten Laboratorien darin einig, daß eine einzige bakteriologische Untersuchung zwar nicht unbedingt genügt, um ein Gewässer hygienisch beurteilen zu können, daß aber eine Daueruntersuchung in einem Flußsystem wohl einen Überblick über den bakteriologischen Zustand vermitteln und die chemischen Daten wertvoll ergänzen kann.

#### Keimzahl

Mit weniger als 100 Keimen pro ml tritt das Wasser aus der Linthschlucht aus. Schon nach kurzer Fließzeit steigt aber die Keimzahl an und erreicht bei Glarus den Maximalwert von über 15 000 Keimen/ml. Auf der Selbstreinigungsstrecke bis zum Walensee sinken die Keimzahlen wieder beträchtlich ab, im Mittel um gut 80 %.

Im Seeabfluß bei Weesen sind nur wenige hundert Keime festzustellen, doch nimmt der Keimgehalt auch hier wieder rasch zu und erreicht bis zur Grynau etwa die gleiche Höhe, die in der Linth bei der Mündung in den Walensee herrschte.

Beim Seedammdurchstich enthält das Wasser weniger als 1000 Keime, eine sehr geringe Zahl, wenn man diese mit dem Keimgehalt der Limmat bei der Quai-Brücke vergleicht; die dort gemessenen Zahlen sind rund zehnmal höher.

Auch die Sihl führte verhältnismäßig hohe Keimgehalte, aber erst die Zufuhr der Abwässer von Zürich läßt die Keimzahl auf Extremwerte von mehreren hunderttausend hinaufschnellen. Im Chessel nehmen dann die Keimzahlen wieder ab, um sich von hier weg bis zur Aare nur noch wenig zu verändern.



Bild 15 Am Walensee

Die Aare selber führt etwa halb so hohe Keimgehalte wie die Limmat, während die Reußwerte dazwischen liegen.

#### Colizahl

Als spezifische Darmbewohner sind die Colibakterien sichere Indikatoren für die Verunreinigung eines Gewässers mit häuslichem Abwasser. So ist es weiter nicht erstaunlich, wenn das Wasser der Linthschlucht (Tierfehd) keine Colibakterien enthält. In Übereinstimmung zur Keimzahl steigt dann der Coligehalt bis Glarus rasch an, sinkt aber im Zuge der Selbstreinigung bis zum Walensee wieder auf gut einen Drittel ab. Im Walensee selber herrschen für Colibakterien und namentlich für die Warmblüterformen ausgesprochen ungünstige Lebensbedingungen; im ungewohnten Milieu sterben sie ab, so daß das Wasser, das den Walensee verläßt, ausgesprochen niedrige Colizahlen ergab, welche freilich im Linthkanal unterhalb Bilten bald wieder deutlich ansteigen, allerdings nur auf einen Fünftel der Gehalte beim Einfluß der Linth in den See. Dagegen sind die Hintergräben, wie schon die chemischen Resultate deutlich genug zeigten, ziemlich stark mit Colibakterien und damit mit Siedlungsabgängen belastet. Die Seeabflüsse

bei Zürich und besonders bei Hurden dürfen als mehr oder weniger coliarum bezeichnet werden. Auffallend colihaltig war dagegen das Sihlwasser; hier wurden gegen 100mal höhere Gehalte gemessen als in der Limmat.

Durch die Abwasser von Zürich erfahren die Colizahlen in der Limmat eine massive Steigerung und lassen bei Unterengstringen einen deutlichen Tagesgang erkennen. Der mittlere Tageswert ist rund doppelt so hoch wie der Nachtwert, wobei die Zahlen auf der linken Flußseite im Mittel zehnmal so hoch sind wie rechts.

Wie die Keimzahlen und manche chemische Komponenten werden im Stauraum Wettingen durch Selbstreinigungsvorgänge auch die Gehalte an Coli massiv herabgesetzt (Industriebrücke 4400; Chessel 700). Bis Wettingen findet eine weitere Reduktion auf 460 statt, und in Turgi waren noch 320 Colikeime pro ml festzustellen. Wenn hier nun auch eine deutliche Selbstreinigung nicht von der Hand zu weisen ist, allerdings unter dem früher geäußerten Vorbehalt, daß die Werte der Industriebrücke nicht unbedingt repräsentativ sind, so ist der Coligehalt der Limmat vor ihrer Mündung in die Aare doch immer noch außerordentlich hoch.

In der Aare selber und besonders in der Reuß waren denn auch bedeutend geringere Werte zu beobachten, nämlich 136 (Aare) und 74 (Reuß).

## **I. Allgemeine fischereiwirtschaftliche Situation in der Linth, im Linthkanal und in der Limmat**

### **1. Linth.**

Als ausgezeichnetes Forellengewässer ist die Glarner Linth für das ganze Tal bedeutungsvoll als Aufstiegs- und Laichgewässer. Der herbstliche Aufstieg von Seeforellen ist denn auch ziemlich beträchtlich. Die Linth wird fischereilich intensiv bewirtschaftet und erhält jedes Jahr große Sömmerlingseinsätze. Zahlreiche Sportfischer, darunter auch außerkantonale, sind in ihrem Gebiet rege tätig.

Von Schwanden an abwärts leidet der Fluß, wie in diesem Bericht mehrmals festgestellt wurde, zunehmend unter Abwassereinwirkungen. Alljährlich sollen sich mehrere Fischvergiftungen ereignen, zudem sei das Wasser oft von den Abgängen aus Textilfärbereien verfärbt. In trockenen Herbstern bei geringer Wasserführung wollen die Forellen, die früher alljährlich unabhängig vom Wasserstand flußaufwärts auf ihre Laichplätze zogen, nicht mehr aufsteigen, ein Verhalten, in welchem eine typische nachteilige Abwasserwirkung zu sehen ist. Auch sollen die Laichplätze in der unteren Linth nach den Aussagen von Fischereifachleuten unter Abwasserschutt leiden. Daß diese Klagen berechtigt sind, beweist die Biocönose des Mündungsgebietes der Linth, in welcher ein merklicher Anteil an Schmutzwasserorganismen erscheint.

### **2. Linthkanal.**

Er ist eines der intensivst bewirtschafteten Edelfischgewässer, in welchem von Scharen von Sportfischern aus der ganzen Ostschweiz rege gefischt wird. Zu gewissen Zeiten werden nicht nur Forellen gefangen, sondern auch viele Äschen und große Felchen, mit einem Jahresertrag von 100 kg/ha Wasseroberfläche.

Auch für den Laichfischfang besitzt der Linthkanal eine wesentliche Bedeutung. So dient die große Fischzuchtanlage in Weesen weitgehend der Erbrütung und Aufzucht des im Kanal gewonnenen Fortpflanzungsgutes. Wegen seiner intensiven Bewirtschaftung ist der Linthkanal sehr anfällig gegenüber Verunreinigungen. Seine Belastung hat bereits ein solches Ausmaß erreicht, daß schon wiederholt Fischsterben aufgetreten sind, daß der Laich auf zahlreichen Laichplätzen zugrunde geht und daß die Fische in ihren Laichwanderungen bei Niederwasser das abwasserverseuchte Gebiet meiden. Ein deutliches Zeichen der Abwasserbelastung ist auch der von Winter zu Winter stärker wuchernde Diatomeenbelag, der noch vor vier bis fünf Jahren überhaupt nicht vorhanden war. Da dem Kanal auch flußabwärts noch Abwasser zugeleitet wird, ist die Belastung an der Biocönose bis ins Mündungsgebiet hinab deutlich zu erkennen. Bei einer weiteren Zunahme der Abwasserlast wird mit steigenden Einbußen am Edelfischertrag gerechnet werden müssen.

Zum Durchstich von Hurden sind vom fischereilichen Standpunkt aus keine Bemerkungen zu machen.

### **3. Limmat**

Fischereiwirtschaftlich gesehen wird die obere Limmat durch den Ausfluß des nur mechanisch geklärten Abwassers aus dem Werdhölzli in zwei Teile getrennt. Der Seeabfluß bis zum Werdhölzli ist ein gepflegtes, stark bewirtschaftetes Fischwasser mit einem zwar gemischten, aber guten Fischbestand. Der Jahresertrag ist immer noch hoch. Erfreulich ist vor allem der große Äschenbestand in der Limmat und im Schanzengraben. Der Einfluß des eutrophierten Seewassers ist in der Biocönose des Flußbettes deutlich zu erkennen. Schwerwiegender sind allerdings die zahlreichen Hochwasserentlastungen des städtischen Kanalisationsnetzes, welche den Fluß schon bei unbedeutenden Niederschlägen in übler Weise verschmutzen. Im Bereich dieser Ausläufe liegt viel primärer Abwasserschutt. Der gute Fischbestand ist deshalb wohl fast allein den großen Sömmerlingseinsätzen zu verdanken, denn als Laichgebiet von Bedeutung kann die obere Limmat nicht mehr angesehen werden. Eine gewisse Belastung erfährt die Limmat auch aus der Sihl, namentlich durch die häufigen Trübungen nach größeren Regenfällen. Im übrigen jedoch dient das Mündungsgebiet der Sihl noch jedes Jahr als ausgedehnter Laichplatz.

