

**Zeitschrift:** Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène  
**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit  
**Band:** 35 (1944)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Versuche über die Selbstreinigung fliessenden Wassers : (Beitrag zur Kenntnis der Saprobien-Stufen)  
**Autor:** Thomas, E.A. / Staub, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-983550>

### **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:** 28.01.2026

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

# VERSUCHE ÜBER DIE SELBSTREINIGUNG FLIESSENDEN WASSERS

(BEITRAG ZUR KENNTNIS DER SAPROBIEN-STUFEN)

Von *E. A. Thomas*

(Mitteilung aus dem kantonalen Laboratorium Zürich, Vorstand: Dr. M. Staub)

## *Einleitung*

In einer von der Direktion des Gesundheitswesens des Kantons Zürich einberufenen Sitzung vom 19. März 1943 brachte der Direktor des Gesundheitswesens, unterstützt von anderen Vertretern der Regierung, den Wunsch zum Ausdruck, es möchte zwischen der Beratungsstelle der E. T. H. für Abwasserreinigung und Trinkwasserversorgung und den kantonalen Instanzen, die sich mit den gleichen Problemen befassen, eine engere Zusammenarbeit bestehen. Herr Prof. Dr. *W. von Gonzenbach* als Leiter der chemisch-bakteriologischen Abteilung der Beratungsstelle erklärte sich in zuvorkommender Weise mit dieser Anregung einverstanden, womit die Durchführung der vorliegenden Studie ermöglicht war. Wir möchten auch an dieser Stelle Herrn Prof. *von Gonzenbach* hierfür den besten Dank aussprechen, ebenso dem Zürcher Kantonschemiker, Herrn Dr. *M. Staub*, für die Förderung dieser Arbeit.

Herr *H. F. Kuisel*, Chemiker an der Beratungsstelle, organisierte die Durchführung der Versuche und kam unseren Wünschen für einige versuchstechnische Änderungen bereitwillig entgegen. Die chemischen Analysen wurden unter Leitung von Herrn *Kuisel*, dem wir für seine Mitarbeit zu grossem Dank verpflichtet sind, durch die Beratungsstelle der E. T. H. durchgeführt. Die benützten Versuchsrinnen liegen bei der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich und bilden einen Bestandteil der dort errichteten grossen Versuchsanlage der Beratungsstelle der E. T. H.

## *1. Zweck der Untersuchungen*

Wie aus den folgenden Punkten ersichtlich ist, dienen unsere Untersuchungen teils wissenschaftlichen Zwecken, teils behandeln sie Probleme der angewandten Hydrobiologie:

#### a) Studien über das Selbstreinigungsvermögen fliessenden Wassers

Bekanntlich findet in fliessendem Wasser oft auf kurzer Strecke eine sehr energische Selbstreinigung statt. Diese Verhältnisse in der Natur zu untersuchen, ist oft mit grossen Schwierigkeiten verbunden, weil dort Wasserbeschaffenheit, Wasserstand und die damit verbundenen Eigenschaften stark wechseln. Es interessierte deshalb, ob auf der kurzen Strecke einer Versuchsrinne chemisch und biologisch messbare Veränderungen in der Wasserbeschaffenheit auftreten, aus denen sich Rückschlüsse auf natürliche Verhältnisse ziehen lassen.

#### b) Abgrenzung der Saprobienstufen

Es ist jedem Hydrobiologen bekannt, dass zwar das Saprobienstadium von *Kolkwitz* und *Marsson* (1902, 1908, 1909) für die Gewässerbeurteilung nicht mehr wegzudenken ist, dass ihm aber noch Mängel anhaften. Den grössten Mangel sehen wir darin, dass für die Abgrenzung einer Saprobienstufe nur biologische und allgemeine chemische Merkmale (Begriffe: Oxydation und Reduktion) verwendet werden und eine zahlenmässige chemische (und auch bakteriologische) Beschreibung des Milieus fehlt. Wir sind deshalb bestrebt, die von *Kolkwitz* und *Marsson* biologisch begrenzten Saprobienstufen auch hinsichtlich des Chemismus des Milieus zu erfassen. Das Ziel ist eine enge Verknüpfung von biologischen und chemischen Massstäben für die Beurteilung von verunreinigten Vorflutern.

#### c) Existenzbedingungen von Einzelorganismen

Ähnlich wie der Chemismus der Saprobienstufen erfasst werden soll, ist zu untersuchen, zwischen welchen chemisch definierten Grenzen sich die Lebensbedingungen der Einzelorganismen bewegen. Das biologische Saprobienstadium erhält dadurch eine wertvolle Verfeinerung.

