

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 58 (1966)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Die Verunreinigung der Sihl : Bericht über die limnologischen Untersuchungen vom 5./6. Oktober 1965  
**Autor:** Eschmann, K.H. / Ammann, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-921165>

### **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:** 18.04.2026

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

der engsten Schluchtstelle befindliche altehrwürdige Brücke vom Staat als schützenswertes Kulturdenkmal erklärt wurde, musste an der etwas abseits davon erlaubten Sperrstelle als Talsperrentyp wegen des sich stark verflachenden Geländes im oberen Teil eine Pfeilerkonstruktion Typ Marcello gewählt werden.

Ein interessantes Werk stellt die bald vollendete Anlage Torrejón dar, welche mit einer höheren Talsperre den Tajo aufstaut, mit einer kleineren den Seitenfluss Tietar und mit einer Pumpanlage zwischen den beiden Speichern mit einer Spiegeldifferenz von 22,5 m das Wasser des Nebenflusses in den Hauptfluss befördert. Auch zwischen den Speichern Torrejón und Valdecañas sieht man einen Pumpbetrieb vor, und es wurden hierfür in der Zentrale Valdecañas vertikalachsige Deriaz-Turbinen installiert; es handelt sich um die grössten Einheiten dieses Typs, und zwar um

drei kombinierte Turbinen-Pumpen-Aggregate von je 110 000 PS mit hohem Wirkungsgrad auch bei stark wechselndem Gefälle und Pumpenbetrieb, 150 Umdrehungen/min mit einer zwischen 75,0 und 47,5 m variierenden Fallhöhe und einer Schluckfähigkeit von je 138 m<sup>3</sup>/s.

Diese wenn auch nur fragmentarischen Angaben über bedeutende wasser- und energiewirtschaftliche Anlagen, von denen wir auf der SWV-Studienreise 1966 etliche Werke besichtigen werden, zeigen, dass es sich um sehr bedeutende Bauten handelt, die auch unser volles Interesse verdienen. Schon hier danken wir den spanischen und portugiesischen Behörden und Gesellschaften, die uns die Möglichkeit bieten, einige ihrer Anlagen zu sehen, und uns ihre sehr geschätzte Gastfreundschaft in Aussicht gestellt haben.

#### BENÜTZTE LITERATUR:

- Spanien, Wesen und Wandlung; Salvador de Madariaga 1955
- L'usine hydroélectrique de Caniçada/Portugal, SA des Ateliers de Sécheron
- Aprovechamientos del río Duero, salto de Aldeadávila; Iberduero SA 1959
- Recent construction on the Cávado; «Water Power» 1959 pg. 1/20
- Iberduero 1960
- Situation de l'industrie de l'énergie électrique au Portugal continental, juin 1960
- Principais aproveitamentos hidroeléctricos e hidroagrícolas em Portugal; Ministério de obras públicas, 1960
- Sistema Cávado–Rabagão; Hidro Eléctrica do Cávado S.A.R.L., Porto
- Die Wasserwirtschaft Spaniens; Ing. D. Diaz-Ambrona in «Wasser- und Energiewirtschaft/Cours d'eau et énergie (WEW)» 1961 S. 65/78, mit mehrfarbigen Faltblättern
- Weltkraftkonferenz, 13. Teiltagung Madrid 1960; Ing. F. Chavaz und Ing. G. A. Töndury, in WEW 1961 S. 1/3, S. 22/62
- Le Douro et ses affluents; Hidro-Eléctrica do Douro S.A.R.L.

- Voyage au Portugal 21./26.5.1962 par S.A. des Ateliers de Sécheron, Genève
- Companhia Nacional de Electricidade (CNE) 1947–1962, Portugal
- «Catálogo oficial de las presas de embalse con altura superior a los 15 metros en 1º de enero de 1964; Ministerio de Obras Publicas 1964
- Regulación de los rios españoles, Ministerio de Obr. Publ. 1964
- El aprovechamiento hidroeléctrico del Tajo inferior y las centrales de Bombeo; Prof. Dr. M. Castillo, Revista de Obras Publicas 1964, pgs. 349/362
- Wasserwirtschaft in Portugal; Prof. Dr. H. Grubinger/ETH in WEW 1964 S. 351/357
- Situation de l'énergie électrique en Europe en 1963/64 et ses perspectives, Nations Unies, New York 1965
- Spaniens Elektrizitätswirtschaft – ein Ueberblick, Prof. A. Reisser, in «Elektrizitätswirtschaft» 1965 S. 302/309
- Wasserkraftanlagen Spaniens, Stand 1965; Oesterreichische Elektrizitätswirtschafts AG
- Repartidor Nacional de cargas/RNC 1965 (Portugal)
- Plan Badajoz, Presas y zona regabla; Ministerio de Obras Publicas agosto 1965

## DIE VERUNREINIGUNG DER SIHL

### Bericht über die limnologischen Untersuchungen vom 5./6. Oktober 1965

von K. H. Eschmann, Kantonschemiker, Zug

DK 628.31

#### A. Einleitung

Nachdem wir vor drei Jahren in Zusammenarbeit mit den Zuger Nachbarkantonen unseren westlichen Grenzfluss, die Reuss, einer eingehenden Untersuchung unterzogen haben, war es selbstverständlich, dass wir eine Gemeinschaftsarbeit, wie sie die limnologische Untersuchung der Sihl darstellt, voll unterstützten und förderten. Dies nicht nur aus kantonalem Interesse heraus, sondern schon allein aus heimatkundlichen Gründen, da das Sihltal in mancher Beziehung eine Besonderheit darstellt.

Jede gute topographische Karte zeigt deutlich, dass das Sihltal geographisch in zwei Abschnitte von verschiedenem landschaftlichem Charakter zerfällt. Der Oberlauf der Sihl mit den wichtigsten Nebenflüssen Minster, Stille Waag, Alp und Biber liegt im Gebiet der Schwyzer Alpen. Die Quellbäche der Sihl entspringen am Druesberg, genauer im Talkessel, der von den markanten Gipfeln des

Twäribergs (2117 m), Mieserenstock (2199 m) und Fläschenspitz (2073 m) eingerahmt wird. Eine Besonderheit im Quellgebiet ist die Quelle auf der Alp Obersihl, der Austrittsstelle des unterirdisch abfliessenden Wassers des Sihlseeli unterhalb des Saasbergerpasses. Zu den Quellbächen gesellen sich von beiden Flanken her bald noch einige Wildbäche, die vereinigt vorerst ein schluchtartiges Tal durchfliessen. Vom Schwyzerplätz an wird dieses zusehends breiter und geht in einen breiten Talhoden über, der den ersten Siedlungen Platz bietet. Damit ändert sich auch der Charakter der Sihl, ist doch aus dem jugendlichen Wildbach ein zahmflussender, heute grösstenteils kanalisierter Talfluss geworden, der bei normaler Wasserführung auf rund 3 km Länge (Ochsenboden) unterirdisch fliesst. Aehnliche Verhältnisse herrschen bei den genannten grösseren Seitenflüssen, der Minster, Waag und Alp.

Von Studen bis zum Etzel ist das Sihltal ein typisch voralpines, breites Hochtal, früher durch sein Hochmoor vor allem botanisch gut bekannt, seit 1937 durch den Stausee ausgefüllt. Vor dieses Hochtal, das westlich durch eine flache Wasserscheide vom Alptal getrennt ist, legt sich der Höhenzug Etzel–Hohe Rone. Dieser bedingt die plötzliche

NB. Analoge Untersuchungen wurden für nachfolgend genannte Flüsse durchgeführt und die Berichte über deren Ergebnisse mit einer Ausnahme in dieser Zeitschrift veröffentlicht: Aare (1952) WEW 1954 S. 75/92; Rhein, Bodensee–Karlsruhe (1956) WEW 1957 S. 115/126, 247/267, 289/295; Linth–Limmat (1959) WEW 1961 S. 275/300; Reuss (1962) WEW 1963 S. 177/198; Birs (1962) Bulletin SVGW 1963 S. 221/234, 272/283

Bild 1  
Zusammenfluss der Alp  
mit der Sihl  
oberhalb Geissboden.



Richtungsänderung der Sihl nach Westen bei Egg–Untersyten, wobei der Fluss in vielen Windungen dem Südhang des Etzels entlang folgt. In der Geländesenke zwischen Etzel und Hohe Rone findet der Fluss nach Aufnahme der Alp einen Ausweg aus dem Hochtal und damit aus dem voralpinen Raum hinaus ins Mittelland.

Von Schindellegi an durchfließt die Sihl in enger Schlucht, von Sihlbrugg an bis gegen Langnau a. A. in engem Tal, das mit eiszeitlichen Ablagerungen reichlich überschüttete Hügelland. Erst von Langnau a. A. an wird das Tal allmählich breiter und mündet schliesslich über die breite Fläche des Sihlfeldes ins Limmattal ein. Die Länge des gesamten Flusslaufes beträgt 67,6 km und sein Einzugsgebiet gemäss Hydrographischem Jahrbuch 336 km<sup>2</sup>.

In geologischer Hinsicht bietet das Sihltal ein prächtiges Beispiel dafür, wie variationsreich eine Flusslandschaft sein kann. Es sei an dieser Stelle deshalb auf die Arbeiten von R. Staub [1]<sup>1</sup>, H. Leibundgut [2] und W. Höhn [3] hingewiesen.

Der zürcherische Stadtpräsident Emil Landolt hat im Jahre 1958 die Aeusserung getan: «Für jeden Zürcher bedeutet das Sihltal ein ideales Gebiet der Erholung, ein kleines landschaftliches Paradies, einen Hort der Freude für alle Naturfreunde». Mit diesen wenigen Worten wird dargelegt, dass das Sihltal nicht nur für den Naturwissenschaftler einen unwiderstehlichen Anziehungspunkt bedeutet, sondern dass es als Landschaft einen ganz speziellen Reiz ausüben muss. Dies kommt nicht zuletzt daher, dass das Sihltal sehr stark bewaldet ist. Das Klima des Sihlgebietes ist zumindest im unteren Teil ozeanisch warm und unterscheidet sich kaum vom schweizerischen Mittelland. Bei diesem ausserordentlich wechselnden Relief und der starken Bewaldung haben sich sehr reichlich lokalklimatische Varianten ausgebildet, die höchstens durch ihre Pflanzenwelt zu erfassen sind. Die weichen, plastischen und feuchten, bei anhaltender Trockenheit rissig werdenden Mergel verwittern rascher als der Sandstein und liefern leicht abschwemmbares toniges Material, was sich nach Gewittern immer in einer deutlichen Trübung der Sihl zeigt. Dass unter diesen Umständen die Buche im Sihlwald ihr Entwicklungsmaximum gefunden hat, kann nicht verwundern. Auch

die Weisstanne stockt im Sihlwald auf ihr zusagendem Standort, ist jedoch nur in Horsten verbreitet und nicht in reinen Beständen. Die Rottanne findet sich meist nur durch künstliche Pflanzung begründet, hat aber in ihrem natürlichen Wuchsgebiet stark an Verbreitung zugenommen, obwohl der Sihlwald nicht zu ihrem natürlichen Wuchsgebiet gehört. Die Föhre und die Eichen-Arten sind in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen.

Überall ist die Esche vertreten, ja in Bachmulden kann sie ganz überwiegen, verjüngt sie sich doch sehr reichlich auf natürliche Weise [4]. Auch die besondere Reichhaltigkeit der Flora des Sihltales muss hier erwähnt werden. An wenigen Orten im Zürcherischen Sihlwald und an den Sihlhalden findet sich der Seidelbast, im Horgener Wald das Springkraut oder Rührmichnichtan. Oefters, jedoch verstreut stösst man auf den gelben Fingerhut, den blauen Eisenhut, die gelbe klebrige Salbei. Am Sihlufer, unterhalb der Station Sihlbrugg fanden wir regelmässig in reicher Zahl die auffallend schöne Türkenbundlilie. Leider ist sie seit zwei Jahren verschwunden. Etwas unterhalb der Hüttener Brücke stiessen wir auf den so seltenen Frauenschuh, fanden ihn jedoch ein Jahr später bereits nicht mehr.

Das untere Sihltal ist reich industrialisiert. Im ganzen oberen Raum der Sihl, in den Waldgebieten von Studen bis hinunter nach Schindellegi, beherrscht naturgemäss ein grosses Holzgewerbe die schwyzerische Gegend. Rund zwei Dutzend Sägewerke verarbeiten das natürliche Gut des Landes. Um dem obersten Sihltal eine neue Einkommensmöglichkeit zu bieten, wurde im Jahre 1944 in Euthal ein Kunstharzpresswerk gegründet, in dem rund 80 Arbeitskräfte Beschäftigung finden.

Erst bei Schindellegi berührt die Sihl dichter besiedelte Striche; hier treibt ihre Kraft seit mehr als 100 Jahren eine Sägerei, der sich 1867 eine Weberei und 1920 eine Bleicheerei angegliedert haben; hier wurde 1960 auch das Kraftwerk Sihl-Höfe erstellt. Im Jahre 1893 baute eine Aktiengesellschaft «Elektrizitätswerk an der Sihl» zwischen der Hüttener-Brücke und der Waldhalde ein Kraftwerk, das dann 1908 von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich übernommen wurde; es befindet sich zur Zeit im Umbau. In Sihlbrugg-Dorf finden wir eine elektrochemische Fabrik, die in erster Linie Zinkweiss herstellt.

<sup>1</sup> Literaturnachweis [ ] am Schluss des Berichtes

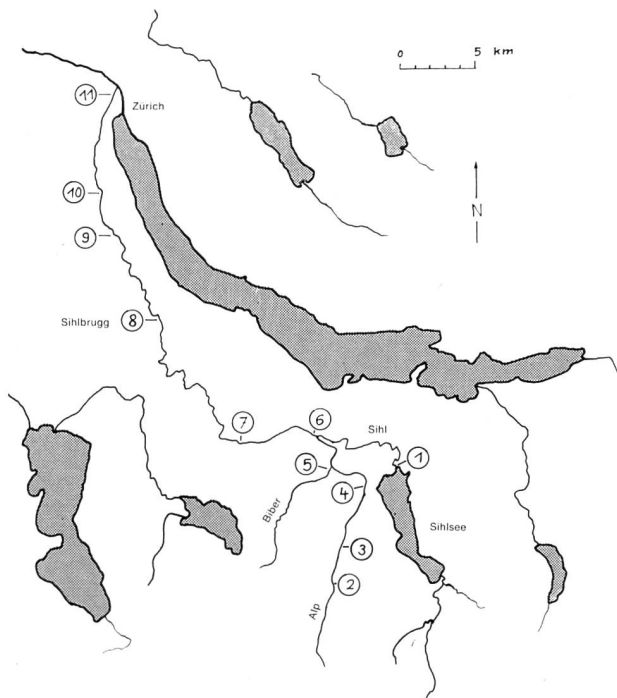


Bild 2 Probenahmestellen an der Sihl, Alp und Biber für die limnologischen Untersuchungen vom 5./6. Oktober 1965.

Das eigentliche Industriegebiet des Sihltales beginnt jedoch erst in Langnau und Gattikon. Bereits 1815 wurde in Gattikon eine Baumwollspinnerei erstellt, die heute noch für ihre Handdruckerei von Künstlerstoffen berühmt ist. Dem Wanderer im Sihltal fallen zudem die grossen Gebäude der Wollweberei in Gattikon und der Giebelbau der Spinnerei Langnau a. A. auf. Talwärts folgen nun galvanische Betriebe, Textilindustrien und eine bedeutende Papierfabrik. Im Rahmen dieses Berichtes ist es nicht möglich, auf Details einzugehen. Immerhin sei erwähnt, dass kurz bevor die Sihl beim ehemaligen Sihlhölzli über einen Ueberfall nieder-rascht und dann unter dem Hauptbahnhofareal von Zürich ihrer Vereinigung mit der Limmat zustrebt, an ihrem rechten Ufer als letztes grosses Unternehmen die Bierbrauerei Hürlimann AG anliegt.

## B. Zweck der Untersuchung

Auf Einladung der Abteilung für Wasserbau und Wasserrecht der Baudirektion des Kantons Zürich fand am 18. August 1964 in Zürich eine Zusammenkunft von Vertretern der Laboratorien und Gewässerschutzämter der an die Sihl anstossenden Kantone statt, an der einer Anregung des Kantonsingenieurs von Schwyz folgend dem Wunsch nach einer vollständigen Untersuchung des Flusses Ausdruck gegeben wurde. Diese sollte ungefähr in der Art der Reuss-Untersuchung [5] stattfinden. Anstoss zu diesem Wunsch gaben die seit Jahren aufgetretenen Klagen der Verunreinigung der Sihl durch schwyzerische Kieswäschereien. Dabei war von Anfang an klar, dass die Alp, die die gesamten unge-reinigten Abwässer von Einsiedeln mit sich führt, in die Untersuchung eingeschlossen werden musste. Der untere Sihllauf ist sehr stark industrialisiert, und somit ist die Möglichkeit gegeben, dass das Sihlwasser durch verborgene Industrieableitungen beeinträchtigt würde. Es war somit von Interesse zu erfahren, ob die hie und da sichtbare Verschmutzung der Sihl nur von den Oberliegern stammt. Schliesslich ist zu beachten, dass die letzte vollständige

Untersuchung der Sihl kurz nach Erstellung des Etzelwerkes erfolgte [6].

Die Organisation der Untersuchung sowie die Berichterstattung über die Ergebnisse wurde dem Zuger Kantonschemiker übertragen. Im Prinzip war vorgesehen, die Untersuchung Anfang September 1965 während eines Niederwasserstandes der Sihl durchzuführen. Wie später noch dargelegt wird, musste jedoch infolge des anhaltend regnerischen Sommers eine Verschiebung vorgenommen werden.