Unterhalb des Werdhölzliauslaufes sind (bei zwar immer noch gutem Fischbestand) die Edelfische gänzlich verschwunden. Der Flußabschnitt ist bis und mit dem Wettinger Stau denkbar hoch belastet mit sämtlichen unerfreulichen Nebenerscheinungen, die in einem solchen Gewässerabschnitt auftreten können, und so ist hier denn auch das Fischen nicht jedermanns Sache. Das Fleisch der Ruchfische ist minderwertig, behaftet mit Abwassergeruch, der — wenn überhaupt — erst nach längerem Wässern verschwindet. Dank umfangreicher Jungfischeinsätze ist im Wettinger Stau der Hechtbestand in den letzten Jahren angestiegen. Die Hechte werden allerdings vor allem in der mit noch etwas besserem Bachwasser gespiesenen Würenloser Bucht (Mündung des Furtbaches), wohin sich offenbar viele Fische zurückziehen, erbeutet. Unterhalb des Wettinger Staues kommen dank starker Strömung und

regelmäßiger Einsätze wieder einige wenige Edelfische vor. Sie sind jedoch wie auch die zahlreich gefangenen Ruchfische wegen ihres Abwassergeruches nur bedingt verwertbar. Unterhalb des Kraftwerkes Kappelerhof bessern die fischereiwirtschaftlichen Verhältnisse zusehends, wie dies auch an der Biocönose zu erkennen ist. Die rasch durchflossenen aargauischen Flußstrecken werden ziemlich intensiv bewirtschaftet und auch befischt. Zusammenfassend ist an der Linth von Schwanden an abwärts, am Linthkanal und an der Limmat praktisch überall eine zunehmende Belastung und Gefährdung durch Abwasser festzustellen. Sämtliche Informationen lauten pessimistisch, mit Ausnahme vielleicht der steigenden Hechtfänge im Wettinger Stau. Sie allein vermögen jedoch den gesamthaft schlechten Eindruck nicht zu verbessern.

### K. Nährstoffbilanzen

(Tabellen 4 und 9, Bilder 6 bis 12, 16)

Mit dem Abwasser gelangen anorganische und organische Verbindungen in die Flüsse und Seen. Anlässlich der Untersuchung vom 11./12. März 1959 sind folgende anorganischen Stoffe ermittelt worden:

Ammoniak, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Chlorid, Karbonathärte, freie Kohlensäure, Eisen und Sauerstoff.

Die organischen Verbindungen wurden erfaßt als biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>), als Kaliumpermanganatverbrauch (KMnO<sub>4</sub>), als Kjeldahl-Stickstoff und als Gesamtphosphor.

Die Stoff- und besonders Nährstoffbilanzen erstrecken sich auf die erwähnten anorganischen Komponenten, mit Ausnahme der Karbonathärte, der Kohlensäure und des Eisens. Die Chloride zählen zwar nicht zu den Nährstoffen, doch stellen sie einen Abwasserindikator dar, der im allgemeinen keinen chemischen Veränderungen unterworfen ist, und sich deshalb ohne weiteres als Leitsubstanz zur Verfolgung von Strömungen und Abwasserwolken und zur Berechnung von Verdünnungen verwenden läßt.

Die Bestimmung des BSB<sub>5</sub> und des Kaliumpermanganatverbrauches gibt einen Überblick über die verfügbaren Kohlenstoffquellen, wobei der BSB<sub>5</sub> als Gesamtwert für leicht abbaubare Stoffe eine etwas größere Bedeutung besitzt.

Als Stickstoffquellen kommen Ammoniak, Nitrit, Nitrat und Kjeldahlstickstoff in Frage. Für die Berechnung der Bilanzen werden sie allerdings nicht einzeln verwendet, sondern in folgender Kombination: Der Kjeldahlstickstoffwert setzt sich zusammen aus dem organisch gebundenen und dem Ammoniak-Stickstoff, während bei der Bestimmung des Nitrates auch der Nitrit-Stickstoff miterfaßt wurde. Da aber diese beiden Komponenten in der Regel in verschiedener Größenordnung auftreten, spielt das Nitrit im ganzen Stoffhaushalt nur eine untergeordnete Rolle.

Gesamtphosphor und Phosphate sind die Phosphorquellen; ihre Differenz entspricht dem Anteil an organisch gebundenem Phosphor.

#### 1. Sauerstoff: biochemischer Sauerstoffbedarf und Kaliumpermanganatverbrauch (Oxydierbarkeit).

Die Glarner Linth wies eine positive Sauerstoffbilanz auf, indem die absolute Menge der natürlichen Zufuhr von Sauerstoff durch die Seitenbäche, wie des Sernf

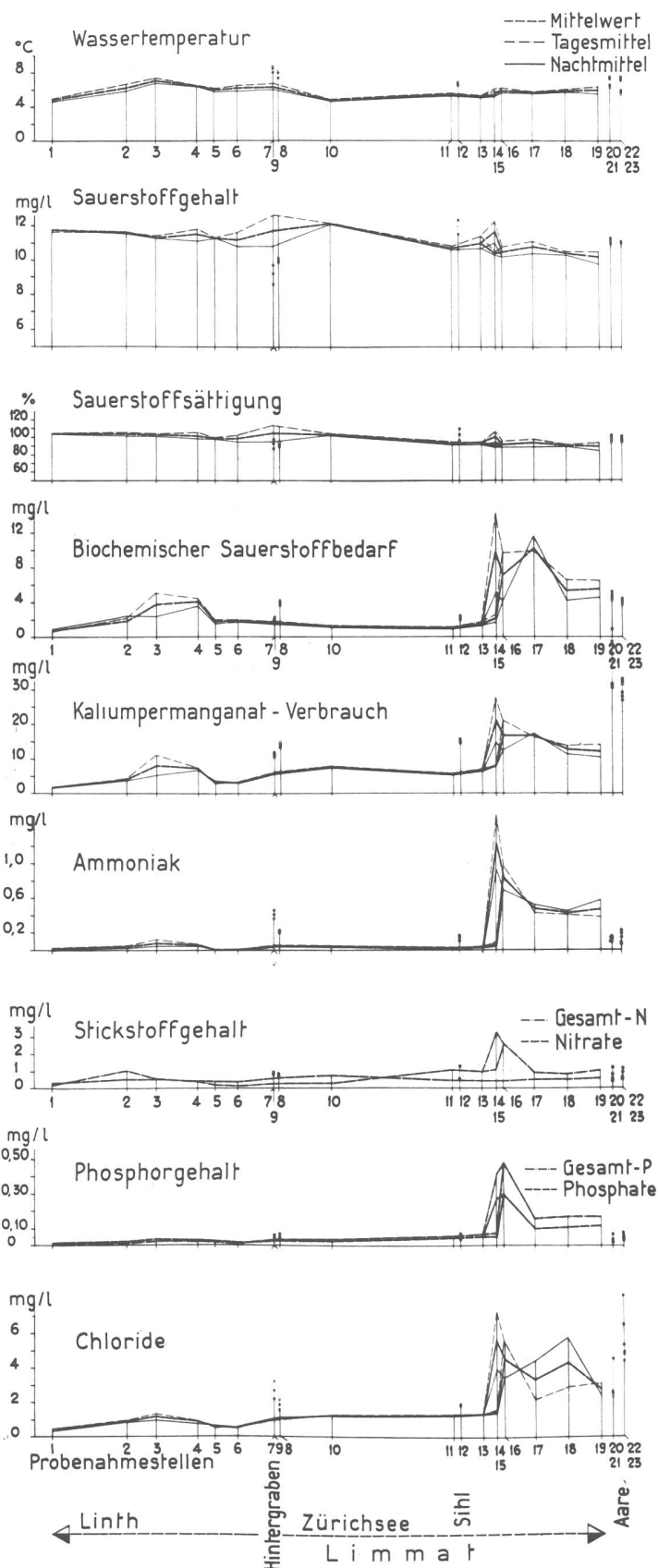


Bild 16 Mittelwerte der physikalischen und chemischen Bestimmungen im Längenprofil der Linth-Limmat

und des Löntsch, die abwasserbedingte Zehrung übertraf. Gleichzeitig erfolgte auch eine Zunahme der organischen Verbindungen. Die Werte sind nachstehend zusammengefaßt:

	Vorhandener Sauerstoffvorrat		BSB <sub>5</sub>		KMnO <sub>4</sub>	
	Tonnen	%	Tonnen	%	Tonnen	%
Tierfehd	0,824	100	0,053	6,4	0,113	13,7
Schwanden	10	100	1,5	15	3,6	36
Glarus	11	100	3,4	31	7,7	70
Gäsi	16,8	100	5,7	34	10,1	60

Die prozentualen Anteile der BSB<sub>5</sub>- und KMnO<sub>4</sub>-Summen (gemessen am Sauerstoffvorrat) vergrößern sich bis Glarus sehr stark, nehmen dann aber bis zum Walensee nur noch wenig zu (BSB<sub>5</sub>) oder sinken sogar wieder etwas ab (KMnO<sub>4</sub>). Auf der letzten Strecke war die zusätzliche Verschmutzung der Linth demnach nicht größer, als die Selbstreinigung zu bewältigen vermochte.

Im Linthkanal sind diese Verhältnisse weitgehend ausgeglichen. Während der BSB<sub>5</sub> leicht absinkt, steigt die Oxydierbarkeit. So gelangen von 4,2 Tonnen BSB<sub>5</sub> immer noch mehr als 90 % in den Obersee, was 13 % des transportierten Sauerstoffvorrates entspricht, während der Anteil der BSB<sub>5</sub>-Stoffe im Oberseeabfluß auf 9,5 % absinkt. Daraus ist ersichtlich, daß im See in dieser Jahreszeit mehr organische Stoffe mineralisiert als zugeführt werden.

Dasselbe gilt auch für den Zürichsee. Sowohl das Abwasser aus den Seegemeinden (110 000 Einwohner ohne Industriebelastung) als auch ein Teil der Stoffe aus dem Obersee, nämlich 0,5 Tonnen/Tag BSB<sub>5</sub> und 10,2 Tonnen/Tag KMnO<sub>4</sub> wurden mineralisiert und belasten somit die Limmat nur noch als Pflanzennährstoffe, welche auf der verhältnismäßig rasch durchlaufenen Fließstrecke bis zur Einleitung des Zürcher Abwassers keine große Wirksamkeit mehr entfalten können. Im See dagegen spielen gerade diese anorganischen Nährstoffe die Hauptrolle.

Unterhalb der Kläranlage Werdhölzli ändern sich die Sauerstoff-, BSB<sub>5</sub>- und KMnO<sub>4</sub>-Verhältnisse plötzlich und grundlegend.

	Sauerstoffvorrat		BSB <sub>5</sub>		KMnO <sub>4</sub>	
	Tonnen	%	Tonnen	%	Tonnen	%
Quaibrücke	59,6	100	5,8	9,7	31,5	52,5
Waserbrücke	65,7	100	8,3	12,6	37,9	57,7
Industriebrücke	64,3	100	42,6	62,5	102,3	159
Chessel	66,0	100	62,7	95	102,7	156
KW Wettingen	63,5	100	32,7	51	77,6	122
Turgi	62,4	100	33,5	54	74,9	120

Bei der Industriebrücke und im Chessel werden zur Oxydation der organischen Stoffe theoretisch 62,5 % bzw. 95 % des vorhandenen Sauerstoffs benötigt. Dank der Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft und der reichlichen Sedimentation organischer, noch nicht mineralisierter Stoffe sank dieser Anteil bis zum Unterwasserkanal des Elektrizitätswerkes Wettingen auf 51 % ab. Baden und Wettingen erhöhen dagegen die Last wieder um einige Prozente. Der Permanganatverbrauch er-

gibt von der Industriebrücke an einen theoretischen Sauerstoffbedarf, der den vorhandenen Vorrat sogar weit übersteigt. Da im Laborversuch die Oxydation bei der Bestimmung des KMnO<sub>4</sub> aber sehr kräftig ist, kräftiger jedenfalls als im Gewässer, haben diese Zahlen nur informatorischen Charakter.

## 2. Stickstoff- und Phosphorverbindungen.

Von Tierfehd bis Gäsi konstatierte man eine deutliche Anreicherung der Stickstoffverbindungen, wobei sich herausstellte, daß das Verhältnis von mineralisiertem zu organisch gebundenem Stickstoff innerhalb der Fließstrecke positiv war, indem vom Gesamtstickstoff, welcher beim Gäsi in den See floß, 57,5 % mineralisiert war, bei Glarus dagegen nur 48 %. Man kann deshalb die Strecke von Glarus bis zum Walensee als Selbstreinigungsstrecke bezeichnen, auf der wenigstens ein Teil der zugeführten organischen Verbindungen eliminiert wird. Auffällig ist in der Glarner Linth die Verschiebung des Stickstoff-Phosphorverhältnisses. Während es in Tierfehd 50:1 betrug, war es an der Mündung nur 31:1. Häusliche Abwässer haben ein N-P-Verhältnis von ungefähr 5:1 und liefern somit in ein Gewässer von der Beschaffenheit der Linth in Tierfehd verhältnismäßig mehr Phosphor als Stickstoff. Setzen wir die Belastung der Limmat (bei ihrer Mündung in die Aare) an Stickstoff und Phosphor mit 100 % ein und vergleichen damit die N- und P-Führung der Linth bei ihrem Eintritt in den Walensee, wobei die unterschiedliche Wasserführung berücksichtigt ist, so erreicht die Belastung der Linth 11,4 % an Stickstoff und 3,4 % an Phosphor, somit einen Bruchteil dessen, was die Limmat in ihrem Unterlauf aufnehmen muß.

Der Walenseeausfluß wies ein Stickstoff-Phosphor-Verhältnis von 32:1 auf und unterscheidet sich in dieser Hinsicht nicht von der Glarner Linth. Bis zum Obersee verschob es sich weiter bis auf 25:1, während es sich in den Seen wieder auf 30:1 (Quaibrücke) erhöhte.

Während vom Obersee, verglichen mit der Limmatmündung (= 100 %), bei einer Wassermenge von 63,5 % nur 53,9 % Stickstoff und 17 % Phosphor in den Zürichsee gelangten, verschob sich im Zürichsee infolge der dichteren Besiedlung dieses Verhältnis auf 81,9 % für Stickstoff und 27,9 % für Phosphor, bei einer Wasserführung, die nur um etwa 1 m<sup>3</sup>/s zunahm.

Von der Brücke Unterengstringen an zeichnete sich eine extreme Verschiebung der Nährstoffverhältnisse ab, und zwar nicht nur hinsichtlich der absoluten Menge, sondern besonders auffällig auch hinsichtlich der Mengenverhältnisse. Die entsprechenden Zahlen sind nachstehend auszugsweise aufgeführt.

	Stickstoff	Phosphor
1. Tierfehd	51	1
4. Gäsi	31	1
5. Biäsche	32	1
10. Seedamm Hurden	30	1
11. Quaibrücke	28	1
14. Unterengstringen links	9,1	1
16. Industriebrücke	6,3	1
19. Schiffmühle Turgi	9,5	1
20. Aare	29	1
21. Reuß	36	1
— Werdhölzli	5	1

Aus diesen Werten kann man allgemein schließen, daß in einem Flußgebiet das Verhältnis von Stickstoff

zu Phosphor um so enger wird, je höher die Abwasserlast aus Siedlungen ist. Zudem dürften die Stickstoffverbindungen durch die Pflanzenwelt der Fließgewässer eher eliminiert werden als der Phosphor; jedenfalls kommt dies andeutungsweise auf den Strecken Industriebrücke—Chessel und Wettingen—Schiffmühle zum Ausdruck.

Die Aare reiht sich mit ihrem verhältnismäßig geringen Phosphatgehalt ungefähr in die Phosphatstufe der Stelle Brücke Unterengstringen rechts ein, entspricht also dem Zustand, den die Limmat vor der Einleitung der Abwässer von Zürich besitzt.

Die Reuß entspricht hinsichtlich des Phosphors dem Linthwasser bei Grynau. Auch die Verhältniszahlen von Stickstoff zu Phosphor sind in der Aare und besonders in der Reuß recht günstig. Bei der Betrachtung der Ergebnisse an der Brücke Stilli tritt deutlich der Phosphorüberschuß der Limmat hervor, indem dort auf der rechten Flußseite ein N-P-Verhältnis von 19:1 erscheint, gegenüber der Aareseite (links) mit 41:1.

### 3. Chloride.

Aus der vorliegenden Untersuchungsserie läßt sich auch die Chloridzufuhr bilanzmäßig erfassen. Da die Chloride am biologischen Geschehen im Gewässer nicht teilnehmen, müssen sich die mit Abwässern eingeleiteten Chloridmengen (in korrespondierenden Proben) zwangsläufig summieren. Dies ist auf unserer Untersuchungsstrecke nicht durchwegs möglich, da sie sich in drei durch Seen getrennte Einzelstrecken aufteilt, welche den Stofftransport verändern und verzögern. Eine weitere Verzögerung, wenn auch nicht in diesem Maße, bewirkt der Stausee Wettingen.