## C. Untersuchungsprogramm und Organisation

Anlässlich der Sitzung in Einsiedeln und anschliessendem Augenschein vom 14. Oktober 1964 wurden von den kantonalen Fachstellen für Gewässerschutz und den kantonalen Laboratorien die Probenahmestellen nach folgenden Gesichtspunkten festgelegt [7]:

Stelle Nr. 1: ABFLUSS DES SIHLSEES unterhalb der Staumauer beim Nordende des Sees (892 m ü. M.). Erfassen des Nährstoffabflusses aus dem Sihlsee, der zur Hauptsache aus den Wässern der Sihl, Waag, Münster, Rickental und Grossbach gespiesen wird; bei Pumpspeicherung gelangt auch Wasser aus dem Zürich-Obersee in den Sihlsee.

Stelle Nr. 2: ALP OBERHALB TRACHSLAU, bei Punkt 217/697,9 vor dem ersten am Fluss liegenden Kieswerk, deshalb noch «unbeeinflusstes» Wasser (929 m ü. M.).

Stelle Nr. 3: ALP OBERHALB EINSIEDELN, bei der Brücke zur Sägerei (901 m ü. M.), vor der Verschmutzung durch die Abwässer von Einsiedeln.

Stelle Nr. 4: ALP UNTERHALB EINSIEDELN, bei der Säge in Holzrüti mit den Abwässern von Einsiedeln (862 m ü. M.).

Stelle Nr. 5: BIBER OBERHALB BIBERBRUGG, zur Kenntnis des Zustandes der Biber vor Einmündung in die Alp (835 m ü. M.).

Stelle Nr. 6: SIHL BEI GEISSBODEN, 450 m nach dem Zufluss der Alp mit Biber. Erfassen des Vermischungsgrades der Flüsse (830 m ü. M.).

Stelle Nr. 7: SIHL BEI HÜTTEN, Brücke zur Schönau beim Restaurant Säge (750 m ü. M.) nach rund 5,5 km Selbstreinigungskraft des Flusses.

Stelle Nr. 8: SIHL BEI SIHLBRUGG-STATION, bei der Brücke zum Horgenerberg, 400 m unterhalb des Stationsgebäudes der SBB (514 m ü. M.).

Stelle Nr. 9: UNTERWASSERKANAL LINKS DER SIHL AUF DER HÖHE DER KLÄRANLAGE ADLISWIL (ohne Abwasser aus dieser Kläranlage), nach rund 10 km Selbstreinigung der Sihl (451 m ü. M.).

Stelle Nr. 10: SIHL BEI DER MANEGGBRÜCKE ZÜRICH-LEIMBACH, teilweise mit Abwasser aus der Kläranlage Adliswil (433 m ü. M.).

Stelle Nr. 11: SIHL BEI DER GESSNERBRÜCKE, ZÜRICH (404 m ü. M.).

Die chemischen Laboratorien der drei Anstösserkantone haben sich wie folgt in die Untersuchung geteilt:

1. Laboratorium der Urkantone, Brunnen: Kantonschemiker Dr. M. Betschart, vertreten durch Dr. Y. Siegwart, Kantonschemiker seit 1. 11. 1965. Stellen Sihlsee, Alp und Biber (1–5).
2. Kantonales Laboratorium Zug: Kantonschemiker K. H. Eschmann, Stellen Geissboden und Hütten (6+7).

3. Kantonales Laboratorium Zürich: Kantonschemiker Dr. E. Roman n, vertreten durch Prof. Dr. E. A. Thomas, Leiter der limnologischen Abteilung. Stellen Sihlbrugg-Station und Kanal Adliswil auf der Höhe der Kläranlage (8+9).
4. Städtisches Laboratorium Zürich: Stadtchemiker Dr. H. Forster, vertreten durch Dr. H. L ü ö n d, Leiter der Wasserabteilung. Stellen Maneggbrücke Zürich-Leimbach und Gessnerbrücke Zürich (10+11).

An den Probestellen 4 und 6–11 schöpfte man während 24 Stunden alle zehn Minuten Wasserproben aus den Flüssen. Das Sammelwasser aus je elf Einzelproben ergab zwei-stündige Mischproben, die sogleich in die entsprechenden Laboratorien transportiert wurden. Die Messung der Luft- und Wassertemperatur erfolgte stündlich. Beim Auslauf aus dem Sihlsee begnügte man sich mit zwei Probeerhebungen, während die Alp oberhalb Trachslau (2) und oberhalb Einsiedeln (3) sowie die Biber oberhalb Biberbrugg (5) mit vier zeitlich gestaffelten Proben innerhalb 24 Stunden untersucht wurden, da keine grossen Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung zu erwarten waren.

#### D. Untersuchungsmethodik

Die Bereinigung der Methoden erfolgte an zwei Sitzungen der beteiligten amtlichen Laboratorien in Brunnen am 16. Juni 1965 und in Zug am 6. August 1965, sowie durch zwei Vergleichsanalysen an von Zug aus versandten Abwässern. Mit wenigen Ausnahmen wurden die bereits bei der Untersuchung der Reuss [5] angewandten und bewährten Methoden benützt.

Die Analyse umfasste folgende Komponenten:

1. Temperatur der Luft auf  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  und des Wassers auf  $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$  genau, an Ort und Stelle gemessen.
2. pH-Wert, potentiometrisch im Laboratorium, nach Eichung der Geräte mit einer Merck-Pufferlösung Nr. 9888 auf pH 8.
3. Sauerstoffgehalt in Einzelproben, unter teilweiser Verwendung von Manganchlorid-Tabletten und Natriumhydroxidplättchen. Zur Eliminierung der Nitrite wurde pro 100 ml Wasser 1 Tropfen einer 10%igen Natriumazidlösung zugefügt. An den zürcherischen Probenahmestellen wurde mit Lösungen aus Kippbüretten gemäss der Vorschrift des Lebensmittelbuches gearbeitet [8].
4. Sauerstoffsättigung. Die Berechnung mit der Sauerstoffscheibe nach Burkard.
5. Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen an Originalproben. Die Berechnung erfolgte nach der Formel von Bach [9].
6. Kaliumpermanganatverbrauch im filtrierten Wasser. Zur Eliminierung von sporadisch auftretenden Verunreinigungen wie z. B. Detritusklumpen wurde das Wasser durch mit 300 ml destilliertem Wasser vorgespülten Faltenfiltern S&S 589<sup>1</sup> filtriert.
7. Ammonium, direkte Bestimmung im unfiltrierten Wasser mit Nessler-Reagens und photometrischer Messung bei 420 nm. Resultatangabe in mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$ .
8. Nitrit. Diazomethode nach Griess-Ilosvay-Lunge im filtrierten Wasser und photometrischer Messung bei 510 nm. Resultatangabe in mg/l  $\text{NO}_2\text{-N}$ .
9. Nitrat. Natriumosalicylatmethode im unfiltrierten Wasser und photometrischer Messung bei 420 nm. Resultatangabe in mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  [10].
10. Kjeldahl-Stickstoff. In sechs-stündigen Mischproben nach Aufschluss ohne Katalysator, Destillation und Nesslerierung. Resultatangabe mg/l N [11, 12].
11. Gesamt-Stickstoff, berechnet aus Kjeldahl-Stickstoff plus Nitrit-, Nitrat-, und Ammonium-Stickstoff. Resultatangabe in mg/l N.



Bild 3 Aufgestaute Sihl unterhalb Schindellegi

12. Anorganische Phosphate, nach Wattenberg und Kalle [13] im vorfiltrierten Wasser. Photometrische Messung bei 720 nm. Resultatangabe in mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$ .
13. Gesamt-Phosphor, nach modifizierter Methode des Städtischen Laboratoriums Zürich in sechs-stündigen Mischproben. Resultatangabe in mg/l P.
14. Chloride, Quecksilberrhodanid-Methode, modifiziert nach Ambühl [14]. Messung bei 460 nm.
15. Karbonathärte, Säuretitration mit Mischindikator nach Cooper [15]. Resultatangabe in  $\text{fr.H}^{\circ}$ .
16. Gesamthärte, komplexometrisch mit Erio-T als Indikator, nach Aufkochen des für die Karbonathärtebestimmung benützten Wassers. Resultatangabe in  $\text{fr.H}^{\circ}$ .
17. Eisen, mit o-Phenanthrolin [16] und photometrischer Messung bei 520 nm in filtrierten sechs-stündigen Mischproben. Resultatangabe in mg/l Fe.
18. Anionaktive Detergentien, nach Klotter [17] in sechs-stündigen Mischproben. Resultatangabe in mg/l WAS.
19. Trübungsmessung im Coleman-Spektralphotometer bei 420 nm und einer Schichtdicke von 50 mm gegen filtriertes Wasser, für alle Laboratorien durch das Zuger Laboratorium ausgeführt. Resultatangabe in % Transmission.
20. Trübungsmessung bei den Stellen Nr. 4 (Alp unterhalb Einsiedeln), Nr. 7 (Hütten), Nr. 9 (Adliswil, Kanal neben Kläranlage) und Nr. 11 (Gessnerbrücke) mit registrierenden Trübungsmessgeräten, zur Verfügung gestellt durch die Firma Sigris-Photometer AG, Zürich. Resultatangabe Trübung in mg/l, verglichen mit geeichten Standards von 100 bzw. 50 mg/l [18].
21. Keimzahlbestimmung auf Plate Count Agar, Bebrütung bei  $20^{\circ}\text{C}$  während drei Tagen gemäss den Vorschriften für das neue Schweizerische Lebensmittelbuch [19], sowie
22. Keimzahlbestimmung, gleich wie unter 21 angegeben, jedoch Bebrütung bei  $30^{\circ}\text{C}$  während drei Tagen.
23. Coliforme Keime nach der Membranfiltermethode auf Endo-Agar. Bebrütung während 24, bzw. 48 Stunden bei  $37^{\circ}\text{C}$ .
24. Mikroskopische Prüfung in je einer Tages- und Nacht-Mischprobe; für alle Laboratorien durch das Zürcher Kantonslabor ausgeführt.

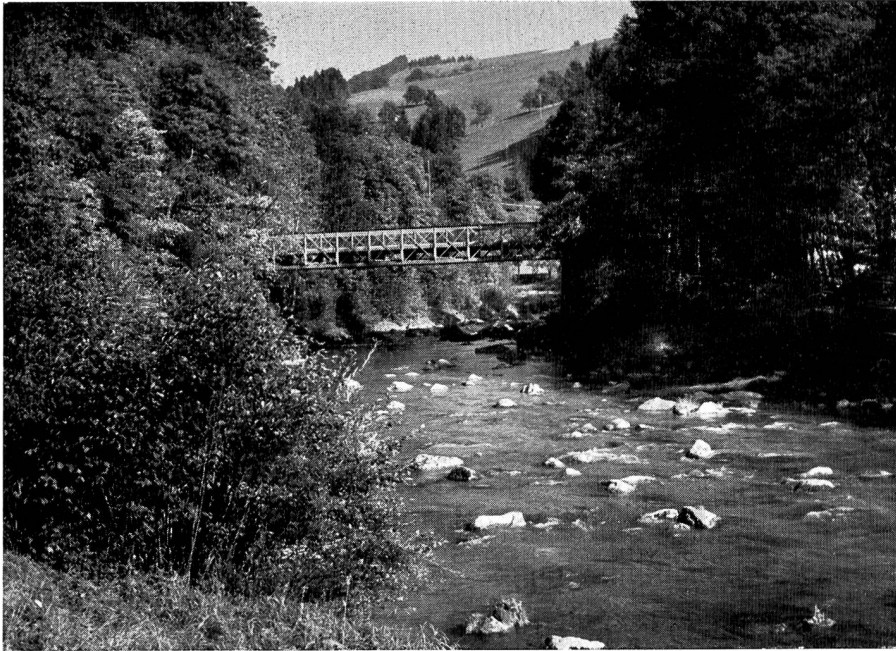


Bild 4  
Sihl bei der Hüttenerbrücke.

## E. Durchführung der Untersuchung

Für die Entnahme der Proben und ihren Transport in die amtlichen Laboratorien waren die nachstehenden Amtsstellen besorgt:

- Schwyz: Kantonsingenieur-Büro – Vorsteher: Dipl. Ing. E. Beeler, Kantonsingenieur  
 Zug: Kantonales Bauamt – Vorsteher: Dipl. Ing. H. Schwegler, Kantonsingenieur  
 Zürich: Abteilung für Wasserbau und Wasserrecht – Vorsteher: Dipl. Ing. H. Bachofen

Die Gerätschaften zur Probeerhebung wurden durch die zuständigen Amtsstellen besorgt, wobei als «Wetterschutz» vorwiegend Wohnwagen eingesetzt wurden. Für jede Probenahmestelle waren mindestens vier Mann notwendig, die sich in einem bestimmten Turnus in Zweiergruppen ablösten. Diese Mitarbeiter rekrutierten sich aus dem Personal kantonaler und kommunaler Amtsstellen. Kurz vor der Durchführung der Untersuchung erhielt dieses Personal an den Probenahmestellen Erläuterungen über seine Aufgaben und über die Handhabung der Geräte. Jeder Posten musste über seine Tätigkeit Protokoll führen und wurde im Verlaufe der 24-stündigen Aktion von den Leitern der Untersuchung mehrmals besucht. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von vier Trübungsmessgeräten, die in kontinuierlichem Einsatz standen und von der Firma Sigrist-Photometer AG gratis zur Verfügung gestellt und betreut wurden.

Anlässlich der diversen Vorbesprechungen hatte man als Durchführungsdatum Dienstag und Mittwoch, den 13. und 14. September 1965 festgelegt. Nachdem jedoch im ganzen Sommer eine Regenperiode geherrscht hatte, wie man sie seit Jahren nicht mehr erlebte, musste die Untersuchung auf das erste «Trockenwetter-Datum», das noch für die Laboratorien und Bauämter tragbar war, verschoben werden. In der Tat hörte die Regenperiode am 30. September auf, so dass die Untersuchung bei bester Witterung am 5./6. Oktober 1965 durchgeführt werden konnte. Diese frühe Probeerhebung nach der Regenzeit liess sich bei der Sihl umso mehr rechtfertigen, als die Sihl zu den wirklich «regenabhängigen» Flüssen gehört.

Die Probenerhebungen konnten ungestört und ohne den geringsten Unfall durchgeführt werden. Sowohl die Beteiligten im Freien, als auch das in den Laboratorien beschäftigte Personal hat mit grossem Einsatz zum Teil bis zu dreissig Stunden ausgeharrt und somit zum guten Gelingen der Sache beigetragen.

Die in den vier Laboratorien ermittelten Ergebnisse wurden in den darauffolgenden Wochen auf vorgedruckten Resultatbogen zusammengestellt und dem Zuger Kantonschemiker zur Auswertung eingesandt. Dieser hatte in der Zwischenzeit durch den Schwyzer Kantonsingenieur und die zürcherische Abteilung für Wasserbau und Wasserrecht die Messergebnisse der Pegelstände an der Alp, Biber und Sihl sowie die Angaben der Meteorologischen Zentralanstalt über die Wetter-, bzw. Niederschlagsverhältnisse im Einzugsgebiet der Sihl erhalten. Allen diesen Aemtern sei hier für ihre freundliche Mitwirkung und ihr Entgegenkommen bestens gedankt.

## F. Wetterverhältnisse und Wasserführung

Der Sommer 1965 war ausgesprochen niederschlagsreich, so dass in keinem Fluss längere Zeit die üblich zu beobachtenden Niederwasserstände herrschten. Immerhin trat vom 30. September an eine Trockenperiode ein, die mit einer einzigen kurzen Unterbrechung am 17. Oktober den ganzen Monat Oktober andauerte. Die Wasserführung der Sihl und der ihr zufließenden Gewässer ging schnell zurück und erreichte am Untersuchungstage einen Stand, der zu einem Drittel unter dem 27-Jahrmittel des hydrographischen Jahrbuches liegt [20].

WASSERFÜHRUNG (Tagesmittel in m<sup>3</sup>/s)

Tabelle 1

Limnigraphen	5. 10.	6. 10.	Mittel 5./6. 10.	Mittel letzte 27 Jahre
Biber b. Biberbrugg	0.26	0.24	0.25	—
Alp b. Biberbrugg	0.54	0.52	0.53	—
Abfluss aus Sihlsee	1.32	1.40	1.36	—
Sihl b. Geissboden	2.32	2.32	2.32	—
Sihl b. Hütten	2.50	2.50	2.50	—
Sihl b. Sihlhölzli	4.50	4.50	4.50	6.71

Somit fiel die Daueruntersuchung in eine für die Untersuchung günstige Niederwasserperiode. Dieser Umstand wurde von allen Teilnehmern sehr geschätzt, hätte doch die ganze Untersuchung aus diversen Gründen um mindestens ein Jahr verschoben werden müssen.

## G. Chemische Analysenergebnisse

### 1. TEMPERATUREN UND pH-WERTE:

#### a. Lufttemperaturen

Die Temperaturmaxima wurden durchwegs am 5. Oktober zwischen 14 und 16 Uhr gemessen. Sie lagen im Oberlauf der Sihl und an der Biber um 14 °C, im Unterlauf zwischen 17 und 20 °C. Die Minima erhielten wir meist zur gleichen Stunde in der Nacht. Am niedrigsten sank die Lufttemperatur um 4 Uhr morgens bei Biberbrugg, nämlich auf 2,7 °C, während die grösste Temperaturdifferenz unterhalb Einsiedeln mit 13,5 °C gemessen wurde.

#### b. Wassertemperaturen

Auch bei den Wassertemperaturen wurden die Maxima durchwegs nachmittags zwischen 14 und 16 Uhr registriert. Im Laufe der Nacht sanken die Temperaturen bis um 7,1 °C, ohne am Vormittag des 6. Oktobers wiederum deutlich an-

zusteigen. Das aus dem Sihlsee abfliessende Wasser zeigte Temperaturkonstanz, während der Temperaturfall des Wassers der Alp und Biber in Figur 1 deutlich zum Ausdruck kommt. Das kühlere Wasser dieser beiden Zuflüsse vermochte sich auf die Temperatur der Sihl bei Geissboden und selbst bei Hütten noch deutlich auszuwirken. Eine annähernde Temperaturkonstanz trat erst am letzten Proberhebungsort in der Stadt Zürich wieder ein.

#### c. pH-Werte

Nur die pH-Werte des aus dem Sihlsee abfliessenden Wassers waren konstant; die Sihl und ihre Nebenflüsse wiesen zum Teil erhebliche Schwankungen auf. Interessant ist die Feststellung, dass das Mittel der pH-Werte des Wassers der Alp oberhalb Trachslau um 0,21 Einheiten höher liegt als unterhalb Einsiedeln. Auch die Biber zeigt die gleiche Erscheinung, die eindeutig auf den Einfluss des Moorbodens zurückzuführen ist. Sehr starke pH-Schwankungen sind in der Sihl bei Geissboden festzustellen (siehe Figur 2). Die Strecke von nur 450 m von der Einmündung der Alp in die Sihl bis Geissboden dürfte für eine gleichmässige Durchmischung zu kurz sein. Den niedrigsten Wert mit 7,8 fanden wir um Mitternacht in Geissboden, den höchsten abends um 20 Uhr bei Adliswil mit 8,9. Somit erhielten wir in der Sihl ein pH-Gefälle von 1,1 Einheiten.

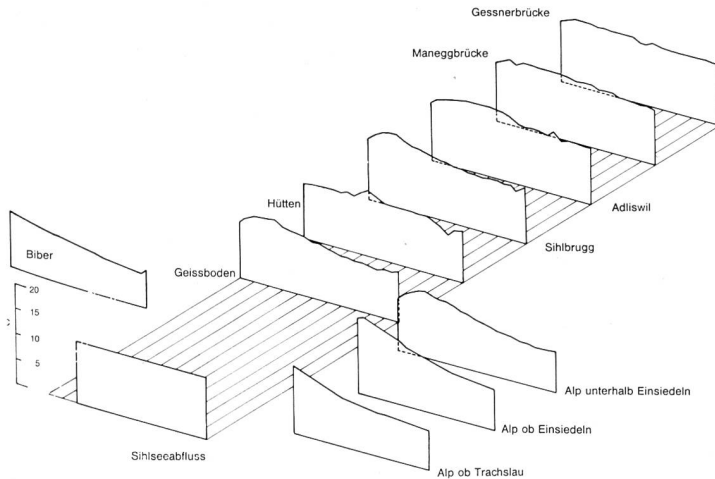


Fig. 1 Wassertemperaturen in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.

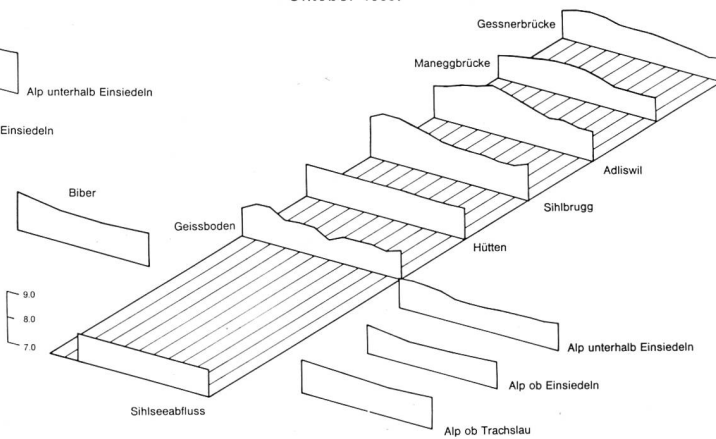


Fig. 2 pH-Werte von Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.

### TEMPERATUREN UND pH-WERTE

Tabelle 2

Probenahmestelle	Lufttemperatur °C			Wassertemperatur °C			pH-Wert		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
1. Sihlsee	10.5	14.0	12.2	12.2	12.2	12.2	8.10	8.10	8.10
2. Alp ob Trachslau	5.5	18.2	10.2	8.0	13.5	9.9	8.15	8.35	8.24
3. Alp ob Einsiedeln	4.6	17.5	10.1	8.3	15.4	11.4	7.90	8.10	8.00
4. Alp unter Einsiedeln	3.2	16.7	9.3	7.8	13.2	10.2	7.90	8.20	8.03
5. Biber ob Biberbrugg	2.7	14.8	8.3	6.9	11.0	8.9	8.20	8.50	8.31
6. Sihl Geissboden	5.3	14.4	9.4	9.2	13.5	11.2	7.80	8.45	8.11
7. Sihl Hütten	4.0	17.0	9.1	8.6	13.2	11.2	8.20	8.25	8.24
8. Sihlbrugg-Station	10.0	20.0	12.9	10.0	14.4	12.0	8.25	8.85	8.48
9. ob Adliswil	10.0	20.0	13.7	11.0	14.0	12.5	8.20	8.90	8.47
10. Maneggbrücke Zürich-Leimbach	10.0	17.0	12.6	11.0	13.1	12.2	7.90	8.30	8.07
11. Gessnerbrücke Zürich	10.0	17.0	13.1	11.9	13.2	12.5	7.85	8.35	8.11

## 2. SAUERSTOFFGEHALT UND BIOCHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF

Das aus dem Sihlsee abfliessende Wasser weist bei einer guten Sauerstoffsättigung einen tragbaren biochemischen Sauerstoffbedarf auf. Desgleichen ist das Wasser der Alp oberhalb Einsiedeln und der Biber reichlich sauerstoffhaltig. Figur 4 zeigt den starken Anstieg des biochemischen Sauerstoffbedarfes in der Alp nach Einsiedeln mit einer deutlichen Spitze abends um 20.00 Uhr. Die starke Belastung durch die häuslichen Abwässer von Einsiedeln macht sich auch noch deutlich in der Sihl bei Geissboden bemerkbar; ja selbst bei Hütten ist noch keine eindeutige Abnahme

feststellbar. Infolge der Wassernutzung und der Kanalisation von Geissboden bis Schindellegi sowie des Kraftwerkes Höfe ist eine Aufarbeitung nicht oder nur schlecht möglich. In Sihlbrugg ist der biochemische Sauerstoffbedarf infolge des natürlichen Flusslaufes wiederum deutlich gesunken und bleibt auf einem Wert, der im Durchschnitt demjenigen des Sihlseeabflusses entspricht. In der Stadt Zürich ist in der Folge ein neuerlicher Anstieg feststellbar.

Die mittlere Sauerstoffsättigung sinkt mit Ausnahme derjenigen in der Alp unterhalb Einsiedeln nie unter 100 % (Folge der Abwässer). Interessant sind dabei die in der Sihl jeweils zwischen 12 und 14 Uhr auftretenden Maxima (Figur 3), die sich am nächsten Tag wiederholen.

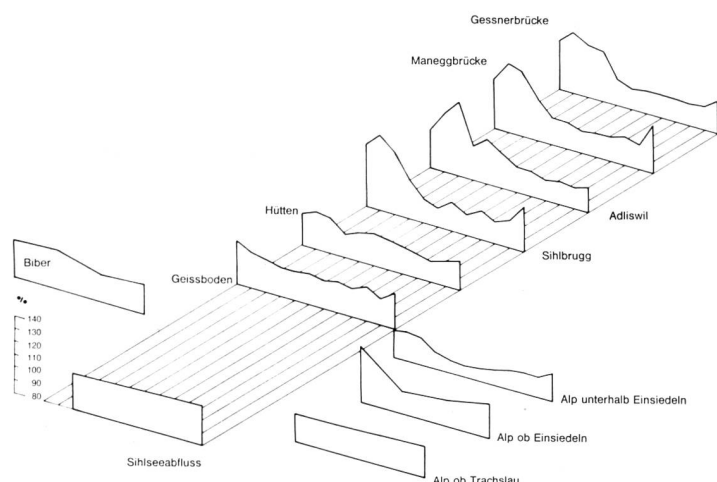


Fig. 3 Sauerstoffsättigung in % in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.

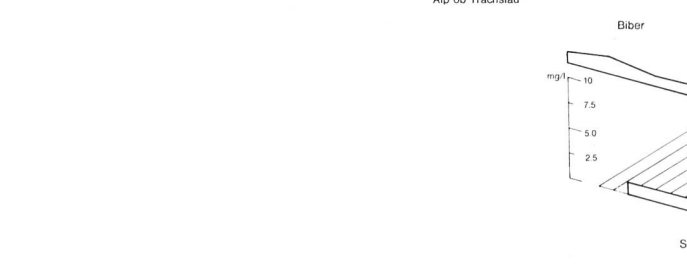


Fig. 4 BSBs in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.

## SAUERSTOFFKONZENTRATION UND BIOCHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF

Tabelle 3

Stelle	Sauerstoffgehalt in mg/l			Sauerstoffsättigung in %			Sauerstoffmenge		BSB <sub>5</sub> mg/l			BSB <sub>5</sub> kg/h	
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel	t/Tag	Minimum	Maximum	Mittel	kg/h	kg/Tag
1	10.1	10.3	10.2	108.0	111.0	109.5	56.4	1.35	1.1	1.2	1.17	6.5	155.7
2	9.8	10.8	10.3	102.0	105.0	103.5	19.6	0.47	0.3	0.5	0.42	0.8	19.2
3	9.1	11.0	10.2	99.0	123.0	107.5	19.4	0.46	0.4	0.7	0.55	1.1	26.4
4	8.3	10.5	9.4	89.0	103.0	95.7	17.9	0.43	1.3	8.3	3.59	6.8	163.2
5	10.5	11.2	10.8	101.0	111.0	106.8	9.7	0.23	1.0	1.7	1.17	1.1	25.3
6	9.5	11.0	10.1	101.0	114.0	105.3	84.6	2.03	1.8	4.1	3.00	25.1	601.3
7	9.4	10.6	10.0	96.4	108.7	102.5	90.0	2.16	1.9	3.7	2.71	24.3	585.4
8	9.2	13.4	10.8	94.0	139.0	109.4	117.2	2.81	0.5	1.9	1.29	13.9	334.4
9	9.5	13.2	10.5	96.0	138.0	107.8	121.3	2.91	0.7	2.5	1.20	13.8	331.8
10	9.5	13.1	10.6	97.0	134.0	109.3	134.4	3.23	0.8	2.3	1.46	18.4	441.5
11	9.4	12.6	10.4	96.0	129.0	106.7	168.5	4.04	1.6	2.8	2.13	34.5	828.1

## 3. KALIUMPERMANGANATVERBRAUCH UND CHLORID-KONZENTRATION

Die anlässlich der interkantonalen Reussuntersuchung [5] gemachten Erfahrungen bei der Bestimmung der Permanganatoxydierbarkeit bewirkten einen Verzicht dieser Bestimmung im Rohwasser. Wie aus den Werten der Tabelle 4 und der graphischen Darstellung in Figur 5 deutlich hervorgeht, verdoppeln sich die Verbrauchszahlen in der Alp nach Einsiedeln. Der höchste Wert wurde um 14 Uhr erreicht,

das Minimum morgens um 8 Uhr. Da aber das aus dem Sihlsee abfliessende Wasser bereits einen durchschnittlichen Verbrauch von 10,2 mg  $\text{KMnO}_4$  pro Liter aufweist, sind die Schwankungen bei Geissboden und Hütten nicht mehr besonders ausgeprägt.

Den höchsten Mittelwert des Permanganatverbrauches aller Proben weist interessanterweise die Biber auf (Moorwasser), während der höchste Durchschnittswert in der Sihl in Zürich erhalten wurden. Im Vergleich zur bereits er-

währten Reussuntersuchung fällt auf, dass diese Gehaltszahlen nur 1/4 bis 1/3 des Permanganatverbrauches des Reusswassers ausmachen.

Der Chloridgehalt der Sihl nimmt vom Sihlsee bis zur Mündung in die Limmat nicht in der erwarteten Regelmässigkeit zu; Alp und Biber führen mehr und vor allem schubmässig Chloride der Sihl zu. In Geissboden scheint die Durchmischung des Wassers jedoch noch nicht vollständig zu sein (siehe Figur 6). An dieser Probenahmestelle wurden mit 5,2 mg Cl/l gleichzeitig auch der Spitzenwert und mit 3,2 mg Cl/l der höchste Mittelwert in der ganzen Sihl gemessen. Erfreulich ist der niedrige Chloridgehalt des Sihlseewassers, der noch unter demjenigen des Vierwald-

stättersees liegt, und der allgemein als Chlorid-arm bezeichnet wird.

Angenommen, das gesamte Chlorid würde von Kochsalz stammen, würden wir nachstehendes Tagestotal erhalten:

	Tonnen Kochsalz pro Tag
Sihlseeabfluss	0.15
Alp oberhalb Einsiedeln	0.06
Alp unterhalb Einsiedeln	0.17
Biber	0.06
Sihl bei Hütten	0.62
Sihl bei Sihlbrugg	0.62
Sihl bei Adliswil	1.11
Sihl in Zürich	1.92

KALIUMPERMANGANATVERBRAUCH UND CHLORIDKONZENTRATION

Tabelle 4

Stelle	KMnO <sub>4</sub> mg/l			KMnO <sub>4</sub>		Chloride mg/l			Chloride	
	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel kg/h	Tonne/Tag	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel kg/h	kg/Tag
1	9.8	10.5	10.2	56.5	1.36	0.6	0.8	0.7	3.9	93.1
2	4.5	5.9	5.0	9.5	0.23	0.6	0.8	0.8	1.5	36.0
3	5.6	6.9	6.2	11.8	0.28	1.0	1.0	1.0	1.9	45.6
4	6.8	13.2	10.0	19.1	0.46	1.4	3.8	2.3	4.4	105.6
5	10.4	11.8	11.0	9.9	0.24	1.6	2.0	1.8	1.6	38.8
6	9.2	12.0	10.3	86.0	2.06	2.0	5.2	3.2	26.7	641.4
7	9.2	11.7	10.3	92.7	2.22	1.4	3.1	1.8	16.2	388.8
8	8.4	11.2	9.0	97.2	2.33	1.3	1.7	1.5	16.2	388.8
9	7.1	8.8	7.9	91.0	2.18	1.9	3.1	2.2	25.3	608.3
10	9.5	12.0	10.1	127.3	3.18	2.1	3.0	2.3	29.0	695.5
11	9.8	11.5	10.6	171.7	4.29	2.6	3.5	3.1	50.2	1205.3

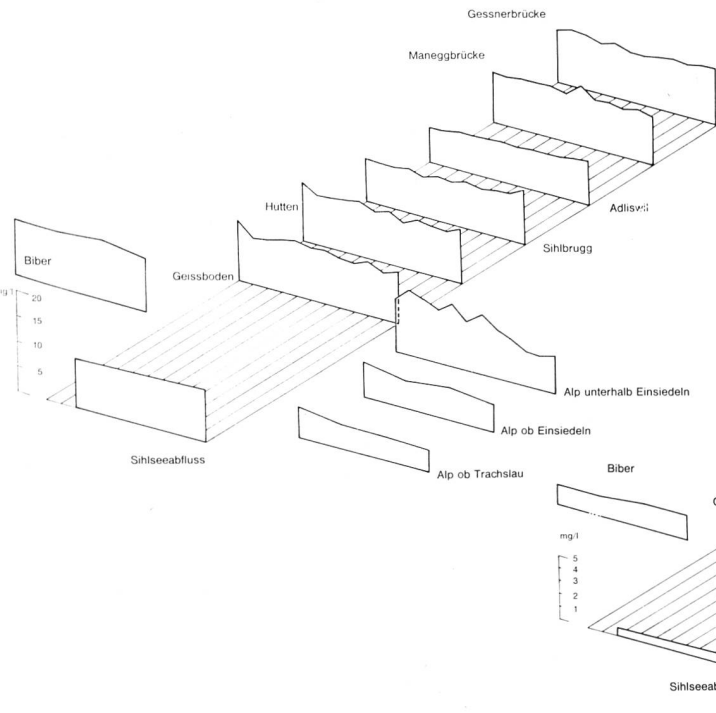
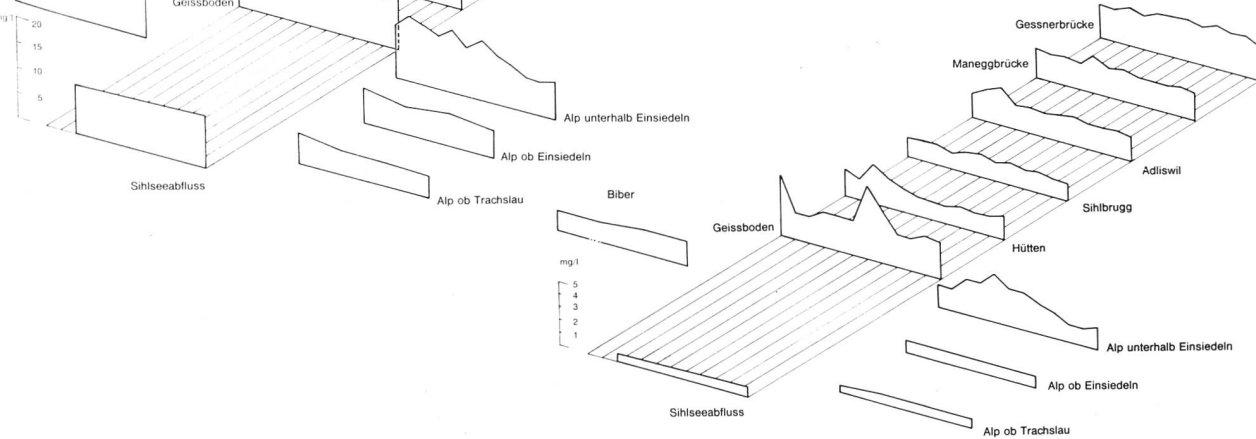


Fig. 5 Kaliumpermanganatverbrauch in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.