So erreichten die Chloride im Glarnerland nur einen Drittel jener Menge, die rein rechnerisch auf Grund der Wasserführung (verglichen mit dem Chloridtransport bei der Aaremündung) hätte erwartet werden müssen.

Im Linthkanal sank er sogar auf einen Fünftel, um dann durch die Zufuhr von industriellen Abwässern wieder auf einen Drittel anzusteigen. Das Verhältnis wird beim Passieren der Seen etwas ungünstiger; der Wert steigt ungefähr auf die Hälfte an, um dann beim Werdhölzli 100 % wesentlich zu überschreiten.

Verglichen mit den Verhältnissen der Limmat bringt die Aare bei Brugg ebenfalls bedeutend mehr Chloride, als ihrer Wasserführung entspricht, und die Reuß steht sogar rund 50 % über diesem theoretischen Wert.

### L. Berechnung der Nährstoffzufuhr auf Grund der Bevölkerungszahlen

(Bild 18, Tabellen 4 und 9)

In der abwassertechnischen Planung wird mit jenen Schmutzstoffmengen gerechnet, die aus den Haushaltungen in die Kanalisation gelangen. Die Schmutzstoff- und Wassermengen, die pro Einwohner und Tag anfallen, sind Erfahrungswerte, die in der Praxis ermittelt wurden; man bezeichnet sie als Einwohnergleichwerte. Auf dieser Grundlage können beispielsweise die Schmutzstoffmengen aus Industrien auf Einwohnerzahlen als einheitliches Maß umgerechnet werden. Über diese Fragen existieren sehr viele, einander nicht immer entsprechende Untersuchungen, weshalb es außerordentlich schwierig ist, alle Meinungen darüber auf einen Nenner zu bringen. Für die vorliegende Auswertung sind die folgenden, auf schweizerischen Erfahrungen beruhenden Werte ausgewählt worden. Demnach rechnet man als täglichen Abgang (in gelöster Form):

Biochemischer Sauerstoffbedarf	50 g pro Einw. u. Tag
Kaliumpermanganatverbrauch	125 g pro Einw. u. Tag
Stickstoff	12 g pro Einw. u. Tag
Phosphor	3 g pro Einw. u. Tag
Chlorid	12-30 g pro Einw. u. Tag
bzw. Kochsalz	20-50 g pro Einw. u. Tag

Für die nachfolgenden Ausführungen sind die zwischen zwei Fließstrecken theoretisch anfallenden



Bild 17  
Linthkanal  
von Ziegelbrücke  
bis Grynau;  
im Vordergrund die  
Ortschaften Oberurnen  
und Niederurnen

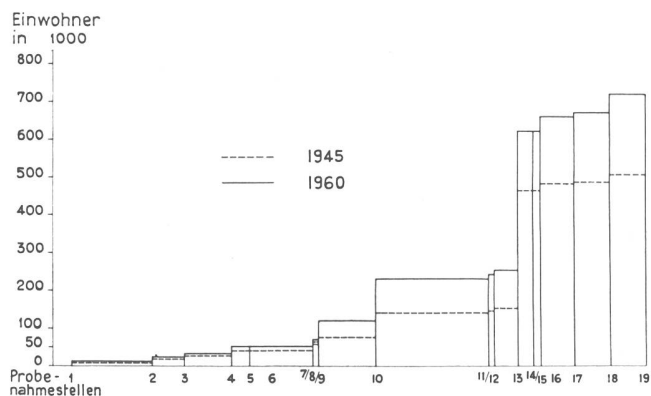


Bild 18 Bei den Probenahmestellen in Betracht fallende Bevölkerungszahlen nach Erhebungen von 1945 und 1960

Schmutzstoffmengen auf Grund der Bevölkerungszahlen von 1960 berechnet worden. Daneben sind die effektiv gemessenen Schmutzstoffmengen mit Hilfe der obigen Gleichwerte in theoretische Einwohnerzahlen umgerechnet. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, daß die Industrie nicht erfaßt wurde, daß die Abwasserablenkung nicht in allen Gebieten den gleichen Grad erreicht hat, und daß man ferner mit dieser Zusammenstellung nur das Gesamtergebn vieler verschiedener, nebeneinander verlaufender Vorgänge im Gewässer erfaßt.

In der ersten Kolonne von Tabelle 9 sind die in der Volkszählung von 1960 ermittelten Einwohner angeführt, deren Abwässer zwischen zwei Untersuchungsstellen in die Linth oder Limmat gelangen, während die nächsten fünf Kolonnen die Schmutzstoffmengen enthalten, die durch diese Einwohner pro Tag theoretisch ins Abwasser abgegeben werden. Die weiteren Kolonnen enthalten je die summierten theoretischen Schmutzstoffmengen, jeweils daneben die an den Kontrollstellen während unserer Untersuchung effektiv gemessenen Mengen und schließlich die Differenz aus dem theoretischen und dem effektiven Wert. Liegt beispielsweise der Effektivwert höher als der theoretische, so ergibt sich eine positive Differenz, d. h. es müssen noch andere Abwasserlieferanten vorhanden sein, die mit den Einwohnerzahlen nicht zu erfassen waren. Dazu gehören vor allem Industrie und Gewerbe.

#### 1. Biochemischer Sauerstoffbedarf.

In Schwanden war der gemessene BSB<sub>5</sub>-Wert, auch wenn man die Selbstreinigung auf der Fließstrecke nicht berücksichtigt, mehr als doppelt so hoch als der auf Grund der Einwohnerzahl zu erwartende theoretische Wert. Die gleiche Feststellung gilt für die ganze restliche Strecke bis zum Walensee sowie für den Linth-Kanal einschließlich der Hintergräben.

Soweit hier überhaupt solche Überlegungen möglich sind, werden im Obersee und namentlich im Zürichsee neben den direkt zugeführten Schmutzstoffen auch erhebliche Anteile derjenigen, die durch Linth und Hintergräben hineingelangen, eliminiert.

Von der Quaibrücke bis zur Wasserbrücke lag der theoretische Wert noch wesentlich höher als der effektive, aber mit der Einleitung der Zürcher Abwässer steigt die effektive Belastung über die theoretische hinaus, und zwar bis nach dem Wettinger Stau, wo, wie

schon verschiedentlich erwähnt, ein bedeutender Anteil sedimentiert und aufgearbeitet wird. Im untersten Teilstück der Limmat halten sich die theoretische und praktische Belastung ungefähr die Waage.

#### 2. Kaliumpermanganatverbrauch.

Der gemessene Permanganatwert lag auf der gesamten Fließstrecke meistens bedeutend höher als der theoretische; nur unterhalb des Stausees Wettingen verläuft er parallel zum BSB<sub>5</sub>-Wert.

#### 3. Gesamtstickstoff.

Bei den Stoffwechselvorgängen im Wasser ist auch der Stickstoff maßgebend beteiligt. Das ganze Gewässersystem Linth—Limmat weist eine positive Stickstoffbilanz auf; der gemessene Wert liegt in jedem Fall höher als der theoretische, obschon anzunehmen ist, daß ein gewisser Anteil des Stickstoffes von Wasserpflanzen aufgebraucht wird und sich damit der Bilanz entzieht. Am Ausfluß des Wettinger Staus halten sich der gemessene und der theoretische Wert praktisch die Waage.

#### 4. Gesamtposphor.

Wesentlich anders als die bisher besprochenen Komponenten verhielt sich der Gesamtposphor. Mit Ausnahme der Hintergräben und der Stelle der stärksten Verschmutzung unterhalb des Werdhölzli führte das Gewässer wesentlich weniger Phosphor, als die Einwohnerzahlen erwarten ließen. Offenbar darf noch nicht in allen Landesgegenden mit dem Basiswert von 3 g P pro Einwohner und Tag gerechnet werden. Zudem darf nicht außer acht gelassen werden, daß ein Teil des Phosphors blockiert werden kann, z. B. durch Ausfällung als Schwermetallphosphat.

#### 5. Chloride

Wie beim Gesamtstickstoff ist auch bei den Chloriden die Bilanz auf der ganzen Gewässerstrecke positiv; die Kochsalzmengen, welche ins Gewässer gelangen, sind größer als die theoretischen Werte. Der tägliche Verbrauch an Kochsalz durch den Menschen wird in der Literatur sehr verschieden bewertet, so daß eine gewisse Unsicherheit in der Beurteilung der Zahlen nicht zu umgehen ist. Für die vorliegende Auswertung legte man den mittleren Basiswert von 20 g pro Einwohner und Tag fest. Auch unter dem Vorbehalt, daß dieser Wert den tatsächlichen Verhältnissen nicht ganz entsprechen sollte, kann man den Zahlen doch entnehmen, daß ein verhältnismäßig großer Teil der abgeführten Chloride nicht aus Siedlungen, sondern aus Industrie und Gewerbe stammen muß.