Fig. 6 Chloridgehalt von Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.



AMMONIUM-STICKSTOFF UND ORGANISCHE STICKSTOFFVERBINDUNGEN

Tabelle 5

Stelle	Ammonium-N mg/l			Ammonium-N		Kjeldahl-N mg/l			Kjeldahl-N		Gesamtstickstoff		
	Minimum	Maximum	Mittel	kg/h	kg/Tag	Minimum	Maximum	Mittel	kg/h	kg/Tag	mg/l	kg/h	kg/Tag
1	0.10	0.10	0.10	0.55	13.30	0.03	0.07	0.05	0.3	6.7	0.170	0.94	22.62
2	0.02	0.09	0.04	0.08	1.92	0.24	1.59	0.64	1.2	28.8	0.901	1.72	41.26
3	0.03	0.07	0.04	0.08	1.92	0.26	0.70	0.47	0.9	21.6	0.842	1.61	38.56
4	0.33	1.23	0.83	1.58	37.92	0.53	1.85	0.92	1.8	43.2	1.620	3.09	74.18
5	0.03	0.12	0.08	0.07	1.73	0.19	0.45	0.31	0.3	6.7	2.646	2.38	57.15
6	0.11	0.15	0.13	1.09	26.06	0.43	1.26	0.72	6.0	144.3	1.236	10.32	247.76
7	0.12	0.18	0.15	1.35	32.40	0.11	0.56	0.34	3.1	73.4	0.884	7.96	190.94
8	0.04	0.06	0.04	0.43	10.37	0.28	0.43	0.33	3.6	86.6	0.935	10.10	242.38
9	0.03	0.04	0.04	0.46	11.52	0.38	0.71	0.47	5.4	128.8	1.075	12.38	297.12
10	0.04	0.23	0.08	1.01	25.92	0.26	0.45	0.38	4.8	114.9	1.231	15.51	372.25
11	0.13	0.26	0.20	3.24	77.76	0.33	0.42	0.36	5.8	139.9	1.162	18.82	451.78

#### 4. STICKSTOFFKOMPONENTEN

Der Gehalt an Stickstoffverbindungen ist im Ausfluss aus dem Sihlsee etwa doppelt so hoch wie derjenige des Zugerseewassers im Lorzenabfluss, jedoch viermal kleiner, als das bei Luzern aus dem Vierwaldstättersee abfließende

Wasser. Die Alp enthält unterhalb Einsiedeln rund zwanzig mal mehr freies Ammonium als oberhalb des Dorfes und gut die zehnfache Konzentration derjenigen der Biber. Bis nach Hütten macht sich dieses in der Sihl deutlich bemerkbar und erst auf der nachfolgenden Flusstrecke tritt eine oxydative Aufarbeitung ein (Figur 7).

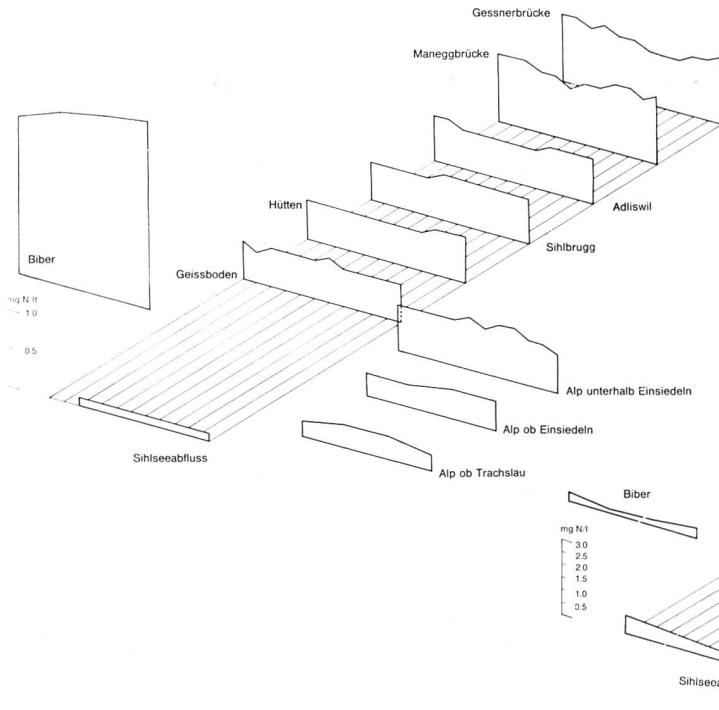
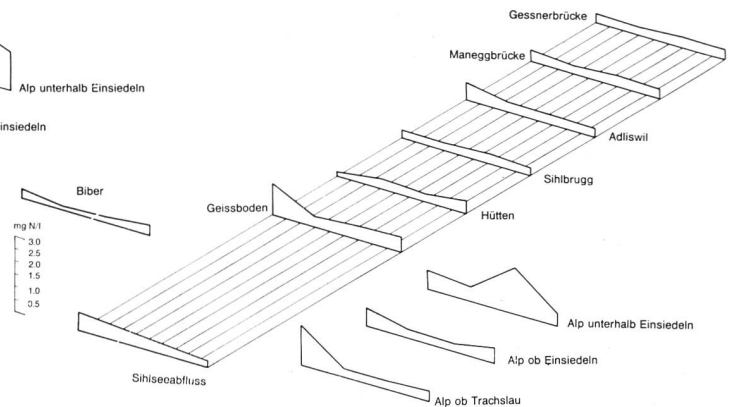


Fig. 7 Nitrat-N in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.

Fig. 8 Kjeldal-Stickstoff in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.



#### ANORGANISCHE STICKSTOFFVERBINDUNGEN

Tabelle 6

Stelle	Nitrit-N mg/l			Nitrite kg/h	kg/Tag	Nitrat-N mg/l			Nitrate	
	Minimum	Maximum	Mittel			Minimum	Maximum	Mittel	kg/h	kg/Tag
1	0.015	0.025	0.020	0.111	2.66	0.1	0.1	0.1	0.55	13.3
2	0.005	0.010	0.009	0.017	0.41	0.2	0.3	0.3	0.6	14.4
3	0.005	0.015	0.010	0.019	0.46	0.3	0.4	0.4	0.8	19.2
4	0.040	0.110	0.072	0.137	3.29	0.5	0.7	0.6	1.1	26.4
5	0.010	0.020	0.014	0.013	0.30	2.1	2.5	2.3	2.1	49.7
6	0.010	0.020	0.018	0.150	3.61	0.4	0.6	0.5	4.2	100.2
7	0.015	0.020	0.020	0.180	4.32	0.5	0.6	0.5	4.5	108.0
8	0.005	0.005	0.005	0.054	1.30	0.5	0.6	0.6	6.5	155.5
9	0.005	0.005	0.005	0.058	1.38	0.5	0.6	0.6	6.9	172.8
10	0.005	0.010	0.006	0.076	1.81	0.7	0.9	0.8	10.1	241.9
11	0.002	0.003	0.002	0.320	7.78	0.7	0.9	0.8	13.0	311.0

#### 5. PHOSPHATE

Das aus dem Sihlsee abfließende Wasser zeigt ein Verhältnis des anorganischen zu den Gesamt-Phosphaten von

1:20; dieses Verhältnis verschlechtert sich schlagartig in Geissboden unter dem Einfluss der Alp, bzw. der Abwässer aus Einsiedeln, auf 1:2, um erst in der letzten Flusstrecke nach Adliswil auf 1:3 anzusteigen. Die Alp oberhalb Einsie-

#### PHOSPHATVERBINDUNGEN

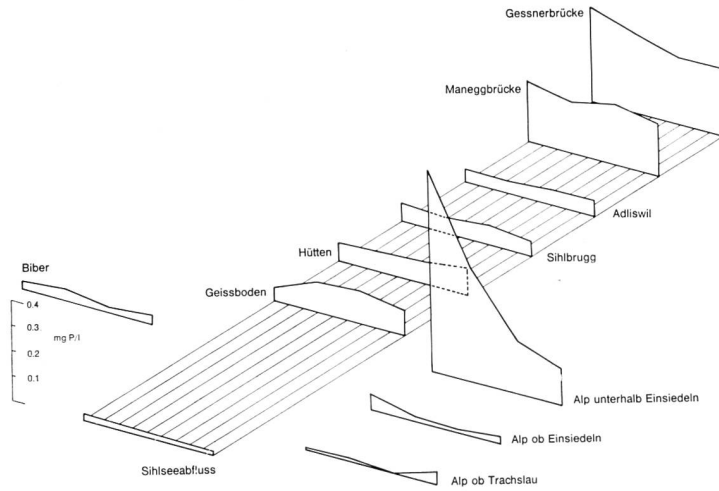
Tabelle 7

Stelle	Anorganischer P mg/l			P kg/h	kg/Tag	Gesamtphosphor-P mg/l			Gesamt-P	
	Minimum	Maximum	Mittel			Minimum	Maximum	Mittel	kg/h	kg/Tag
1	0	0	0	0	0	0.010	0.023	0.017	0.09	2.26
2	0	0	0	0	0	0	0.058	0.019	0.04	0.96
3	0	0	0	0	0	0.008	0.063	0.029	0.06	1.44
4	0.092	0.450	0.261	0.51	12.0	0.150	0.800	0.404	0.77	18.48
5	0	0.004	0.001	0.001	0.02	0.020	0.043	0.032	0.03	0.69
6	0.035	0.096	0.067	0.56	13.4	0.055	0.134	0.103	0.86	20.65
7	0.022	0.082	0.061	0.55	13.2	0.069	0.117	0.091	0.82	19.67
8	0.029	0.052	0.042	0.45	10.9	0.062	0.078	0.068	0.73	17.63
9	0.024	0.036	0.029	0.33	8.0	0.046	0.059	0.053	0.61	14.65
10	0.018	0.251	0.043	0.54	13.0	0.209	0.246	0.228	2.87	68.95
11	0.116	0.212	0.161	2.61	62.6	0.241	0.383	0.306	4.96	118.97

deln weist beim anorganischen Phosphor Nullwerte auf, um jedoch unterhalb Einsiedeln Konzentrationen beider P-Komponenten aufzuzeigen, die selbst diejenigen in der Stadt Zürich (Gessnerbrücke) um das Doppelte übersteigen. Von Geissboden bis Adliswil findet eine Abnahme der Phos-

phate um die Hälfte statt, eine Erscheinung, die auf eine Speicherung im algenreichen Steinbett der Sihl schliessen lässt. Auch die Tagessumme ist auf dieser Strecke rückläufig, um sich allerdings oberhalb Adliswil zu vervünf- und in Zürich zu verzehnfachen.

Fig. 9  
Gesamt-Phosphat in Sihl, Alp und Biber  
am 5./6. Oktober 1965.



## 6. HÄRTE

Die Differenz zwischen Gesamt- und Karbonathärte ist nur klein und übersteigt erst im Unterlauf der Sihl 1 fr.H°. Das Wasser des Sihlsees ist mit 12 fr.H° bedeutend härter als dasjenige des Vierwaldstättersees und entspricht ungefähr demjenigen des Zugersees. Dabei ist die im Sommer und Herbst infolge der biogenen Entkalkung eingetretene Erniedrigung bereits berücksichtigt.

Das Wasser der Alp wird auf der Strecke von oberhalb Trachslau bis unterhalb Einsiedeln um 4 fr.H° härter, was sicherlich auf eine Lösung von Kalk aus den Abschwemmungen der Kieswerke zurückzuführen ist. Da auch die Biber härteres Wasser als die Sihl führt, steigt die Härte bei Geissboden um 3 fr.H° an und um den gleichen Wert nochmals auf der Strecke bis nach Zürich.

HÄRTE DES WASSERS

Tabelle 8

Stelle	Karbonathärte fr.H°			Gesamthärte fr.H°		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
1	12.0	12.2	12.1	12.6	12.8	12.7
2	16.0	16.6	16.3	16.8	17.2	17.0
3	20.0	22.6	21.3	21.0	23.4	22.4
4	19.8	20.6	20.2	20.2	21.0	20.6
5	18.0	19.8	18.7	18.0	19.8	18.7
6	14.4	15.6	15.2	15.8	16.8	16.2
7	15.1	15.7	15.5	16.3	17.0	16.6
8	15.5	17.2	16.5	16.1	18.1	17.3
9	14.2	17.8	16.4	15.3	19.0	17.4
10	15.0	19.0	17.2	16.4	20.4	18.8
11	15.8	19.6	17.9	17.0	20.8	19.1

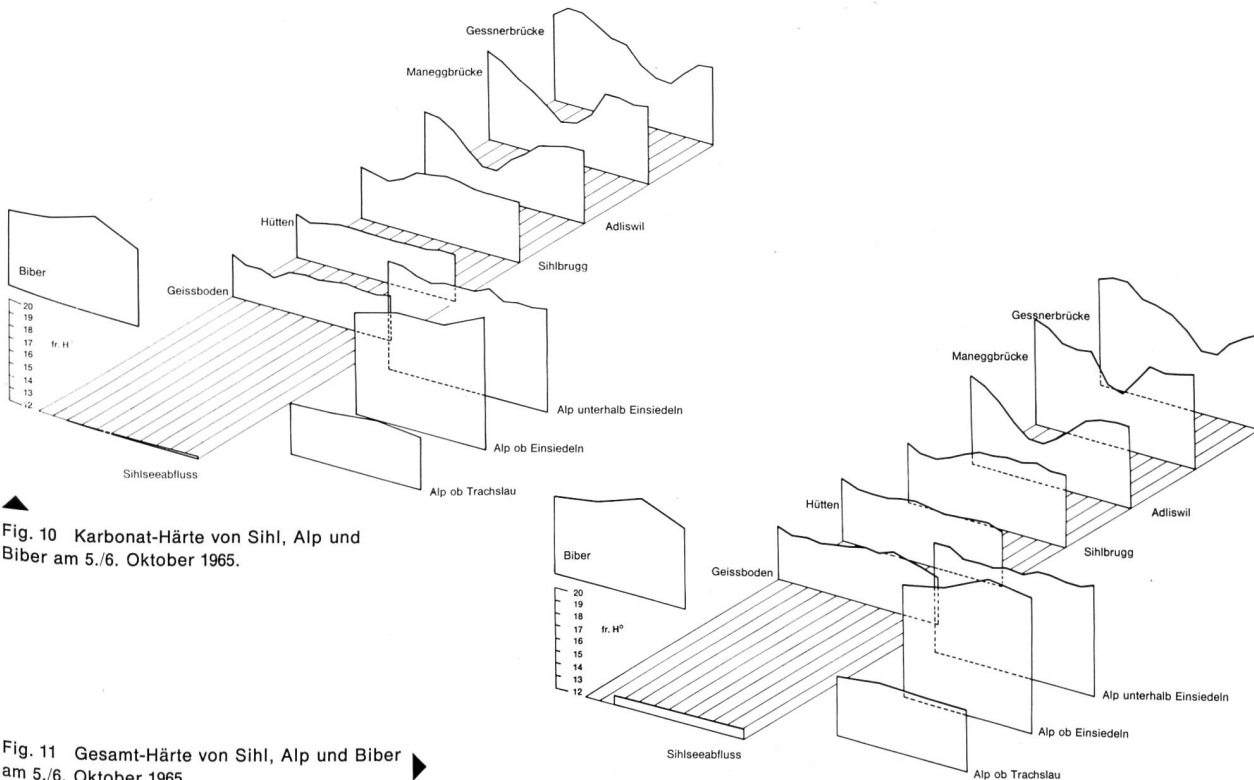


Fig. 10 Karbonat-Härte von Sihl, Alp und Biber  
am 5./6. Oktober 1965.

Fig. 11 Gesamt-Härte von Sihl, Alp und Biber  
am 5./6. Oktober 1965.

## 7. EISEN

Sämtliche am 5. und 6. Oktober 1965 erhobenen Wasserproben des Sihlseeabflusses, der Sihl und ihrer Zuflüsse Alp und Biber enthielten kleine Mengen an gelöstem Eisen. Der höchste Durchschnittswert und zugleich das Konzentrationsmaximum wurde bei Hütten festgestellt.

Auf die Prüfung anderer Metallkomponenten konnte verzichtet werden, da an der Sihl nur vereinzelte metallverarbeitende Betriebe liegen.

EISEN mg/l			Tabelle 9
Stelle	Minimum	Maximum	Mittel
1	0.037	0.039	0.038
2	0.007	0.020	0.013
3	0.014	0.028	0.022
4	0.038	0.059	0.052
5	0.059	0.087	0.071
6	0.055	0.075	0.069
7	0.075	0.100	0.093
8	0.027	0.040	0.036
9	0.030	0.035	0.033
10	0.013	0.029	0.019
11	0.017	0.024	0.019

## 8. ANIONAKTIVE DETERGENTIEN

In den letzten Jahren konnten in der Alp unterhalb Einsiedeln und in der Sihl an diversen Stellen öfters kleine Mengen an Schaum festgestellt werden. Aus diesem Grunde wurden sechsstündige Mischproben auf ihren Gehalt an anionaktiven Detergentien geprüft. Wie zu erwarten war, ergaben die Wasserproben aus dem Sihlseeabfluss, aus der Alp oberhalb Einsiedeln und aus der Biber Nullwerte. Unterhalb Einsiedeln und in der Sihl bei Geissboden fanden wir mit je 0,3 mg waschaktiver Substanz pro Liter Wasser Spitzenwerte; der Gehalt des Wassers an Syndets lag somit unter den erwarteten Werten. Gemäss Bahr und Zimmermann [21] sind dies Konzentrationen, die man als Hygieniker nicht beanstanden kann, weil sie für die Gesundheit des Menschen völlig ungefährlich sind und weil auch das unappetitliche Schäumen erst bei Konzentrationen über 0,3 mg WAS/l beginnt. Da seit Anfang 1965 ein Gentlemen-Agreement zwischen den grössten Waschmittelproduzenten besteht, nur noch solche Detergentien in ihren Produkten zu verwenden, die mindestens zu 80 % biologisch abbaubar sind, dürfte erklären, warum selbst bei der Gessnerbrücke die Konzentration von 0,1 mg/l WAS nie überschritten wurde.

DETERGENTIEN mg/l WAS			Tabelle 10
Stelle	Minimum	Maximum	Mittel
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0.1	0.3	0.2
5	0	0	0
6	0.1	0.3	0.2
7	0	0.1	Spur
8	0.1	0.1	0.1
9	0.1	0.1	0.1
10	0	0	0
11	0.1	0.1	0.1

## 9. TRÜBUNG DES WASSERS

Da seit Jahren von zürcherischer Seite Klagen über die chronische Trübung des Wassers der Sihl durch Kieswäscherien im Kanton Schwyz und durch den Schlammablass wegen der Oeffnung des Grundablasses der Stauhaltung



Bild 5 Sigris-Trübungsphotometer mit automatischer Registrierung und Förderpumpe.

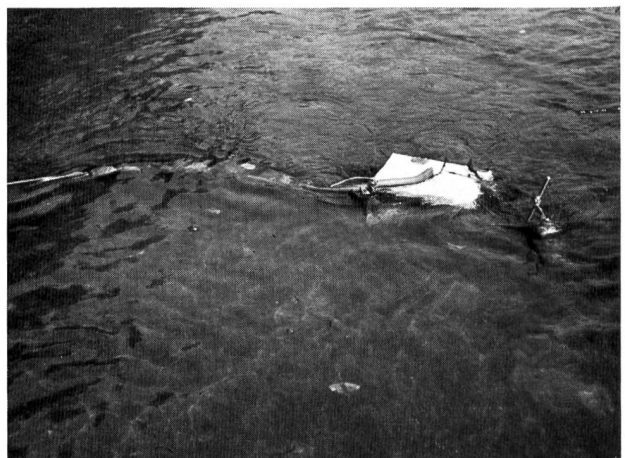


Bild 6 Schwimmer in Flussmitte im Betriebseinsatz



Bild 7 Schwimmer von unten; sichtbar ist der Messing-Filterkorb.

Sihl-Höfe vorliegen, wurde beschlossen, sämtliche Wasserproben einer Trübungsmessung im Laboratorium zu unterziehen. Gleichzeitig profitierten wir vom grosszügigen Angebot der Firma Sigris-Photometer AG, uns an vier Probenahmestellen kontinuierlich schreibende Trübungsmessgeräte zu installieren. Da im Laboratorium die Transmission in

Prozenten, bei den Sigris-Messgeräten jedoch die Trübung gegen Standards [18] von 50, bzw. 100 mg/l gemessen wurde, lassen sich verständlicherweise die Resultate nicht ohne weiteres miteinander vergleichen. Immerhin wird auch hier einmal mehr die Verschmutzung der Alp durch die Abwässer von Einsiedeln hervorgehoben. Die Trübungsspitze, die sich in der Sihl bei Hütten abzeichnet, ist mit Sicherheit auf den Schub an feinem Ton und Sand aus den bis am Vortag der Untersuchung herrschenden Erdbewegungen (Strassenbau) bei Biberbrugg zurückzuführen.

TRÜBUNGSMESSUNGEN

Tabelle 11

Stelle	% Transmission bei 420 nm			mg/l gegen Standard		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
1	89.3	91.6	90.4			
2	85.3	95.7	92.2			
3	84.9	94.0	90.1			
4	79.4	93.5	89.3	10.00 h 7.5	15.00 h 15	10
5	85.5	90.4	88.4			
6	86.7	94.0	90.5			
7	83.4	92.7	88.5	01.00 h 23 08.00 h	08.30 h 45 17.50 h	29
8	84.1	91.4	88.4	9	20	12
9	82.4	93.3	87.6			
10	86.1	92.3	90.1	08.00 h	10.15 h	
11	89.3	93.3	91.8	7.5	32.5	11

## H. Biologische Untersuchungen

Die amtlichen Laboratorien der Schweiz, bzw. deren limnologische Abteilungen, leiden für die Bewältigung solcher Aufgaben, wie sie die vollständige Analyse eines Flusses darstellt, unter chronischem Personalmangel. So ist es denn auch nicht verwunderlich, dass wir entgegen besserem Wissen eine Reihe von speziellen Analysen, die das Bild der Gesamtuntersuchung erst abrunden und vervollständigen würden, aus Mangel an qualifizierten Mitarbeitern nicht ausführen konnten.

Die vorstehend aufgeführten chemischen und physikalisch-chemischen Analysen geben uns wohl Anhaltspunkte über den momentanen Zustand der Sihl und seiner wichtigsten Zuflüsse, wären aber wie bei jedem Biotop ohne biologische Untersuchungen ungenügend. Im Rahmen unserer Möglichkeiten wurden somit die Wässer einer bakteriologischen und einer biologischen Analyse unterzogen. Wenn die erhaltenen Werte uns auch einen tieferen Einblick in die Zusammensetzung und Verschmutzung des Wassers vermitteln, so muss doch festgehalten werden, dass sie nur relativ und unvollständig sind. Zur genauen Beurteilung hätte u. a. auch die Mikrowelt der benthischen Biozönose berücksichtigt werden müssen, und die bakteriologischen Wasseranalysen gemäss Popp [22] und dem Beschluss der Hygienisch-Bakteriologischen Kommission der Kantons- und Stadtchemiker der Schweiz [23] auf Schwefelwasserstoffbildner und Enterokokken ausgedehnt werden müssen. Da aber, wie bereits einleitend darauf hingewiesen, diese Aufgaben das Verarbeitungsvermögen unserer Laboratorien übersteigen, waren wir gezwungen, uns auf die nachstehend erwähnten Arbeiten zu beschränken.

### 1. GESAMTKEIMZAHL

In einem Fließgewässer ist die Zahl der Bakterien von einer Reihe von Faktoren und Zufälligkeiten abhängig, so dass eine hygienische Beurteilung mehr als eine Stichprobe bedingt. Aus diesem Grunde wurde nicht wie bei der Untersuchung der Reuss aus sechsstündigen Mischproben, sondern aus jeder Wasserprobe eine bakteriologische Analyse angesetzt. Gleichzeitig wurden den neueren Erkenntnissen betreffend das Wachstum psychrotropher Keime Rechnung getragen und die Gesamtkeimzahl jeweils bei 20 °C und separat bei 30 °C bebrütet, so wie es der Verbandsbeschluss der Kantons- und Stadtchemiker der Schweiz [19] für das neue Schweizerische Lebensmittelbuch vorsieht. Dabei wird die höhere Wachstumsrate bei der Temperatur von 20 °C deutlich aufgezeigt. Das «reinste» Wasser in bakteriologischer Hinsicht ist dasjenige, das aus dem Sihlsee abfließt. Während die Alp oberhalb Trachslau noch eine relativ niedrige Keimzahl aufweist, verdreifacht sich diese bereits vor Einsiedeln, um sich nach Einsiedeln nochmals zu verzehnfachen. Inbezug auf die Gesamtkeimzahl ist das Wasser der Biber nur um wenig schlechter als dasjenige der Alp. Die Sihl bei Geissboden und Hütten steht deutlich unter dem Einfluss der bakteriologischen Verunreinigung aus Einsiedeln; eine Verbesserung tritt erst bei Sihlbrugg ein. Unterhalb Adliswil steigt die Gesamtkeimzahl wiederum deutlich an und erreicht ihr Maximum an der letzten Probenahmestelle in Zürich. Im Vergleich zur Reussuntersuchung muss jedoch unbedingt darauf hingewiesen werden, dass die in der Sihl gefundenen Keimzahlen durchwegs um eine Zehnerpotenz niedriger liegen.

### 2. COLIFORME KEIME

Gestützt auf die Arbeiten von Schubert [24] und die nach Topley und Wilson's festgelegten «Principles of Bacteriology and Immunity» [25] werden die mittels der Membranfiltermethode auf Endo-Agar bei 37 °C gewachsenen metallisch glänzenden Kolonien als Coliforme bezeichnet. Der genaue Anteil an Escherichia und Irregularis I, die als einzige eindeutig fäkalen Ursprungs sind, ist dabei unregelmässig. Aus diesem Grund soll in Zukunft zur quantitativen Bestimmung der Fäkalcoli nur noch mit Tergitol-7-Agar, dem TTC (Triphenyltetrazoliumchlorid) zugesetzt wurde, Verwendung

GESAMTKEIMZAHL UND COLIFORME KEIME

Tabelle 12

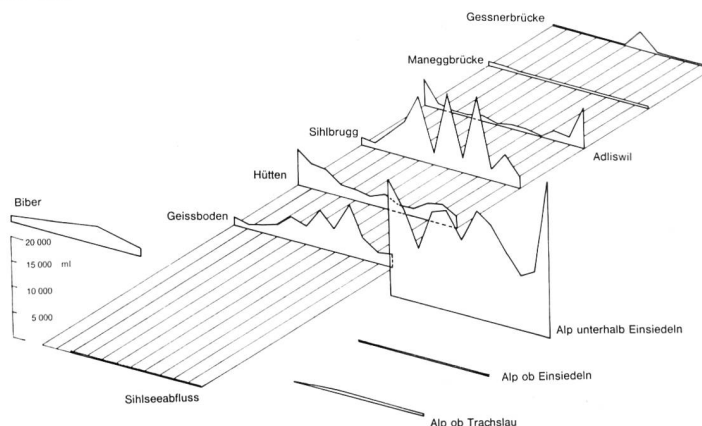
Stelle	Gesamtkeimzahl pro ml bei 20 °C			Gesamtkeimzahl pro ml bei 30 °C			Coliforme Keime pro 100 ml bei 37 °C		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
1	270	390	330	350	395	373	10	90	50
2	510	1 190	933	650	1 000	805	50	530	348
3	790	5 200	2 772	970	1 720	1 473	50	200	108
4	9 600	27 600	21 925	7 500	21 600	15 400	10 800	31 200	17 950
5	3 020	5 400	3 755	1 000	3 000	2 263	590	3 600	2 022
6	6 600	27 000	13 383	4 200	12 000	7 017	700	10 300	3 867
7	7 000	25 000	14 667	3 000	13 000	6 683	1 400	7 100	3 108
8	3 900	9 000	6 383	4 300	13 600	7 667	1 200	16 000	6 033
9	5 800	12 100	9 442	7 700	13 000	10 225	100	8 000	1 733
10	6 000	22 000	12 083	4 800	27 600	12 217	50	700	258
11	12 000	53 000	28 750	6 300	30 600	19 000	100	3 600	733

finden [26]. Trotzdem kann schon allein aus Vergleichsgründen mit früheren Flussuntersuchungen die Zahl der coliformen Keime einen guten Ueberblick der fäkalen Verunreinigung des Wassers geben.

Der Abfluss aus dem Sihlsee ist in dieser Beziehung als «arm» zu bezeichnen. Dieses Wasser enthält weniger coliforme Keime als dasjenige, das aus dem Vierwaldstätter- oder Zugersee abfließt. Auch die Alp oberhalb Einsiedeln weist nur einen geringen Gehalt auf, der jedoch nach dem Dorf sprunghaft um das 200-fache ansteigt. Die Biber ist interessanterweise auch etwa 20-fach stärker belastet als die Alp vor Einsiedeln. In der Sihl tritt bei Geissboden und

Hütten jedoch rasch eine Verdünnung ein und erst bei Sihlbrugg findet wiederum ein Anstieg der Gehaltszahlen statt. Die rapide, starke Abnahme unterhalb Adliswil und die geringe Anzahl an coliformen Keimen in Zürich, also nach dem Zufluss des Abwassers aus der Kläranlage Adliswil, sind möglicherweise auf Selbstreinigungsprozesse zurückzuführen. Wie bereits bei der Untersuchung der Reuss festgestellt, sind auch im ganzen Lauf der Sihl grosse Schwankungen im Gehalt an coliformen Keimen aufgetreten und Minima:Maxima-Verhältnisse von 1:10 bis 1:30 nichts aussergewöhnliches.

Fig. 12 Coliforme Keime in Sihl, Alp und Biber am 5./6. Oktober 1965.



### 3. MIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNG

Es wurde bereits mehrmals darauf hingewiesen, dass die Sihl oft, jedoch aus verschiedenen Gründen, trübe ist, also eine von Auge sichtbare Verschmutzung aufweist. Wie nun Tabelle 13 aufzeigt, war am Tage der interkantonalen Sihluntersuchung die Sandführung besonders in Geissboden deutlich, nahm dann bei Hütten bereits ab, um unterhalb Adliswil unbedeutend zu werden. Da an diesem Tage auf Erdverschiebungen für den Strassenbau bei Biberbrugg verzichtet wurde, kann man sich leicht ausrechnen, wie stark die Sandführung in der Sihl beim Oeffnen des Grundauslaufes aus einem Stauwehr oder einer Kieswäscherei sein muss.

Detritusklumpen finden wir sowohl in der Tages- wie

Nachtmischprobe aller Gewässersysteme, wobei eine deutliche Spitze in Hütten nachweisbar wird. Nachher findet eine Sedimentation oder Aufarbeitung statt, so dass in Zürich kaum viel mehr gefunden wurde, als aus dem Sihlsee abfließt. Sklerenchymzellen wurden vor allem nachts in der Biber festgestellt; auch hier findet eine starke Abnahme in der Sihl statt, so dass an den letzten zwei Probenahmestellen keine Sklerenchymzellen mehr gefunden wurden.

Einen Indikator für die stärkere Verschmutzung des Wassers im unteren Sihllauf bilden die Ciliaten und die Flagellaten. Es ist auffallend, wie die gefundenen Werte flussabwärts stark zunehmen. Allgemein muss jedoch auf den Variations- und Typen-Reichtum an Algen im Sihlwasser hingewiesen werden.

MIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNG VON 1 ml WASSER

Tabelle 13

Probenahmestelle Probe (T=Tag; N=Nacht)	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
Sandkörnchen (w=wenig, m=mittel, v=viel)	w-m-w-m w-m-w-m w-m-w-m w-m-w-m w-m-w-m mw-m w-m-w-m w-m-w-m w-m-w-m w w w w																					
Detritusklumpen	15	7	4	7	5	6	20	27	15	45	78	52	148	150	64	97	9	18	22	24	17	22
Pflanzl. Gewebereste, Pflanzenfasern	5	2	6	7	3	12	9	1	7		18	9	6	9	2	1	1		1	4	4	2
Sklerenchymzellen	6	3		1	1		18	196	4	16	49	22	12	4	10	2	3	2				
Bakterienschleimfäden (zoogloenartig)							2		22	8	35	22	18	20	9	9	4	9	223	15	7	9
Fadenbakterien (verzweigt)						2							17	5	1						3	5
Pilzhyphen	1	1	1		4	2			1	4		3	5	1	4	3		1			2	2
Farblose Flagellaten, div. kleine Arten						5					25	50	240	200	240	180	210	170	480	290	460	580
Holotriche Ciliaten, div. kleine Arten					5	8	7	14			8	9	20	15	8	12	5	11	85	17	42	135
div. gr. Arten, Glaucoma sp., Colpidium sp. u.a., Lionotus sp.											1	3	25	32	15	9		2				
Heterotriche Ciliaten, Stylonychia sp. u.a.			4		4	5	4	5	8	4	5	1		2		2	2					
Oscillatoria rubescens	5	3									4	1	6	3	55	16	36	31	40	21	31	29
Mougeotia sp.	1										2	1			1	2	3	4	4	2	4	2
Tabellaria fenestrata	61	103									16	22	5	9	3	1	2		1			1
Cocconeis placentula	1						4	5							8	6	1	5	1	3	1	1
Navicula sp.	6	2	3		1		1	1	2	2	1	2	2	1	11	5	2	4	1	7	6	4
Diatoma vulgare			6	2	7				7	1				1						1	1	
Stephanodiscus astrea	5	3																				
Asterionella formosa	7	7							1						1		1		1	1	1	1
Synedra sp.		1					2		1	3					2	1						
Gomphonema sp.							1												1	2	1	2
Fragilaria crotonensis		1										1										
Fragilaria capucina									2													

## J. Fischereiwirtschaftliche Entwicklung

(von E. A m m a n n, Fischerei- und Jagdverwalter des Kantons Zürich)

Die Sihl ist von Natur aus ein ausgesprochenes Forellengewässer. Dank ihres beträchtlichen Gefälles kommt ihr der Charakter des voralpinen Wildwassers zu. Bekanntlich hängt der fischereiwirtschaftliche Wert eines Fließwassers von einer grossen Zahl von Faktoren ab, die zusammen den Lebensraum, die dominierende Fischart und ihre Populationsdichte bestimmen. So sind neben der Qualität des Wassers von Bedeutung: Niederschlags- und Abfluss-Regime mit den mehr oder weniger lang andauernden minimalen Trockenwetterabflüssen, Gefälle und Verfassung der Sohle (Fels oder Kies- bzw. Geröllbett), Gestaltung der Ufer und der diese begleitenden Ufervegetation, Anzahl und fischereiliche Güte der Seitenbäche als Zuträger von Nährtieren sowie als Fortpflanzungs- und Aufzuchtstätten der Forellen, mehr oder weniger gehäuftes Vorkommen natürlicher oder künstlicher Abstürze, Staumauern, die die jahreszeitlich bedingte Fischwanderung unterbrechen usw. Zusammengefasst bot die Sihl in ihrer ursprünglichen vom Menschen unberührten Verfassung für das Leben der Bachforellen äusserst günstige und vorteilhafte Voraussetzungen.