Zur Ergänzung dieses Kapitels seien die Basiswerte der Stadt Zürich, wie sie sich aus den Ergebnissen der Spezialuntersuchung im Werdhölzli berechnen lassen, mitgeteilt:

	g/ET (g pro Einwohner und Tag)		Basiswert für Auswertungen gebraucht
	ohne Industrie	mit Industrie	
BSB <sub>5</sub>	92	56,7	50
KMnO <sub>4</sub>	218	134	125
Gesamtstickstoff	16,9	10,4	12
Gesamtposphor	3,3	2,0	3
Chloride	43,5	26,8	20

### M. Frühere Untersuchungen

Der Zürichsee wird seit mehr als 50 Jahren immer wieder untersucht und gehört seit langem zu den am besten erforschten Seen der Welt. Man sollte deshalb meinen, daß auch von seinem Zu- und Abfluß eingehende Arbeiten aus früheren Jahren vorliegen. Tatsächlich ist man aber über den früheren Zustand von Linth und Limmat nur ungenügend im Bilde. Glücklicherweise liegen aber doch vereinzelte, darunter bedeutende Publikationen vor, die im folgenden mit den Resultaten der neuesten Untersuchung verglichen werden. Bezüglich der Literaturangaben sei auf das spezielle Verzeichnis am Schlusse dieses Berichtes hingewiesen. Bei solchen Vergleichen, namentlich wenn es sich um chemische Resultate handelt, muß man sich allerdings bewußt sein, daß die unter solchen Umständen unvermeidlichen Veränderungen der Methodik Verschiebungen der Werte zur Folge haben können, und daß es grundsätzlich nicht einfach ist, zeitlich weit auseinanderliegende Untersuchungen miteinander in Beziehung zu setzen, besonders wenn es sich um Einzelwerte handelt. Die meisten solchen Messungen sind durch das kantonale Laboratorium Zürich in den Jahren 1930 bis heute ausgeführt worden. Im allgemeinen decken sich die Resultate dieser nicht unbeträchtlich auseinanderliegenden Erhebungen recht gut.

Thomas [3] berechnete für das Jahr 1952/53 rund 1,5 Tonnen Stickstoff pro Tag für den Linthkanal, während 1959 etwas über 2 Tonnen gemessen wurden. Dagegen führten die Hintergräben 1959 bedeutend mehr Nährstoffe weg als zur Zeit der ersten Untersuchung. Hier mag der dichte Pflanzenbestand in den Hintergräben eine gewisse Rolle bei der Aufzehrung von Nährstoffen spielen. Thomas kommt in seiner Arbeit zum Schluß, daß die Nährstoffe, die aus der Linthebene (ohne Siedlungen) ausgeschwemmt werden, nur 3 ‰ (Stickstoff) bzw. 0,1 ‰ (Phosphor) der gesamten Zufuhr zum Zürichsee betragen und daher gegenüber der

Zufuhr durch häusliche Abwässer vernachlässigt werden dürfen.

Zwei größere Arbeiten [2 u. 4] entstanden im Zusammenhang mit der Erstellung des Limmatwerkes Wettingen. In der ersten Publikation sind die Ergebnisse zweier Jahresuntersuchungen von 1932 und 1933 über den Zustand der Limmat vor ihrem Aufstau zusammengefaßt, während die zweite Arbeit Erhebungen aus dem Jahre 1943/44 d. h. nach erfolgtem Aufstau beschreibt.

Überraschenderweise lieferten die Untersuchungen in der Limmat vor 27 Jahren ähnlich hohe Schmutzstoffgehalte wie die Untersuchung 1959, und zwar nicht nur in Einzelwerten, sondern auch im Tages- und Jahresmittel. Leider ist kein bilanzmäßiger Vergleich möglich, da bei den früheren Untersuchungen keine Schmutzstoffbilanzen errechnet wurden. Indessen hat sich auf Grund der Untersuchungen des Werdhölzliabwassers und der Limmat gezeigt, daß z. B. die Belastung der Gewässer mit biochemisch abbaubaren Substanzen parallel verläuft zur Einwohnerzahl und man die früheren Belastungen deshalb mit Hilfe der Bevölkerungszahlen zurückberechnen könnte.

System Aare—Reuß—Limmat: Die einzigen Vergleichsmöglichkeiten bieten die Daueruntersuchungen von 1952 und 1955 an der Aare bei Stilli. Die erste Untersuchung ist publiziert [8], während die zweite für ein Gutachten zuhanden des Kraftwerkes Wildeggburg durchgeführt wurde und nur als interner Bericht vorliegt. Wesentliche Erhöhungen gegenüber 1952 erfuhren die BSB<sub>5</sub>-Menge, die Nitratkonzentration und in einem bestimmten Ausmaß auch die Chloride. Nun unterliegen aber sowohl die Gehalte an BSB<sub>5</sub> als auch die Nitratkonzentrationen starken jahreszeitlichen Schwankungen, weshalb es nur unter Vorbehalten sinnvoll ist, einer Untersuchung vom März 1959 eine solche vom Oktober 1952 gegenüberzustellen.



Bild 19 Zürichsee mit Glarnerbergen

## N. Zusammenfassung

1. Allgemeines: Die Absicht, das Gewässersystem der Linth und Limmat mit einer Daueruntersuchung auf seine aktuellen Belastungen mit Abwasser zu kontrollieren, konnte auf Veranlassung des Linth-Limmat-Verbandes in Zusammenarbeit der Baudirektionen und der chemischen Laboratorien der Anliegerkantone und der Stadt Zürich am 11./12. März 1959 realisiert werden. Die Ergebnisse der chemisch-bakteriologischen Untersuchungen wurden durch die EAWAG in Zürich verarbeitet.

2. Die Abflusssmengen der Linth und der Limmat wurden am Untersuchungstag durch die Pegelstationen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft registriert und dienten als Grundlage zur Ermittlung der Stoffbilanzen. Mit der am 11./12. März 1959 bei Baden gemessenen Wasserführung der Limmat von  $70,85 \text{ m}^3/\text{s}$  (gegenüber  $106 \text{ m}^3/\text{s}$  bei Mittelwasserstand) lag der Untersuchungstag in einer Periode mittleren Niederwassers, das noch an 100 Tagen im Jahr unterschritten werden kann. Die Wassermengen an den verschiedenen Beobachtungsstellen wiesen keine großen täglichen Schwankungen auf, lagen aber in ganz verschiedenen Größenordnungen, wobei in Tierfeld mit  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $4,18 \text{ m}^3/\text{s}$ ) die untere und bei Stilli an der Aare mit  $393,4 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $434 \text{ m}^3/\text{s}$ ) die obere Grenze der Wassermengenwerte gemessen wurde.

3. Die Witterungsverhältnisse und Niederschlagsbedingungen am Untersuchungstag wurden für die Auswertungen nicht berücksichtigt, da sich ein kurzer Regen am 12. März 1959, um 06.00 Uhr, praktisch auf die Wasserführung der Flüsse nicht auswirkte.

4. Für die Ermittlung der Schmutzstoffmengen aus Siedlungen dienten neben den Angaben im Abwasserkataster des Linth-Limmat-Verbandes von 1945 die am 1. Dezember 1960 erhobenen Bevölkerungszahlen. Seit 15 Jahren hat die Bevölkerung im gesamten Linth-Limmat-Gebiet um 39,3 Prozent auf total 740 091 Einwohner zugenommen. Allein im Gebiet Obersee—Zürichsee stieg die Bevölkerungszahl um 68 358 auf 161 428 an, was einer Steigerung um mehr als 73 Prozent entspricht. Im Limmatraum erhöhte sich die Zahl der Einwohner um 112 629, woran die Stadt Zürich ungefähr die Hälfte beitrug.

5. Linth im Glarnerland: Abwasser aus Gemeinden und Industrie verursachten erhebliche Anstiege der charakteristischen Schmutzstoffkomponenten wie  $\text{BSB}_5$ ,  $\text{KMnO}_4$ , u. a. m. Dank der Verdünnung mit dem sauberen Wasser des Löntsch unterhalb Glarus war die Qualität des Linthwassers im Unterlauf etwas günstiger als oberhalb Glarus. Der Unterlauf der Linth kann als Selbstreinigungsstrecke gewertet werden, da ihm nur unwesentliche Mengen an Abwasser zugeführt werden. Sie genügt aber nicht mehr, um alle bereits vorhandenen Abfallstoffe aufzuarbeiten, so daß ein erheblicher Anteil davon die Sauerstoffreserve des Walensees in Anspruch nimmt. Zudem gelangen gleichzeitig anorganische und organische Stickstoff- und Phosphorverbindungen in der Größenordnung von 1100 kg Stickstoff und 36 kg Phosphor pro Tag in den See, wo sie zu einer Mehrproduktion von Planktonorganismen beitragen können.

6. Linthkanal und Hintergräben: Das Kanalwasser wird durch die Abwässer von rund 4500 Einwohnern belastet. Infolge der intensiven Berührung mit dem Pflanzenaufwuchs an der Flußsohle wird ein großer Teil dieser Stoffe bis zur Mündung in den Obersee mineralisiert. Bedeutend mehr Abwasser (aus den am Rand der Linthebene gelegenen Gemeinden), müssen dafür die Hintergräben übernehmen, welche denn auch in einem entsprechend schlechten Zustand sind. Die geringe Fließgeschwindigkeit verhindert praktisch die Auffrischung des Wassers mit dem für den aeroben Abbau der Abwasserstoffe benötigten Sauerstoff. Die Hintergräben führen deshalb zusammen mehr Nährstoffe in den Obersee als die Linth. Auch in hygienisch-bakteriologischer Beziehung ist das Wasser aus den Hintergräben in einem schlechteren Zustand als das Linthwasser.

7. System Obersee—Zürichsee: Seen lassen sich mit Hinsicht auf Nähr- und Schmutzstoffe nicht mit Fließgewässern vergleichen. Da im weiteren der Stoffumsatz im See anderen Bedingungen unterworfen ist als im Fluß, wurde davon abgesehen, die Zu- und Abflüsse einander gegenüberzustellen. Erstaunlich ist immerhin die Tatsache, daß bei allen drei Seen, Walensee, Obersee und Zürichsee, am Untersuchungstag an ihrem Ausfluß dasselbe Stickstoff-Phosphor-Verhältnis auftritt. Die enorme Belastung des Zürichsees mit Nährstoffen kommt dadurch zum Ausdruck, daß der See fast dreimal mehr Stickstoffverbindungen abgibt, als ihm durch die häuslichen Abwässer theoretisch zugeführt werden können.

8. Limmat: Bis nach Unterengstringen ist die Limmat rechtsseitig kaum belastet, um so mehr dagegen die linke Seite, wo von der Kläranlage Werdhölzli an die Kiesbänke des Ufers von dicken Sphaerotilus-Belägen überzogen sind; dies als Folge des mangelhaft geklärten Abwassers von 366 000 Einwohnern, welches von der Kläranlage her als respektable Bach mit  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  in die Limmat kommt und während der Spitzenzeiten nur noch teilweise entschlammte wird. Der tägliche Anfall an organischen Stoffen entspricht einem  $\text{BSB}_5$  von über 33 Tonnen, und der Limmat werden insgesamt 6200 kg Stickstoff und 1200 kg Phosphor zugeführt. Das Wasser ist bis zum Stauwehr Wettingen grau und trübe, gast vom Grunde her und läßt Schlammfladen auftreiben. Im Stauraum selbst vollzieht sich, nun allerdings verlangsamt, ein Teil jener Vorgänge, die sich eigentlich in einer biologischen Abwasserreinigungsanlage abspielen sollten. Obschon biologisch und chemisch noch keineswegs befriedigend und immer noch mit großen Mengen von Schmutzstoffen und Abbauprodukten (in Form von Nährstoffen) belastet, muß der Unterlauf der Limmat nochmals die Abwässer von beinahe 50 000 Einwohnern aufnehmen. Da der biologische Abbau im Unterlauf größenordnungsmäßig ungefähr der Abwasserbelastung durch die Industrie entspricht, kann man sagen, daß die Limmat praktisch die gesamte, durch die Wohnbevölkerung ihres Einzugsgebietes verursachte Abwasserlast in die Aare überführt. Dabei ist weiter zu berücksichtigen, daß der Abbau im Staubecken Wettingen zu einem zwar nicht genau erfaßbaren, aber offensichtlich erheblichen Teil nicht durch Mineralisation, sondern durch Sedimentation erfolgt, so daß in der Tiefe des Staubeckens Fäulnis auftritt mit all ihren lästigen Begleiterscheinungen.

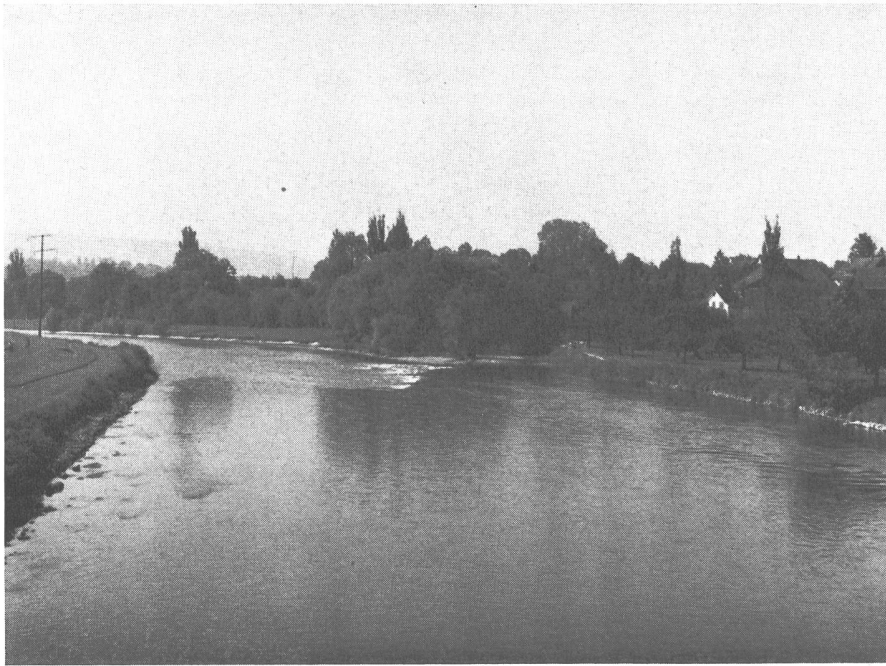


Bild 20  
Limmat bei Unterengstringen,  
flußabwärts gesehen

9. System Aare—Reuß—Limmat: Seit der Untersuchung von 1952 haben sich einige Abwasserkomponenten merklich erhöht. Während die Limmat relativ viel Stickstoff- und Phosphorverbindungen in die Aare bringt, gelangen aus der Aare und dem Reußgebiet unverhältnismäßig hohe Mengen an schwer oxydierbaren Stoffen in die Vorflut, die bis zur Vereinigung der Flüsse biologisch nicht abgebaut werden konnten. Die einseitige Zusammensetzung deutet auf eine bestimmte Industriegruppe hin, deren Abgänge im wesentlichen aus mikrobiell schwer abbaubaren, kohlehydratähnlichen Stoffen mit geringem Stickstoff- und Phosphorgehalt bestehen. Es ist sehr schwierig, unter den gegebenen Strömungsverhältnissen repräsentative Wasserproben zu erheben. Auf Grund der vorliegenden Untersuchung läßt sich aber die mittlere Zusammensetzung des Aarewassers nach der Vereinigung mit Reuß und Limmat unter der Voraussetzung vollständiger Mischung errechnen:

		Aare bei Stilli		
		Gehalte berechnet	Gehalte gemessen links	rechts
Sauerstoffgehalt	mg O <sub>2</sub> /l	10,96	11,1	11,0
Biochemischer Sauerstoffbedarf	mg O <sub>2</sub> /l	4,61	4,2	3,9
*Oxydierbarkeit	mgKMnO <sub>4</sub> /l	29,3	32,2	27,8
*Ammoniak	mg N/l	0,117	0,065	0,18
*Nitrit	mg N/l	0,020	0,022	0,021
*Nitrat	mg N/l	1,05	1,17	0,93
Kjeldahl-Stickstoff	mg N/l	0,79	0,58	0,61
Gesamt-Stickstoff	mg N/l	1,84	1,75	1,54
*Phosphat	mg P/l	0,048	0,034	0,058
*Gesamt-Phosphor	mg P/l	0,076	0,042	0,079
Chlorid	mg Cl/l	3,88	6,5	4,9

Die mit \* bezeichneten Komponenten passen sehr gut in die Untersuchungsreihe hinein; die übrigen weichen ebenfalls nicht stark davon ab. Die prozentuale Verteilung der Stoffmengen im Drei-Flüsse-Gebiet sieht folgendermaßen aus:

Prozentuale Verteilung der Stoffmengen

	Limmat %	Reuß %	Aare %
Sauerstoff	17,1	14,2	68,7
Biochem. Sauerstoffbedarf	21,8	14,6	63,6
Oxydierbarkeit	7,7	22,0	71,3
Ammoniak	74,1	11,5	14,4
Nitrit	18,6	11,6	69,8
Nitrat	10	7,2	82,8
Kjeldahl-Stickstoff	24,5	7,3	67,6
Gesamtstickstoff	16	7,5	76,5
Phosphat	45	6,4	48,6
Gesamtphosphor	41,3	5,1	53,6
Chlorid	13,25	3,05	77,7
Wassermenge in %	18,4	14,2	67,4
Wassermenge in m <sup>3</sup> /s	70,85	54,5	259,6
Bevölkerung in % (1945)	26	14	60

Die Komponenten BSB<sub>5</sub>, Ammoniak, Kjeldahlstickstoff, Phosphat und Gesamtphosphor überschreiten im Limmatwasser den entsprechenden hydraulischen Prozentwert ganz wesentlich. In der Reuß liegt nur der Oxydierbarkeitswert wesentlich über dem Mittel, während die übrigen Komponenten und darunter besonders die Phosphate in defizitären Mengen vorhanden sind. Im Wasser der Aare sind die Oxydierbarkeit, Nitrit, Nitrat und damit auch der Gesamtstickstoff etwas im Überschuß vorhanden, während ebenfalls die Phosphate und besonders der Ammoniak zurücktreten.