Besonders typisch für die Sihl waren die periodisch eintretenden Hochwasser und damit verbunden die beträchtliche Geschiebeführung und Wassertrübungen, bedingt durch die hohen Regenmengen im schwyzerischen Einzugsgebiet, die die lehmigen Moränenhänge ausspülen und die ausgedehnten Torfmoore ausschwemmen. Charakteristisch für das Flussbett ist das Vorherrschen grosser Steinblöcke und groben Gerölls in Verbindung mit tiefen, versteckreichen Gumpen bis hinunter nach Sihlbrugg. Talwärts bilden sich bei geringerem Gefälle und breiterer Flussole allmählich Kies- und Sandbänke. Das vornehmlich tief eingeschnittene und stark bewaldete Sihltal garantiert verhältnismässig kühle Wassertemperaturen. Unter solchen Voraussetzungen entwickelt und regt sich in den von der Wasserdurchspülung kaum berührten Räumen zwischen und unter dem Geröll eine überaus mannigfaltige Kleinlebewelt, deren Artenzusammensetzung und Organismendichte den Aufwuchs und die Bevölkerungsdichte der Forellen bestimmen.

Allerdings wurden das natürliche Wasserregime und die Wasserqualität des einst wilden Flusses schon früh durch Eingriffe der Technik und durch die Bedürfnisse der Siedlungen verändert. So reiht sich von Sihlwald an talwärts bis nach Zürich Wehr an Wehr und Kanal an Kanal. Von besonderem Nachteil für die Fischerei ist dabei, dass die alten Wasserrechtskonzessionen dieser Kanalwerke weder das Quantum der Wasserentnahme beschränkten noch Mindestwasserabflüsse durch die beeinträchtigten Flussstrecken vorschrieben. So wird der Sihl, ohne Rücksichtnahme auf die Wasserlebewesen das gesamte Nieder- bis Mittelwasser entzogen und durch künstliche, meist betonierte und teilweise eingedolte Kanäle den Turbinen zugeleitet.

Zwangsläufig trocknen über viele Kilometer lange Strecken periodisch aus. Wo das Wasser darin über längere Zeit im Gumpen zu verbleiben vermag, dienen diese den Fischen als Rückzugsstätten, wo sie aber bei zunehmender Erwärmung und Algenentwicklung dem Erstickungstod verfallen. Begleiterscheinungen dieser Zustände sind: Unappetitliches Aussehen, Verbreitung übler Gerüche und Ungezieferplagen, was zu behördlichen Badeverboten Anlass gab.

Auch das Kraftwerk Waldhalde der EKZ entzieht der Sihl seit 1895 bei der Säge in Hütten dauernd  $3,1 \text{ m}^3$  pro Sekunde, um dieses dem Ausgleichweiher am Teufenbach zuzuleiten und über die Turbinen nach rund 4 km Flusslauf der Sihl wieder zurückzugeben. Der im Mittel über 195 Tage im Jahr trockengelegte Naturlauf ist Zeugnis der Rücksichtslosigkeit, mit der man sich früher, trotz gesetzlichen Schutzbestimmungen, über unersetzbare Naturgüter hinwegzusetzen erlaubte.

Besonders tiefschürfende Veränderungen ergab der Bau des Sihlseewerkes in den Jahren 1932–1937, seitdem der Sihlabfluss südlich des Etzels nach dem Zürcher-Obersee abgeleitet wird. Seither wird der Sihlabschnitt von der Staumauer bis zu Mündung der Alp im Geissboden nur noch mit Dotierwasser aus dem Stausee gespeisen, soweit der Sihlabfluss an der Kantonsgrenze Schwyz/Zürich nicht mindestens  $2,5 \text{ m}^3/\text{sec}$  Wasser erreicht.

Mit dem im Jahre 1960 vom Bezirk Höfe geschaffenen Kraftwerk Sihl-Höfe dürfte die Wasserkraftnutzung der Sihl ihren Abschluss gefunden haben. Diesem Werk wurde ein Spitzenbetrieb zugebilligt, derart, dass das tagsüber im Rückstauhaltebecken unterhalb Schindellegi (Staustricke ca. 575 m lang) aufgestaute Wasser in der Grössenordnung von  $4,0 \text{ m}^3/\text{sec}$  durch einen 2,2 km langen Stollen den Turbinen an der Kantonsgrenze Schwyz/Zürich und damit der Sihl zurückgegeben wird. Bei Dotierbetrieb vom Sihlseewerk her mit höchstens  $2,5 \text{ m}^3$  Wasser pro Sekunde sinkt die Werkwassermenge während den Nachtstunden täglich auf im Minimum  $1,5 \text{ m}^3/\text{sec}$  ab. Gleichzeitig wurde der EKZ zugebilligt, ihr Waldhalde-Werk soweit auszubauen, dass dieses durch Wehrerhöhung die vom Werk Höfe genutzten  $4,0 \text{ m}^3/\text{sec}$  voll in ihrem Werk aufzunehmen vermag. Als Bedingung musste das Werk die Verpflichtung eingehen, künftig der Sihl über das Wehr eine Mindest-Dotierwassermenge zuzuführen, die bei jeder Witterung ausreicht, das Leben der Forellen im 4,3 km langen beeinträchtigten Abschnitt zu garantieren.

Neben den nachteiligen Auswirkungen der Kraftnutzungsanlagen zeitigten die verschiedenen Kiesgewinnungs- und Aufbereitungsanlagen im schwyzerischen Sihlraum für die Fischerei besonders akute Gefahren. Die Klagen der Zürcher Fischer reichen auf das Jahr 1938 zurück. Die Tatsache, dass Inhaber solch blühender Gewerbebetriebe trotz

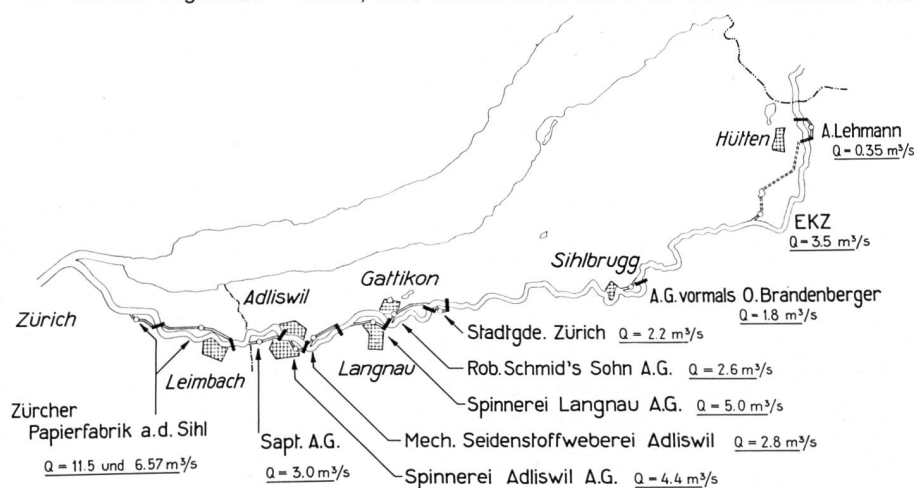


Bild 8  
Wasserkraftanlagen  
an der Sihl im Kanton  
Zürich.



Bild 9  
Blockmeer nach dem  
Kraftwerk Waldhalde

aller Einsprachen und trotz wiederholter Strafurteile sich nicht scheuten, der Sihl während Jahrzehnten periodisch die kostenfreie Wegschaffung der Schlammrückstände aus den Waschbetrieben zu überbürden, zählt zu den Rücksichtslosigkeiten unserer Zeit. Die äusserst feinen Tonpartikel vermögen sich wegen ihres geringen Gewichtes oft erst nach vielen Kilometern Flusslauf an Stellen fehlender oder geringer Wasserströmung zwischen und unter dem Geröll und in den Pflanzenpolstern seichter Uferstellen abzusetzen. Dabei werden die im Flussbett ruhenden Forelleneier während ihrer drei bis vier Monate andauernden Ausbrütung überdeckt und am Atmen behindert, was den Tod der Eier und der Brütlinge zur Folge hat. Neben den Verlusten am Nachwuchs gefährdet der Schlick aber auch die über dem Grund und unter dem Geröll sich entwickelnden Larven der Stein- und Eintagsfliegen sowie die Flohkrebse, was einer massgeblichen Schmälerung der Futterbasis für die Forellen gleichkommt. Futterverknappung führt aber zwangsläufig zu vermehrtem Raub am eigenen Jungfischnachwuchs und zur Abwanderung in den wirtlicheren Unterlauf.

Sorge bereiten den Fischereibehörden überdies die neuen noch in Entstehung begriffenen Kiesgewinnungsgrossbetriebe am zugerischen Sarbach unterhalb Neuheim und an der Kantonsgrenze Zug/Zürich südlich Sihlbrugg.

Ueber die noch wenig bekannten quantitativen und qualitativen Auswirkungen solcher Schlammausstösse auf Forellenbestände vermögen die Abklärungen der zürcherischen Fischereiverwaltung aus den letzten Jahren überzeugend Aufschluss zu geben. Anlass hiezu gab das Kraftwerk

Sihl-Höfe, das am 20. Mai 1964 den Grundablass der Stauhaltung zu Kontrollzwecken öffnete, obwohl nach den Konzessionsbestimmungen solche Massnahmen nur bei einem Wasserabfluss von mehr als 2,5 m<sup>3</sup>/sec vorgenommen werden dürfen. Gegen den Schluss der Absenkung floss Schlamm in solcher Konzentration ab, dass die Forellen im Restgumpen erstickten und talwärts abgeschwemmt wurden. Die Fischbestandeskontrolle in der 186 m langen Strecke bei der Sihlau oberhalb der Brücke bei Hütten vom 9. Juli von 04.30 bis 07.30 Uhr, d. h. zu einer Tageszeit, da das Kraftwerk ausser Betrieb war, ergab folgendes Ergebnis:

Der Anteil an Jungforellen im Alter von 3 Monaten betrug nur 0,5 % des vorgefundenen Gesamtbestandes, und dies trotz normal grosser Bruteinsätze; derjenige der 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-jährigen Forellen überschritt kaum die 15 %-Grenze. Bei einem einigermaßen normalen Altersaufbau hätten jedoch die 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-jährigen 50–60 %, die 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-jährigen 20–25 % des Gesamtbestandes erreichen müssen. Ueberdies ergab sich eine Bestandesdichte von nur 9,5 Forellen aller Altersklassen pro Are Wasserfläche. Darin kommt vor allem der Mangel an Jungfischen zur Geltung, müsste doch der Bestand bei den bestehenden Lebensbedingungen unter normalen Entwicklungsmöglichkeiten eine Dichte von 60 bis 100 Forellen erreichen.

Die vorgefundenen Tiere waren denn auch als Folge der immer wiederkehrenden Schlammablagerungen aus den Kieswaschbetrieben und der Stauhaltung mager; der Vergleich der Stückgewichte mit solchen aus dem Mittellauf der Sihl oberhalb Sihlwald zeigt dies deutlich:

Tabelle 14

	Forellen Rogner Stück	Längen cm	Mittel cm	Gewicht pro Stück gr.	Ei-Ertrag pro Rogner gr.
Aus der Bestandeskontrolle Sihlau/Hütten, Juli 1964	50	25,0–35,5	30,2	216	
Aus Laichforellenfang unterhalb Kraftwerk Waldhalde 22. Oktober 1964	20	23,0–29,0	25,0	175	30,5
Aus Laichforellenfang oberhalb Sihlwald 22. Oktober 1964	20	25,0–36,0	29,5	290	51,5

Auf Grund der fortgesetzten Meldungen der Fischereipächter aus dem zürcherischen Sihlgebiet ordnete das Baudepartement des Kantons Schwyz die Plombierung des Grundablasses in den Sedimentierbecken der Kieswaschbetriebe an.

Im Verlaufe des Juni 1964 kam es überdies im Kieswerk bei Neuheim zu einem Dambruch des Schlammteiches. Die Folge war die Verschlammung des Sarbaches und der Sihl. Weitere Schlammabgänge sind erwiesen. Bei Anlass der Forellenlaichfischfänge vom 18. bis 27. Oktober 1965

wurde abgeklärt, wie sich die Verschlammung des Flussbettes auf das Gewicht der Forellen-Rogner und auf die Eiproduktion auswirkt. Zu diesem Zwecke wurden von je 20 Rognern aus vier talwärts aufeinanderfolgenden Revieren die Körperlängen und -gewichte sowie das Gewicht der gestreiften Eier ermittelt, wobei alle Rogner aus dem Revier III aus dem verschlammten Sihlabschnitt stammten. Die Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle dargestellt:

Tabelle 15

Revier	II Mündung UW-Kanal	III Grenze Menzingen	362 Brücke Sihlbrugg	363 Steg Station
in der Reihenfolge vom Oberlauf talwärts	EW Wald- halde bis Grenze Menzingen -Neuheim	Neuheim bis Brücke Sihlbrugg -Dorf	-Dorf bis Steg Station Sihlbrugg	Sihlbrugg bis Wehr bei Sihlwald
Revierlänge	km 3,9	4,1	3,3	3,8
<b>UNTERSUCHTE ROGNER</b>				
Längen: Streuung	cm 21-32	24-31	25-31	22-35
Mittel	cm 25,0	28,0	28,8	27,2
Gewicht: Mittel	gr 157,5	215,0	247,5	220,5
pro 10 cm Länge	gr 63,0	76,8	85,9	81,1
<b>GESTREIFTE EIER</b>				
Mittelwerte				
Gewicht pro Rogner	gr 27,5	20,0	35,0	28,0
Eiergewicht in % zu Rognergewicht	% 17,5	9,3	14,2	12,7
Anzahl Eier bei 12 000 Stk. / 1 kg pro 1 kg Rogner	2095	1116	1697	1519

Die Rogner wiesen somit talwärts zunehmende Durchschnittslängen und Stückgewichte auf. Im Gegensatz dazu ergaben die kleinsten Forellen des nicht verschlammten Oberlaufes im Verhältnis zum Fischgewicht den höchsten Gewichtsanteil der gestreiften Eier, nämlich 17,5 % und mit 2 095 Eier die grösste Eizahl pro 1 kg Rogner. Das niedrigste Gewicht der gestreiften Eier im Verhältnis zum Fischgewicht wurde dagegen im direkt beeinträchtigten Revier mit nur 9,3 % ermittelt. Die 1 116 gewonnenen Eier pro 1 kg Rogner erreichten somit nur 53 % der Produktion im oberhalb liegenden ungeschädigten Revier.

In fischereilicher Hinsicht haben wir gegenwärtig in der Sihl folgende für sich getrennte Abschnitte auseinanderzuhalten:

1. Sihlobertläufe einschliesslich Sihlsee,
2. Sihl vom Sihlsee abwärts einschliesslich Stauhaltung des Kraftwerkes Sihl-Höfe bis Staumauer unterhalb Schindellegi (rund 8,5 km),
3. durch Wasserkraftnutzung beeinträchtigter Sihlabschnitt vom Stauwehr des Kraftwerkes Sihl-Höfe unterhalb Schindellegi bis Mündung Unterwasser des Kraftwerkes Waldhalde der EKZ bei Teufenbach unterhalb Schönenberg (rund 8,6 km),

## K. Nährstoffbilanzen

Die die Sihl und ihre Zuflüsse belastenden Abwässer sind sowohl anorganischer als auch organischer Natur. Zu ihrer Erfassung wurden die in den vorstehenden Kapiteln erläuterten Analysen ausgeführt. Auf Einzelheiten nochmals einzutreten erübrigt sich somit. Die nachstehend zusammengestellten Nährstoffbilanzen erstrecken sich auf den Sauerstoff-, den Stickstoff- und den Phosphorhaushalt, sowie die Chloridkonzentration. Letztere ist zwar nicht als eigentlicher Nährstoff zu werten, doch ist sie ein Verschmutzungsindikator erster Klasse, da sie keinen chemischen oder biologischen Veränderungen unterworfen ist.

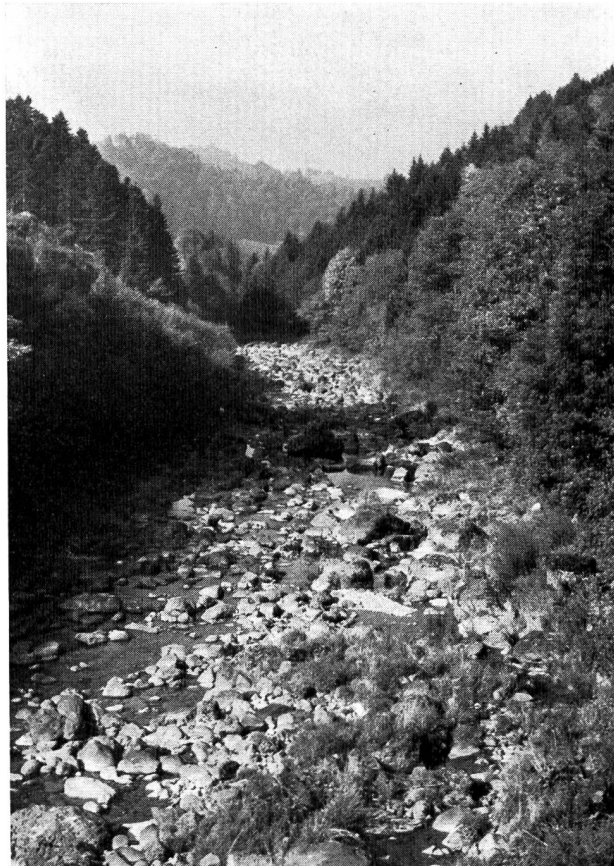


Bild 10 Sihl unterhalb Finsterseebrücke

4. unberührter Sihl-Naturlauf von der Mündung des Unterwassers des Kraftwerkes Waldhalde bis zum Wehr bei Sihlwald (15,1 km),
5. durch Wassernutzungsanlagen beeinträchtigter Sihlabschnitt vom Wehr bei Sihlwald bis Ueberfall über den SBB-Tunnel im Sihlhölzli (17,7 km),
6. Sihl vom Ueberfall über den SBB-Tunnel im Sihlhölzli bis zur Mündung in die Limmat (1,8 km).

Während im schwyzerischen Gebiet nach dem Patentsystem beliebig viele Fischer dem Fischfang obliegen, verpachten die Kantone Zürich und Zug ihre Sihlstrecken revierweise. Die Pachtzinse während der Pachtperiode 1962-1970 für den Naturlauf entsprechend Abschnitt 4 der vorstehenden Uebersicht erreichen pro Jahr Fr. 24 670.- oder Fr. 547.- pro ha Wasserfläche, diejenigen des beeinträchtigten Abschnittes 5 Fr. 4 530.- oder Fr. 246.- pro ha Wasserfläche. Der Forellenertrag im Abschnitt 4 erreichte im Mittel der Jahre 1962-1964 1369 kg oder 45,1 kg/ha Wasserfläche, im Abschnitt 5 dagegen nur 827 kg bzw. 18,4 kg/ha.

Diese wenigen Werte mögen zeigen, welche eminente Bedeutung der Reinhaltung des Sihlflusses allein für die Fischerei zukommt.

## 1. SAUERSTOFFGEHALT, BIOCHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF UND KALIUMPERMANGANATOXYDIERBARKEIT

Wie bereits mehrmals erwähnt, wird das aus dem Sihlsee abfliessende Wasser in der Folge durch die Alp deutlich belastet. Wenn auch die Sauerstoffbilanz positiv bleibt, so fällt doch auf, dass der zur Oxydation der organischen Stoffe benötigte vorhandene Sauerstoff verdreifacht wird. In der Alp selber ist das Verhältnis noch viel krasser. Wenn oberhalb Trachslau 4,2 % des vorhandenen Sauerstoffes zu Oxydationszwecken benötigt werden, sind es unterhalb Einsie-

deln bereits 39,4 %, also rund zehnmal mehr. Unterhalb Geissboden, das den höchsten biochemischen Sauerstoffverbrauch in der Sihl anzeigt, sinkt dieser beständig ab und ist selbst in der Stadt Zürich nur halb so hoch wie unterhalb Einsiedeln.

Anders stellt sich die Situation dar, wenn man auf den Kaliumpermanganatverbrauch abstellt. Einzig die Alp oberhalb Einsiedeln sowie die Sihl bei Sihlbrugg und im Kanal von Adliswil zeigen positive Bilanzen; in der Alp oberhalb Einsiedeln wegen der geringen Verunreinigung, in der Sihl wegen der günstigen Art und Lage der Flusstrecke, die dem Wasser gestattet, reichlich Luftsauerstoff zu absorbieren, und einen Teil des fehlenden Sauerstoffs laufend zu ersetzen. Alle übrigen Untersuchungsstellen weisen eine, wenn auch geringe negative Bilanz auf, da die Oxydierbarkeit den vorhandenen Sauerstoffvorrat übersteigt.

Tabelle 16

Probenahmestelle	Vorhandener Sauerstoffvorrat		Biochemischer Sauerstoffbedarf		Kaliumpermanganat-oxydierbarkeit Tonnen
	Tonnen	%	Tonnen	%	
1	1.35	100	0.16	11.8	1.36
2	0.47	100	0.02	4.2	0.23
3	0.46	100	0.03	6.5	0.28
4	0.43	100	0.17	39.4	0.46
5	0.23	100	0.03	13.1	0.24
6	2.03	100	0.60	29.6	2.06
7	2.16	100	0.59	27.4	2.22
8	2.81	100	0.33	11.8	2.33
9	2.91	100	0.33	11.3	2.18
10	3.23	100	0.44	14.6	3.18
11	4.04	100	0.83	20.6	4.29

## 2. STICKSTOFF- UND PHOSPHORVERBINDUNGEN

Das Stickstoff-Phosphor-Verhältnis, das beim noch wenig eutrophierten Vierwaldstättersee 22:1 und beim stark eutrophierten Zugersee 1,2:1 beträgt, wurde bei dem aus dem Sihlsee abfliessenden Wasser mit 10:1 berechnet. Da dieses Verhältnis in der Biber ausserordentlich hoch ist (83:1), wird das schlechte Verhältnis von 4:1 der Alp aufgehoben und damit in Geissboden sogar eine leichte Verbesserung auf 12:1 erreicht. Entsprechend den Feststellungen in anderen Flussläufen verschlechtert sich das Verhältnis gegen die Mündung des Flusses zu. In der Sihl wird diese Regelmässigkeit nur durch die hohen Stickstoffgehalte an den Probenahmestellen 8 und 9 unterbrochen. Wie viel schlechter das Stickstoff-Phosphor-Verhältnis im Unterlauf der Sihl ist, als z. B. in der Reuss oder der Aare, zeigen die Verhältniszahlen für die beiden letztgenannten Stellen mit 10,5:1 und 12,6:1 [5].

Tabelle 17

Probenahmestelle	Stickstoff Kilogramm pro Tag	Phosphor Kilogramm pro Tag	N : P
1	22.62	2.26	10.0 : 1
2	41.26	0.96	43.0 : 1
3	38.56	1.44	26.8 : 1
4	74.10	13.43	4.0 : 1
5	57.15	0.69	82.8 : 1
6	247.76	20.65	12.1 : 1
7	190.94	19.67	9.7 : 1
8	242.38	17.63	13.7 : 1
9	297.12	14.65	20.3 : 1
10	372.25	68.95	5.4 : 1
11	451.78	118.97	3.8 : 1

## 3. CHLORIDE

Der Grund, weshalb wir die Chloride zu den Verunreinigungsfaktoren rechnen, liegt darin, dass sie nur in den wenigsten Fällen natürlicher Herkunft sind, zur Hauptsache jedoch durch häusliche Abwässer in Seen und Flüsse gelangen. Verglichen mit dem Chloridtransport beim Eintritt in die Limmat zeigt die Sihl bei Austritt aus dem Sihlsee nur einen solchen von 7,7 % (chloridarmes Seewasser), der bei Geissboden auf 53,2 % ansteigt, interessanterweise in Hütten und Sihlbrugg auf 32,2 % absinkt und nach Adliswil wiederum auf 57,5 % ansteigt. Dies bedeutet, dass annähernd die Hälfte der mitgeführten Chloridmengen erst nach der Zufuhr der Abwässer aus der Kläranlage Adliswil in die Sihl eintreten. Die Alp zeigt auch hier wieder ihre Verschmutzung durch die Abwässer von Einsiedeln, steigt doch der Chloridgehalt von Trachslau bis unterhalb Einsiedeln um das dreifache an. Der Chloridtransport der Biber entspricht demjenigen der Alp oberhalb Trachslau.

## 4. NÄHRSTOFFZUFUHR UND EINWOHNERGLEICHWERTE

Als gelöster täglicher Abgang dürfen pro Kopf der Bevölkerung folgende Durchschnittswerte angenommen werden:

BSB <sub>5</sub>	54 Gramm	im Tag pro Einwohner
KMnO <sub>4</sub> -Verbrauch	125 Gramm	
N	12 Gramm	
P	3 Gramm	
NaCl	40 Gramm	

Gestützt auf diese Erfahrungswerte lassen sich für die verschiedenen Probenahmestellen nachstehende Einwohnergleichwerte berechnen:

Tabelle 18

Stelle	BSB <sub>5</sub>	KMnO <sub>4</sub>	N	P	NaCl
1	2 900	10 900	2 000	750	3 700
2	360	1 800	3 400	320	1 100
3	490	2 200	3 200	480	1 500
4	3 190	3 700	6 200	6 200	4 250
5	480	1 900	4 700	230	1 500
6	11 200	16 500	20 600	6 900	25 500
7	10 800	17 700	15 900	6 500	15 500
8	6 200	18 600	20 200	5 800	15 500
9	6 100	17 400	24 700	4 800	20 500
10	8 100	25 400	31 000	23 000	27 700
11	15 300	34 300	37 600	39 700	48 000

Auf den ersten Blick scheint die vorstehende Tabelle verwirrend und voller Diskrepanzen. Um eine Interpretation der Berechnungen vornehmen zu können, sind gewisse Gegebenheiten zu beachten.

### a. Biochemischer Sauerstoffbedarf und Kaliumpermanganatverbrauch

Nur an den Probenahmestellen 4, 6 und 7 sind die Einwohnergleichwerte berechnet aus BSB<sub>5</sub> und KMnO<sub>4</sub> einigermaßen übereinstimmend. Bei allen andern Untersuchungsstellen liegen die Zahlen, die auf der Permanganatoxydierbarkeit beruhen, drei bis viermal höher als diejenigen, die aus dem biochemischen Sauerstoffbedarf errechnet wurden. Diese Erscheinung ist den Limnologen nicht unbekannt.

Die zu hohen Werte im Permanganatverbrauch in der Alp oberhalb Einsiedeln und in der Biber sind sicherlich auf das Moorwasser zurückzuführen; die BSB<sub>5</sub>-Werte entsprechen hier der Wirklichkeit. Beide Zahlen in der Alp unterhalb Einsiedeln sind nicht der Realität entsprechend, weist doch Einsiedeln eine Bevölkerung von 6 500 Einwohnern auf. Es könnte somit angenommen werden, dass bis zum Probe-



Bild 11 Sihl bei Sihlbrugg-Dorf

nahmeort bereits eine teilweise Aufarbeitung der Abwässer eintritt. Dass dem nicht so ist, beweisen die Werte von Geissboden und Hütten, wobei an der letzterwähnten Probenahmestelle zu berücksichtigen ist, dass das Wasser der Sihl auf grossen Strecken in Kanälen abfließt und dort nur eine beschränkte Selbstreinigung erfährt. Zudem wird es durch die Abwässer von Schindellegi erneut belastet. Die BSB<sub>5</sub>-Einwohnergleichwerte von Sihlbrugg und Adliswil zeigen erneut, dass hier eine Selbstreinigung der Sihl eintritt. Sonst müssen die KMnO<sub>4</sub>-Werte verworfen werden.

b. Gesamt-Stickstoff und Gesamtphosphat

Die gestützt auf den Stickstoffgehalt errechneten Einwohnergleichwerte in der Alp oberhalb Einsiedeln und in der Biber sind viel zu hoch und auf das Einzugsgebiet des sonst «sauberen» Wassers zurückzuführen (Landwirtschaft, Moorboden). Ein der Wirklichkeit entsprechendes Bild erhalten wir einigermassen durch die errechneten Phosphat-Werte.

c. Chloride

Hier gilt für die Alp und die Biber, was bereits im vorstehenden Abschnitt erwähnt ist. Der aus den Chloriden errechnete Einwohnergleichwert für Einsiedeln ist zu tief, sonst würde der Wert in Geissboden nicht mehr als doppelt so hoch sein, als der Summe des Einzuges entspricht. Die Bilanz ist auf der gesamten Gewässerstrecke positiv, d. h. die

Kochsalzmengen, die ins Gewässer gelangen, sind grösser als die theoretisch erwarteten Werte. Da wir als Basis 40 g Kochsalz pro Einwohner und Tag festgelegt haben, muss ein Teil der abgeführten Chloride aus Gewerbebetrieben stammen.

## L. Zusammenfassung

### 1. ALLGEMEINES

Am 5. und 6. Oktober 1965 wurde der in erster Linie von schwyzerischer Seite geäusserte Wunsch nach einer 24-stündigen Daueruntersuchung der Sihl und ihrer wichtigsten Nebenflüsse durch die Kantone Schwyz, Zug und Zürich realisiert. Die Ergebnisse der limnologischen Untersuchungen liegen dieser Arbeit zugrunde.

Die Wasserführung der Sihl, der Alp und der Biber wurde durch die Pegelstationen des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft und Limnigraphen der Wasserkraftwerke registriert und zeigte für die Untersuchungstage eine Wassermenge, die nur 2/3 des in den letzten 27 Jahren gemessenen Durchschnittes entsprach. Somit konnte die Untersuchung während einer günstigen Niederwasserperiode durchgeführt werden, insbesondere da während der ganzen Dauer der Untersuchung trockenes, schönes Wetter herrschte.

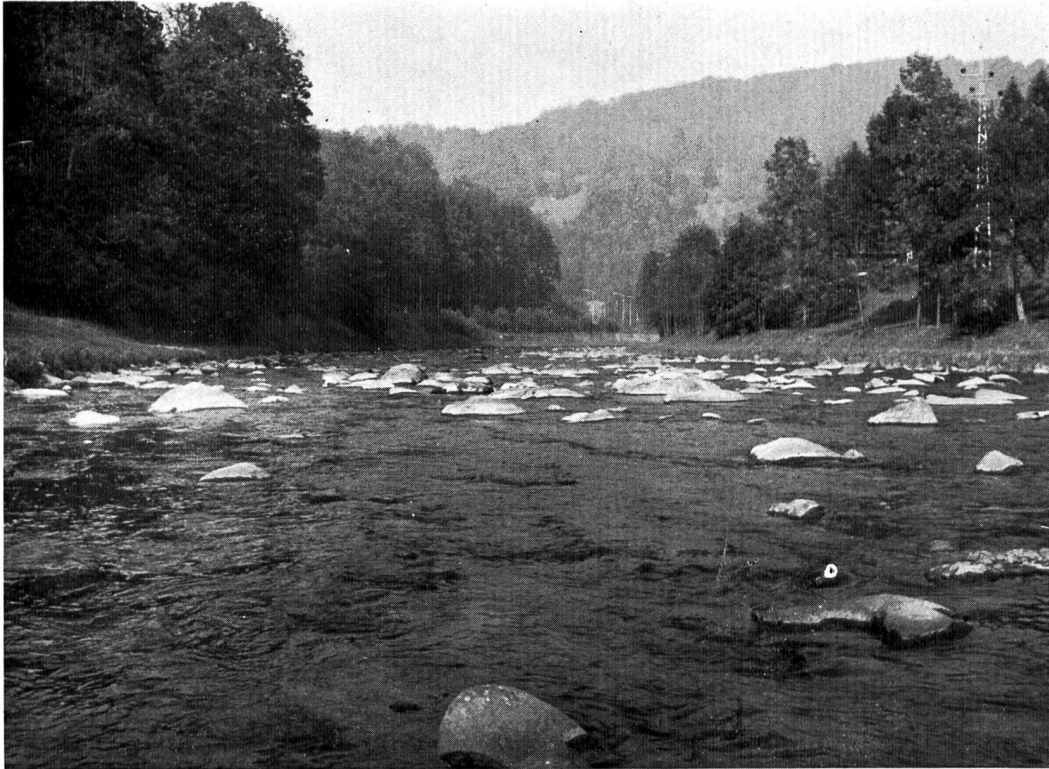


Bild 12  
Sihl bei  
Sihlbrugg-  
Station

## 2. DER ZUSTAND DER SIHL UND IHRER ZUFLÜSSE ALP UND BIBER

Das Ziel der Untersuchung bestand darin, den allgemeinen Verunreinigungsgrad der Sihl und deren flussabwärts erfolgenden Veränderungen kennen zu lernen. Aus technischen Gründen musste dabei von vorneherein verzichtet werden, den Einfluss aller die Sihl mit Schmutz belastenden Abwässereinleitungen und Nebenflüsschen – mit Ausnahme der Alp und der Biber – im einzelnen zu erfassen. So war es zum Beispiel nicht möglich, einen Vergleich der Sihl, der Minster, des Grossbaches und des Rickentalbaches vor dem Einfluss in den Sihlsee anzustellen, der Verschmutzungsgrad des aus dem Wilersee und dem Tüfenbachweiher zur Sihl fliessenden Wassers zu bestimmen, oder gar den Reinigungseffekt der Kläranlage von Adliswil, bzw. die effektive Belastung der Sihl durch das geklärte Abwasser festzulegen. Zur Beurteilung der Herkunft der Verschmutzung können somit unsere Untersuchungsergebnisse nur auf einen jeweiligen Abschnitt des Flusses in seiner Gesamtheit herangezogen werden.

### a. Der Sihlseeabfluss

Das aus dem Sihlsee abfliessende Wasser zeichnet sich durch eine gute Sauerstoffsättigung aus, enthält wenig Chloride, anorganische und organische Stickstoffkomponenten sowie Gesamtphosphor und ist frei von anionaktiven Detergentien und anorganischen Phosphaten. Dagegen enthält es Spuren von Eisen, hat eine durchschnittliche Permanganat-Oxydierbarkeit von 10,2, was bereits als «erhöht» bezeichnet werden muss, liegt jedoch in hygienisch-bakteriologischer Hinsicht in der Klasse der «sauberen» Wässer.

### b. Alp und Biber

Die Alp oberhalb Einsiedeln und die Biber bis zur Einmündung in die Alp weisen in ihrer Zusammensetzung viele Ähnlichkeiten auf. Ihr Wasser zeichnet sich durch eine gute Sauerstoffsättigung und einen niederen biochemischen Sauerstoffbedarf aus; es ist annähernd frei von anorgani-

schen Phosphaten, ganz frei von Syndets und muss auch in bakteriologischer Hinsicht als zufriedenstellend klassiert werden. Die Permanganatoxydierbarkeit des Alpwassers liegt noch innerhalb der für ein Trinkwasser tolerierten Grenzen, ist jedoch bei der Biber höher als beim Sihlsee. Auch die Stickstoffkomponenten sind im Wasser der Biber bereits in doppelter Konzentration gegenüber der Alp enthalten.

Die Abwässer, die der Alp von Einsiedeln her zufließen, verändern das Bild jedoch vollständig. Nicht nur tritt eine leichte Reduktion des Sauerstoffgehaltes ein; der biochemische Sauerstoffbedarf steigt gleichzeitig um das siebenfache an, während sich die Permanganatoxydierbarkeit, sowie der Gehalt an Chloriden, Gesamtstickstoff und Eisen verdoppelt. Schlagartig finden wir nun auch Detergentien, allerdings in einer Konzentration, die gerade noch tragbar ist. Der Gehalt an coliformen Keimen erreicht zudem ein Mass, dass in Berücksichtigung aller aufgeführten Komponenten und gestützt auf das Beurteilungssystem der Hygienisch-Bakteriologischen Kommission der Kantons- und Stadtchemiker der Schweiz für diesen Flussabschnitt ein Badeverbot sich direkt aufdrängt.