10. Die Kläranlagen: Das Linth-Limmat-Gebiet besitzt insgesamt 740 000 Einwohner. Von rund 350 000 Einwohnern werden die Abwässer in zentralen Anlagen mechanisch entschlammte. Die meisten übrigen Einwohner entwässern über Einzelkläreinrichtungen (Klärgruben, Abwasserfaulraum und dgl.). Diese Vorreinigungsanlagen wurden bei der Berechnung der Bilanzwerte schon in Rechnung gestellt, da die angewendeten Richtwerte sich auf mechanisch gereinigtes («abgesetztes») Abwasser beziehen. Lediglich die Abwässer von etwas

mehr als 40 000 Einwohnern werden über biologische Reinigungsstufen geführt. Unter der Annahme einer anzustrebenden 90%igen Reduktion des BSB<sub>5</sub> werden pro Tag in diesen Anlagen die folgenden Stoffmengen eliminiert:

	Anfall von 40 000 Einwohnern	Elimination	
BSB <sub>5</sub>	2000 kg	90 %	1800 kg
KMnO <sub>4</sub>	5000 kg	60 %	3000 kg
N	480 kg	50 %	240 kg
P	120 kg	20 %	24 kg

Es ist zu erwarten, daß in einigen Jahren neben der Großkläranlage Zürich auch andere größere Siedlungsgebiete über biologische Stufen entwässern. Im Vollausbau wird man damit rechnen können, daß schließlich 600 000 der heutigen Einwohner im Linth-Limmat-Gebiet an biologischen Anlagen angeschlossen sind, was dann zu der folgenden Entlastung der Gewässer führen wird:

	600 000 Einwohner	Elimination	
BSB <sub>5</sub>	30 000 kg	90 %	27 000 kg
KMnO <sub>4</sub>	75 000 kg	60 %	45 000 kg
N	7 200 kg	50 %	3 600 kg
P	1 800 kg	20 %	360 kg

Die bisherigen klassischen Reinigungsverfahren bringen unter den üblichen Betriebsbedingungen lediglich rund 20 Prozent der Phosphorverbindungen aus dem Ab-

wasser. Diese Feststellung ist von besonderem Interesse, wenn man sich die überragende Bedeutung des Phosphors als bestimmenden Faktor für die Algenproduktion in den Seen vor Augen hält.

Erfolgversprechende Versuche zur Ausfällung mit Eisen- und Aluminiumsalzen haben nun ergeben, daß man damit den Eliminationseffekt ebenfalls auf 80 bis 90 Prozent steigern kann.

## O. Schlußfolgerungen

### 1. Beeinflussung von Grundwasservorkommen durch Infiltration aus dem Vorfluter

Während über die Abwasserbelastung fließender Oberflächengewässer diskutiert werden kann und sich der Belastungsgrad nach der heutigen Praxis im allgemeinen nach den örtlichen Verhältnissen richtet, so gilt das doch nur dort, wo nicht weitere Interessen der Volksgesundheit und der Volkswirtschaft auf dem Spiel stehen, dort nämlich, wo das Oberflächenwasser nutzbare Grundwasservorkommen speist. Hier liegen die Verhältnisse grundsätzlich anders. Ausgerechnet aus dem Limmattal stammt eines der drastischsten Beispiele auf diesem Gebiet: Der 1933 erfolgte Aufstau der Limmat bei Wettingen hatte zur Folge, daß sich der Grundwasserspiegel fast auf das Niveau des Stausees erhöhte, und daß das eingedrungene schmutzige Flußwasser nicht nur ein völlig unbrauchbares Grundwasser lieferte, sondern daß auch das vorhandene, vorher genutzte Grundwasser zu größten Kalamitäten führte. Mit der natürlichen Abdichtung des Flußbettes hat sich das hydrologische Regime des Grundwasserträgers wieder den Verhältnissen vor dem Aufstau genähert; das wenige Flußwasser, welches immer noch einsickern kann, genügt aber, um das den Fluß begleitende Grundwasser auch heute noch unbrauchbar zu machen. Soll verhindert werden, daß weitere, bisher saubere Grundwassergebiete dem gleichen Schicksal verfallen, so müssen in den betreffenden Flußgebieten, die heute zu stark verunreinigt sind, energische Maßnahmen gegen eine weitere Verschlimmerung getroffen werden. Die einzig richtige und auch technisch einzige Möglichkeit besteht in der ausreichenden Reinigung der Abwässer. Das Grundwasser ist für die Wirtschaft unseres Landes von kaum zu überschätzender Bedeutung; seine gute Qualität kann aber nur erhalten werden, wenn es von sauberen Flüssen und Bächen gespeist wird. Saubere Oberflächengewässer zu schaffen ist in Gebieten mit nutzbaren Grundwasservorkommen deshalb eine *kategorische Forderung*. Ihr wird heute bereits insofern stattgegeben, als man bei Neubauten von Kraftwerken großangelegte Maßnahmen ergreift, um die Eingriffe in die bestehenden Grundwasserverhältnisse so gering wie möglich zu halten. Wie die neuesten Beispiele am Hochrhein zeigen, sind die Konzessionäre zu kostspieligen Untersuchungen und Schutzmaßnahmen verpflichtet, welche eine gewisse Gewähr für den Schutz des Grundwassers bieten sollen. Der geplante Höheraufstau der verschmutzten Limmat unterhalb Baden mußte sogar bis zur genaueren Abklärung der umstrittenen Verhältnisse zurückgestellt werden.



Bild 21 An der Arbeit bei Probeentnahmen aus der Limmat

## 2. Flußwasser als Brauchwasser

Nur der obere Teil der Linth und des Linthkanals sind heute noch so beschaffen, daß ihr Wasser ohne große Aufbereitung zu Kühl- und Betriebszwecken gebraucht werden kann. Das Limmatwasser dagegen ist in seinem heutigen Zustand (nach der Einmündung des Abflusses aus der Kläranlage Werdhölzli) zur Verwendung als Betriebswasser völlig ungeeignet. Der Gehalt an gelösten Verbindungen ist derart hoch, daß es bestenfalls noch für Kühlzwecke Verwendung findet und ein verdünntes Abwasser darstellt, an dessen weiterer Nutzung kaum ein Verbrauchszweig Interesse besitzt.

Im Gegensatz dazu muß das Wasser des Walensees, des Obersees und des Zürichsees in allen seinen Eigenschaften so erhalten bleiben, daß es auf einfache Art zu Trinkwasser aufbereitet werden kann. Diese Seen bilden für mehr als eine halbe Million Einwohner die unerschöpfliche Wasserreserve, die in der derzeitigen Qualität nur dann erhalten werden kann, wenn die Reinigung aller Abwässer konsequent an die Hand genommen wird, nicht nur in den Anliegergemeinden, sondern im gesamten Einzugsgebiet bis hinauf ins Glarnerland.

## 3. Flußwasser für Kraftnutzung

Verschmutztes Wasser ist auch für Kraftwerke ungeeignet. Im Werkbetrieb ist daran zu denken, daß stagnierendes, sauerstoffarmes Wasser und seine z. B. an organischen Stoffen reichen Sedimente namentlich die Metallteile der Wehranlagen beschädigen können. Schwierigkeiten ergeben sich sodann bei der Beschaffung geeigneten Kühlwassers für die Werkanlagen, während das Geschwemmsel dauernd zusätzliche Bedienungsarbeit verursacht.

Wohl wirken die Stauhaltungen, besonders im Unterlauf der Limmat als Absetzbecken für den in großen Mengen anfallenden sekundären Abwasserschlamm, sie verzögern aber die hier ganz ausgesprochen notwendige Auffrischung des Flußwassers mit Sauerstoff wesent-

lich, in kritischen Zeiten mit niedrigerer Wasserführung sogar entscheidend.