### c. Die Sihl im Oberlauf

Der Oberlauf der Sihl bis nach Hütten wird eindeutig durch die Verunreinigungen von Einsiedeln und eines Teiles von Schindellegi dominiert. Dazu kommt durch die technischen Eingriffe in den natürlichen Lauf des Flusses die Vermöglichung der Regeneration des Wassers, also der Selbstreinigung. Das Wasser ist durch feine Tonpartikel aus den Kieswerken, den Grundablässen der Stauwerke sowie dem derzeitigen Strassenbau bei Biberbrugg oft trübe, was eine normale Entwicklung des Fischbestandes verhindert. Dieser ist gleichzeitig auch durch die oft unregelmässige Wasserführung, bzw. den unregelmässigen Ablass von Pflichtwasser gefährdet.

Der biochemische Sauerstoffbedarf liegt in dieser Flussstrecke immer noch relativ hoch, der Permanganatverbrauch übersteigt mehrmals denjenigen des Sihlseewassers, der

Chloridgehalt findet bei Geissboden sein Maximum, und Stickstoffkomponenten sowie die bakteriologische Zusammensetzung liegen in Grössenordnungen, dass auf der gesamten Strecke vom Zusammenfluss der Alp mit der Sihl bis nach Geissboden ebenfalls ein Badeverbot gerechtfertigt ist.

#### d. Die Sihl im Unterlauf

Unterhalb Hütten wird das Wasser der Sihl vorerst zur Nutzung durch das Waldhaldewerk der EKZ abgeleitet, so dass ein langes Blockmeer entsteht und nur ungenügende Wassermengen den eigentlichen Flusslauf unterhalb der Finsterseebrücke hinunterfliessen. Vom Hindercher an fliesst dann das gesamte Wasser wieder durch das natürliche Flussbett, was sich in Sihlbrugg in der eingetretenen Selbstreinigung bemerkbar macht. Der BSB<sub>5</sub> beträgt selbst im Kanal von Adliswil nur noch die Hälfte desjenigen von Hütten, der Permanganatbedarf nur noch 70 % und der Gehalt an Gesamtphosphaten und Detergentien hat sich ebenfalls um 50 % reduziert.

Oberhalb Gattikon beginnt dann eine ganze Reihe sich folgender kleiner oder grösserer Wasserkraftanlagen. Die Selbstreinigung der Sihl ist auf diesem Streckenabschnitt dementsprechend reduziert, was die starke Veralgung, die häufige Mückenplage und Geruchsbelästigung in dem teilweise trockenen Flussbett erklärt.

Wenn auch der Sauerstoffgehalt des Wassers in diesem Abschnitt als genügend bezeichnet werden muss, nimmt leider der biochemische Sauerstoffbedarf wieder zu, der Permanganatverbrauch übersteigt denjenigen des Oberlaufes, und auch alle anderen Komponenten steigen in ihrer Konzentration mehr oder weniger an. Es muss deshalb nicht verwundern, dass im Jahre 1964 durch das Gesundheitsinspektorat der Stadt Zürich für diesen untersten Teil der Sihl ein Badeverbot ausgesprochen worden ist.

## M. Schlussfolgerungen

### 8. DIE VERSCHMUTZUNG DER SIHL, ALP UND BIBER IM LICHT DES BUNDESGESETZES

Artikel 2, Abs. 1 des Bundesgesetzes vom 16. März 1955 über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigungen bestimmt:

«Gegen die Verunreinigung oder andere schädliche Beeinträchtigung der ober- und unterirdischen Gewässer sind diejenigen Massnahmen zu ergreifen, die notwendig sind zum Schutze der Gesundheit von Mensch und Tier, zur Verwendung von Grund- und Quellwasser als Trinkwasser, zur Aufbereitung von oberirdischen Gewässern zu Trink- und Brauchwasser, zur Benützung von Badeszwecken, zur Erhaltung von Fischgewässern, zum Schutze baulicher Anlagen vor Schädigung, zum Schutze des Landschaftsbildes gegen Beeinträchtigung.»

#### a. Schutz der Gesundheit von Mensch und Tier

Wenn auch die Gesamtkeimzahlen im ganzen Flusslauf relativ niedrig sind, müssen doch die Zahlen, die bei der Bestimmung der coliformen Keime in der Alp unterhalb Einsiedeln, sowie in der Sihl bis hinunter nach Sihlbrugg zu Bedenken Anlass geben. Jedem Hygieniker ist geläufig, dass das Wasser Ueberträger pathogener Keime sein kann. Wenn unsere interkantonale Flussuntersuchung aus arbeitstechnischen Gründen auf den Nachweis solcher Krankheitserreger auch verzichten musste, ist deren Abwesenheit keineswegs ge-

währleistet. Vom hygienischen Standpunkt aus gesehen, muss die Möglichkeit des Vorhandenseins von Salmonellen oder Shigellen in einem Gewässer, das teilweise über hundert coliforme Keime pro ml enthält, als gegeben betrachtet werden.

In der von G. Müller kürzlich veröffentlichten Arbeit [27] wird mit aller Deutlichkeit darauf hingewiesen, dass sich alle Wassertiere in Salmonellen-haltigem Flusswasser infizieren können und selber zu Ueberträgern werden. Wenn man die Statistik des EGA betreffend Vermehrung der Salmonellen und Shigellen in den letzten Jahren betrachtet, muss einem bewusst werden, dass Flusspartien, wie die vorstehend erwähnten, unter Umständen zu einer latenten Gefahr anwachsen können.

#### b. Speisung von Grundwasservorkommen

Im Alp- und Sihltal wird an verschiedenen Stellen Grundwasser gefördert. Dieses zeichnet sich durch einen hohen Ammonium-N-Gehalt sowie durch Spuren von Eisen aus. Die bakteriologische Reinheit ist von unterschiedlicher Qualität. Es darf deshalb der Schluss gezogen werden, dass je nach dem Verschmutzungsgrad der Sihl das Grundwasser mehr oder weniger stark beeinträchtigt werden kann. Somit muss zum Schutze der Trinkwasserversorgung die Verbesserung der Reinheit des Oberflächenwassers kategorisch gefordert werden.

#### c. Die Nutzung als Brauchwasser

Das Wasser der Sihl ist allgemein so beschaffen, dass es im heutigen Zustand noch ohne Aufbereitung zu Kühl- und Betriebszwecken verwendet werden kann. Voraussetzung dazu ist jedoch, dass die Sand- und Tonführung auf ein Minimum reduziert wird.

#### d. Badesport

Wie bereits erwähnt, ist das Wasser der Alp unterhalb Einsiedeln sowie der Sihl bis Hütten und bei der Allmend für den Badesport nicht mehr geeignet. Gemäss den Richtlinien der Hygienisch-Bakteriologischen Kommission der Kantons- und Stadtchemiker der Schweiz drängen sich an diesen Flussstrecken Badeverbote auf.

#### e. Fischerei

Der Ertragsrückgang ist eindeutig auf zwei Faktoren zurückzuführen, nämlich auf die vielen Wasserkraftanlagen einerseits, die im Kanton Zürich meist nicht einmal zur Abgabe einer Pflichtwassermenge verpflichtet sind, und auf die Verunreinigung des Wassers durch Sand- und Tonpartikel, die von Kieswerken und Stauhaltungen abgehen. Diese feinen Partikel sedimentieren sich im Flusslauf und decken die Sohle zu, so dass der für die Entwicklung der Fische notwendige Nährstoffbestand vielerorts zugrunde geht. Tabellen 14 und 15 widerspiegeln die Auswirkungen recht deutlich, so dass sich ein weiterer Kommentar erübrigt.

#### f. Das Landschaftsbild

Zu einer schönen Landschaft gehört ein sauberer Fluss. Die Sihl durchfliesst zwischen Schindellegi und Sihlbrugg eine der schönsten Moränenlandschaften der Schweiz, von denen weite Teile unter Natur- und Heimatschutz stehen. Umso bedauerlicher ist es, wenn der diese Region durchfliessende Fluss durch Kraftnutzung auf längeren Strecken ein Blockmeer bildet oder nur ein dünnes Rinnsal darstellt. Die sichtbare Verunreinigung des Wassers, die das Landschaftsbild noch zusätzlich beeinträchtigen könnte, tritt jedoch nur ein, wenn aus den vordem mehrmals erwähnten Gründen eine offensichtliche Trübung vorliegt.



Bild 13 Sihl in der Stadt Zürich mit Einmündung in die Limmat

## 2. GENERELLE BEURTEILUNG

Der gegenwärtige Verunreinigungsgrad der Sihl, Alp und Biber ist starken Schwankungen unterworfen. Alp und Biber führen ursprünglich reines Wasser, das aber bei ersterer durch Einsiedeln untragbar verschmutzt wird. Man kann sich leicht vorstellen, um wieviel stärker diese Verschmutzung an Tagen von Wallfahrten und im Winter anlässlich der vielen Ski-Anlässe und -schulen sein wird. Somit drängt sich der Bau einer mechanisch-biologischen Kläranlage für das gesamte Einzugsgebiet von Einsiedeln mit aller Deutlichkeit auf. Da der natürliche Flusslauf unterhalb Schindellegi wegen des Kraftwerks Sihl-Höfe aufgehoben ist, so dass

eine natürliche Selbstreinigung des Wassers stark gehemmt ist, muss für diese Gemeinde ebenfalls eine Kläranlage gefordert werden. Langnau und Gattikon, die in den letzten Jahren eine eigentliche Bevölkerungsexplosion durchgemacht haben, sind in den letzten Jahren an die mechanisch-biologische Kläranlage Adliswil angeschlossen worden, so dass die Grundsätze des Eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes wirklich erfüllt werden.

## 3. KLÄRANLAGEN IM EINZUGSGEBIET DER SIHL

Schindellegi ca. 2000 Einwohner (ARA Freienbach), mechanisch-biologische Anlage projektiert.

Neuheim ca. 1600 Einwohner, mechanisch-biologische Anlage projektiert.

Sihlbrugg-Dorf, ca. 1000 Einwohner, mechanisch-biologische Anlage im Bau.

Hirzel, ca. 2500 Einwohner, mechanisch-biologische Anlage projektiert.

Adliswil, ca. 16 000 Einwohner, mechanisch-biologische Anlage für Gattikon, Langnau und Adliswil im Betrieb.

Das Gebiet der Stadt Zürich längs der Sihl ist an die Kläranlage Werdhölzli (mechanisch) angeschlossen.

Papierfabrik a.d. Sihl (Werk Manegg) besitzt eine eigene Industriekläranlage.

#### 4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die vorliegende Untersuchung erfasste den Zustand der Sihl, der Alp und der Biber im Herbst 1965. Das dabei gesammelte Daten- und Analysenmaterial kann als Grundlage für die generelle Beurteilung geplanter Sanierungsmassnahmen im Einzugsgebiet dieser Flüsse dienen. Der besondere Charakter dieser Erhebung wird jedoch bei der Planung von Abwasserreinigungsanlagen zusätzliche Untersuchungen notwendig machen; der vorliegende Bericht ersetzt solche Spezialuntersuchungen keineswegs.

Diese interkantonale Flussuntersuchung hat mit aller Deutlichkeit gezeigt, dass die an und für sich noch sauberen Gewässer vor allem durch die Abwässer von Einsiedeln und von Schindellegi stark belastet sind. Die dortigen Abwasserverhältnisse bedürfen deshalb einer raschen Sanierung. Den zuständigen Amtsstellen wird somit empfohlen, die Abwasserverhältnisse der Gemeinden, Industrien und Gewerbebetriebe laufend zu überwachen und wirksame Massnahmen durchzusetzen. Der Kanton Schwyz wird zudem eingeladen, Verstösse gegen das Verbot des Schlammablasses mit aller Schärfe zu ahnden.

Schlussendlich müssen wir uns jedoch alle bewusst werden, dass die beste Kontrolle, Ermahnungen und Mithilfe zur Sanierung nichts nützen, wenn unsere Gerichte den Ernst der Situation und den Zweck des Eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes nicht erfassen, und vorsätzliche oder fahrlässige Gewässerverschmutzer nicht mit aller Schärfe bestrafen. Die kantonalen Gewässerschutzämter werden deshalb eingeladen, den vorliegenden Bericht allen im Einzugsgebiet der Sihl liegenden Gemeindebehörden und den zuständigen Gerichten zuzustellen.

Allen Mitarbeitern, insbesondere meinen Kollegen in den amtlichen Laboratorien, den Fachleuten der Gewässerschutzämter, den Fischereiverwaltungen und der Firma Sigris-Photometer AG sei hier nochmals der beste Dank für die geleistete Arbeit und ihre Mithilfe ausgesprochen.

#### N. Literatur

- 1 R. Staub: Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie; Denkschrift Schweiz. Naturf. Ges. Bd. 69, 1934.
- 2 H. Leibundgut: Das Naturschutzgebiet Albiskette—Reppischtal; Vierteljahrschrift der Naturf. Ges. Zürich, 106, 468 (1961);
- 3 W. Höhn: Die Sihllandschaft zwischen Zürichsee und Zugersee; Vierteljahrschrift d. Naturf. Ges. Zürich, 107, 277 (1962);
- 4 K. A. Meyer: Sihlwald; Blätter der Vereinigung Pro Sihl, Nr. 9/1959.
- 5 K. H. Eschmann: Die Verunreinigung der Reuss zwischen Luzern und der Mündung in die Aare; Wasser- und Energiewirtschaft, Nr. 6/1963, Baden.
- 6 E. Waser und R. Burkard: Untersuchung des Sihlsees und der Sihl 1938; Vom Wasser, Band XIV, 103 (1940).
- 7 Wanderkarte Zürichsee—Zug 1 : 50 000; Orell Füssli Verlag, Zürich.
- 8 Schweizerisches Lebensmittelbuch, 4. Aufl. 1937.
- 9 A. Bach: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung; Verlag Chemie 1954.
- 10 R. Müller und K. Wiedemann: Die Bestimmung des Nitrations in Wasser; Vom Wasser, Band 22, 1955.
- 11 Ohle: Angewandte Chemie 51, 906 (1938).
- 12 Burck: Analyt. Chemie 180, 372 (1961).
- 13 Wattenberg und Kalle: vgl. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee.
- 14 H. Ambühl: Die Chloridbestimmung in Wasser; Mitt. Lebensmitteluntersuchung und Hygiene, 49, 241 (1958).
- 15 R. K. Freier: Wasseranalyse; W. de Gruyter Verlag Berlin 1964.
- 16 H. Thiel: Ber. deutsch. chem. Ges. 20, 2491 (1937).
- 17 H. E. Klotter: Vom Wasser, Band 24, 1957.
- 18 Sigris-Photometer AG: Kontinuierliche optische Qualitätskontrolle in Wasserversorgungsanlagen; Neue Zürcher Zeitung, Nr. 1842, 1964.
- 19 O. Thomann und H. Lüönd: Bakteriologische Prüfung und Beurteilung von Trinkwasser; Alimenta 5/1965.
- 20 Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1964. Herausgegeben vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft in Bern.
- 21 H. Bahr und W. Zimmermann: Die Wanderung von Detergentien im Boden; Archiv für Hygiene und Bakteriologie 149, 620 (1965).
- 22 L. Popp: Hygienische Kriterien bei der Beurteilung von Trink-, Fluss- und Badewässern; Alimenta 4/1965.
- 23 K. H. Eschmann und H. Lüönd: Die Untersuchung und hygienische Beurteilung von Badewasser; Alimenta 3/1966 (im Druck).
- 24 R. Schubert: Zeitschr. für Hygiene 142, 476 (1956).
- 25 Topley and Wilson's: Principles of Bacteriology and Immunity; 5th Edit. Ed. Arnold, London 1964.
- 26 K. H. Eschmann: Der Nachweis coliformer Keime im Wasser; Alimenta 2/1964.
- 27 G. Müller: Die Salmonellen im Lebensraum einer Grosstadt; Beiträge zur Hygiene und Epidemiologie, Heft 19, Barth-Verlag, Leipzig, 1965.

#### Bildernachweis

Bilder 1—4, 9, 10 und 12: Kantonales Laboratorium Zug  
Bilder 5—7: Sigris-Photometer AG, Zürich  
Bild 8: Kantonale Baudirektion Zürich  
Bilder 11 und 13: Swissair Photo AG, Zürich  
Figuren 1—12: Kantonales Bauamt Zug

## MITTEILUNGEN VERSCHIEDENER ART

### GEWÄSSERSCHUTZ, BINNENSCHIFFFAHRT, WASSERBAU

#### Präsident Johnson zum Gewässerschutz

In seiner Botschaft vom 12. Januar 1966 führte der USA-Präsident aus: «Von all den achtlosen Verwüstungen unseres natürlichen Erbes ist keine schändlicher als die fortgesetzte Verseuchung und Vergiftung unserer Flüsse und der Luft. Wir müssen gemeinschaftliche Anstrengungen unternehmen, um die Verseuchung mehrerer grosser Flüsse und ihrer Einzugsgebiete zu unterbinden, indem wir zusätzliche Bundesmittel für die Planung und für den Bau jener Einrichtungen bereitstellen, die erforderlich sind, um die Gewässer ganzer Einzugsgebiete sauber

zu halten und sie zu einer Quelle der Freude und Schönheit für unser Volk zu machen.»

(aus «Wasserwirtschaftliche Mitteilungen ÖWWV»)

#### Massnahmen der Bodenseewasserversorgung gegen Överschmutzung

Um wenigstens eine behelfsmässige Versorgung der Bevölkerung sicher zu stellen, baut die Bodensee-Wasserversorgung Stuttgart eine Mikrosieb- und Ozonanlage. Man hofft, Öltröpfchen und ölbehaltete Partikel mit den feinen Sieben grossteils zurückhalten