## 4. Flußwasser für Hygiene und Sport

Während in der Linth und in den beiden Seen zumindest an ausgewählten, nicht in der Nähe von Abwasser-Einleitungsstellen gelegenen Plätzen ohne Bedenken gebadet werden kann, ist der Badebetrieb in der Limmat unterhalb des Einlaufs der Kläranlage Werdhölzli aus hygienischen Gründen entschieden abzulehnen. Da auch der Stau Wettingen die Wasserqualität nicht wesentlich verbessert, sind die offenen Flußbadeanlagen im Unterlauf der Limmat hygienisch mehr als bedenklich, weshalb denn auch etliche Gemeinden dieses Gebietes künstliche, mit Grundwasser gespiesene Bäder erstellt haben.

## 5. Fischerei

Die Linth im Glarnerland kann noch als gutes Forellengewässer gelten, doch sind in ihrem unteren Teil nachteilige Wirkungen des Abwassers auf die Laichplätze unverkennbar.

Neben Forellen werden im Linthkanal auch Äschen gefangen, und er gilt als ein sehr intensiv bewirtschaftetes Edelfischgewässer. Abwassereinleitungen haben auch in diesem Kanal wiederholt zu Fischsterben geführt. Es ist bei einer weiteren Zunahme der Abwasserlast mit steigenden Einbußen am Edelfischertrag zu rechnen.

Bis zur Einleitung der Abwasser von Zürich weist die Limmat einen guten, gemischten Fischbestand auf, wobei auch Äschen darin vorkommen. Unterhalb Schlieren dagegen wird das Fleisch der in der Limmat lebenden Fische minderwertig, da es einen Abwassergeruch annimmt. Erst nach Baden tritt wieder eine gewisse Besserung der fischereiwirtschaftlichen Situation ein.

## 6. Bau von Kläranlagen

Sowohl ihre chemische Beschaffenheit als auch ihr gegenwärtiger Verunreinigungszustand verbieten es, daß Linth und Limmat als Vorfluter für nur mechanisch

Bild 22  
Aare, von der Brücke Vogelsang  
flußaufwärts gesehen; in Bildmitte  
SBB-Brücke über die Reuß



gereinigtes Abwasser benützt werden. Heute nimmt z. B. die Glarner Linth, welche bei Niederwasser bis auf 2 m<sup>3</sup>/s absinken kann, sofern die Stauwerke des Löntsch und des Sernf-Niedererbaches außer Betrieb sind, die Abwässer von etwa 30 000 Einwohnern auf. Für das gesamte Flußgebiet gilt deshalb die Forderung nach mechanisch-biologischer Reinigung sämtlicher Abwässer. Zur Elimination der Pflanzennährstoffe wird man im Walenseegebiet in einem späteren Zeitpunkt zusätzlich sogar die dritte Reinigungsstufe ins Auge fassen müssen, ebenso für die Gemeinden am Obersee und am Zürichsee sowie im engeren Einzugsgebiet davon.

Um die Qualität des Limmatwassers wieder einigermaßen befriedigend zu gestalten, bedarf es großer Anstrengungen sämtlicher Anliegergemeinden, und zwar werden nicht nur sämtliche Abwässer mechanisch-biologisch gereinigt werden müssen, sondern die Reinigungsanlagen sind zudem auf einen höchstmöglichen Effekt auszurichten. Dies aus dem Grunde, weil in Trockenzeiten die Wasserführung der Limmat so weit absinken kann (z. B. betrug sie am 25. Oktober 1959 nur noch 27 m<sup>3</sup>/s), daß das zugeführte Abwasser nur noch weniger als 10fach verdünnt wird.

#### 7. Allgemeines

Die vorliegende Untersuchung erfaßt den Zustand der Linth-Limmat im Frühjahr 1959. Das hierbei gesammelte Daten- und Analysenmaterial kann wohl als Grundlage für die generelle Beurteilung der Wirksamkeit geplanter Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet dieser Flüsse dienen, doch wird der besondere Charakter dieser Erhebung bei der Planung von Abwasserreinigungsanlagen zusätzliche örtliche Untersuchungen erforderlich machen. Der vorliegende Bericht ersetzt solche Spezialuntersuchungen in keiner Weise.

Die koordinierte Untersuchung hat mit aller Deutlichkeit erbracht, daß nicht nur die Limmat, sondern auch die Fluß-Systeme der Reuß und der Aare erheblich durch Abwässer belastet sind. Die Abwasserverhältnisse an diesen Flüssen bedürfen deshalb einer ebenso dringenden Sanierung.

Die Technik der Abwasserreinigung ist heute so weit fortgeschritten, daß es durchaus möglich ist, die hier angeregten Maßnahmen zu realisieren. Für die betroffenen Gemeinden wird es sich dabei empfehlen, die erforderlichen Anlagen in möglichst naher Zukunft zu erstellen.

Auf keinen Fall darf deshalb so lange zugewartet werden, bis der Belastungsgrad und damit der hygienische Zustand der betreffenden Vorfluter so kritisch geworden sind, daß die vorzunehmenden Maßnahmen die angestrebte Wirkung nicht mehr innert nützlicher Frist zu gewährleisten vermögen.

Der Verfasser möchte Dr. H. Ambühl für die Überarbeitung des Berichtes und Dr. H. P. Woker für die Bearbeitung des biologischen und fischereilichen Teils des Berichtes bestens danken.

#### P. Literaturverzeichnis

- [1] Abwasserkataster für das Einzugsgebiet der Linth-Limmat. Herausgegeben vom Linth-Limmat-Verband, Zürich, Mai 1946.
- [2] Waser, Blöchliger, Husmann; Untersuchung an der Limmat. Jahrbuch «Vom Wasser» 1932, Bd. 6; 1938, Bd. 12.
- [3] Waser, Wieser, Thomas; Über den Reinheitsgrad der Zuflüsse des Zürcher Obersees im Gebiet der Grynau. Untersuchungen der öffentlichen Gewässer des Kantons Zürich 1943, Bd. 8.
- [4] Thomas; Untersuchungen an der Limmat von Zürich bis Wetztingen. 1943/1944. Vierteljahresschrift Naturforsch. Gesellschaft Zürich 1946, Bd. 91.
- [5] Thomas; Der Einfluß der Meliorierung der Linthebene auf die Überdüngung des Zürichsees. Monatsbulletin des SVGW 1954, Nr. 10 und 11.
- [6] Eidgenössische Volkszählung 1950, Bd. 1. Eidg. Stat. Amt, Bern 1951.
- [7] Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1959.
- [8] Regionalplanungsgruppe Nordwestschweiz Bericht Nr. 2. Die Verunreinigung der Aare zwischen Bielersee und Rhein 1952, Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 4, 1954. Bericht Nr. 3. Die Verunreinigung des Rheins vom Bodensee bis Karlsruhe 1956, Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 5 und 10, 1957.

#### Bilder:

- 3, 4, 14, 20, 22 Photos A. Giger, EAWAG  
 15, 19 Photos Beringer & Pampaluchi, Zürich  
 17 Swissair-Photo AG, Zürich  
 21 Photo Ing. G. A. Töndury

## Wasserwirtschaftstagung des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes

DK 06.621.2

Vom 6. bis 8. Juni 1961 fand die alle zwei Jahre übliche Wasserwirtschaftstagung des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes (ÖWWV), diesmal, wie vor 9 Jahren, wiederum in Bregenz am Bodensee statt. Die vielen, von nah und fern kommenden Tagungsteilnehmer fanden sich schon am Vorabend zu zwangloser Zusammenkunft in der Hauptstadt des Landes Vorarlberg ein.

Am ersten Tag der Veranstaltung wurden vor- und nachmittags vier Vorträge geboten, die sich vor allem mit verschiedenen wasserwirtschaftlichen Problemen des Bodenseeraumes befaßten.

Nach einer kurzen Begrüßungsansprache von Baurat h. c. G. Beurle, Linz, Präsident des ÖWWV an die vielen Teilnehmer aus dem In- und Ausland, wurden an zwei Persönlichkeiten, die sich um die Wasserwirtschaft Österreichs besonders verdient gemacht haben, die

goldene Ehrennadel des ÖWWV verliehen, und zwar an den z. Z. leider verunfallten Prof. Dr. E. h. Oskar Vas, Wien, stellvertretender Generaldirektor der Österreichischen Elektrizitätsgesellschaft (Verbundgesellschaft), der den Geschicken des Verbandes stets seine ganz besondere Aufmerksamkeit widmete und lange die Geschäfte des neuerstandenen ÖWWV leitete, sowie Dr. h. c. Anton Ammann, Bregenz, Generaldirektor der Vorarlberger Illwerke AG, dem seit vielen Jahren die Leitung der bedeutendsten Kraftwerkgruppe des Landes Vorarlberg obliegt. Als Vertreter des Tagungslandes und -ortes entboten ihre Grüße U. Ilg, Landeshauptmann von Vorarlberg und Dr. K. Tizian, Bürgermeister der Landeshauptstadt Bregenz, der in erfrischender und offener Darlegung auf die neuralgischen Stellen der Wasserwirtschaft am Bodensee hinwies und von der Zentralverwaltung in Wien Taten statt Worte verlangte!