#### d) Existenzbedingungen von *Sphaerotilus natans*

Als Mindestforderung für die Reinigung von in Gewässer einzuleitenden Abwässern muss für schweizerische Verhältnisse verlangt werden, dass im Vorfluter nach der Abwassereinleitung keine von Auge wahrnehmbaren *Sphaerotilus*-bildungen mehr auftreten. Aus der minimalen Wasserführung des Vorfluters und der einzuleitenden Abwassermenge lässt sich annähernd genau errechnen, wie stark das Abwasser im Vorfluter verdünnt wird. Unter Anwendung dieser Verdünnung im Rinnenversuch kann man feststellen, wie weitgehend das Abwasser zu reinigen ist, damit auch ungünstigenfalls keine *Sphaerotilus*-bildungen mehr auftreten. In dieser Beziehung schliessen sich unsere Untersuchungen eng an diejenigen von *Blöchliger* und *Husmann* (1939) an und geben Hinweise von praktisch wichtiger Bedeutung (*Husmann*, 1936, S. 284).

#### e) Uorarbeit für Parallelversuche mit verschiedenen Reinigungsmethoden

Die Beratungsstelle der E. T. H. führt seit einiger Zeit mit verschiedenen biologischen Reinigungsverfahren Parallelversuche durch, um die Vor- und Nachteile und die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren vergleichsweise zu

prüfen. Dabei ist vorgesehen, die Wirkungsweise des jeweiligen Verfahrens nicht nur chemisch zu erfassen, sondern — die wirklichen Verhältnisse im Kleinen nachahmend — die gereinigten Abwässer in gleicher Weise mit Limmatwasser verdünnt nebeneinander durch die Versuchsrinnen strömen zu lassen und durch chemische und insbesondere biologische Untersuchungen die Beurteilung des Reinigungseffektes zu erleichtern. Unsere Untersuchungen können hierzu als erste, richtunggebende Arbeit betrachtet werden.

## 2. Technische Anordnung der Versuche

Über die Anordnung der vier parallel geführten, etwa 40 cm breiten Rinnen gibt die Arbeit von *Blöchliger* und *Husmann* (1939) Auskunft. In den obersten Metern der Rinnen 1 bis 3 floss reines Limmatwasser, gepumpt aus dem westlich der Kläranlage Werdhölzli durchfliessenden Kanal, in einer Menge von 2,5 l/sec. Dann wurden 0,25 l/sec Abwasser auf gleicher Höhe in die Rinnen eingelassen, wobei sich das Limmatwasser mit dem Abwasser gut durchmischte. Auf der obersten Strecke konnten sich somit die Organismen des reinen Limmatwassers ansiedeln, was als biologischer Ausgangspunkt für die Untersuchung von Interesse war.

Das in Rinne 1 eingeleitete Abwasser war nur mechanisch gereinigt, das in Rinne 2 eingeleitete nach dem Z-Verfahren teilgereinigt (Aufenthaltszeit im Belüftungsbecken 50 Minuten, im Nachklärbecken 70 Minuten); das in Rinne 3 eingeleitete ebenfalls nach dem Z-Verfahren teilgereinigt, aber nachbelüftet. Die mittlere Fliesszeit in diesen Rinnen betrug etwa 13 Minuten, die Fliesstrecke 80 m.

Der im folgenden als «Becken» bezeichneten Betongrube wurde eine Mischung von 10 Teilen Limmatwasser und einem Teil Abwasser, gereinigt wie das in Rinne 3 eingeleitete Abwasser, zugeführt. Die theoretische Durchflusszeit durch dieses Becken betrug 21 Stunden 42 Minuten. Von diesem Wasser flossen in Rinne 4 1,1 l/sec. Das Wasser brauchte zum Durchfliessen von Rinne 4 rund 40 Minuten.

Vom 4. bis 12. November flossen in den Rinnen 1 bis 3 2 l/sec des entsprechenden Abwassers ohne Verdünnungswasser. Um Verwechslungen mit dem Hauptversuch zu vermeiden, bezeichnen wir diese Rinnen mit A bis C.

## 3. Methodik

### a) Biologische Untersuchungen

Aus jeder der vier Versuchsrinnen entnahmen wir im oberen und unteren Teil je eine Probe und eine weitere Probe aus der reines Limmatwasser führenden Zuflussrinne. Diese neun Proben erhoben wir an sechs über die Versuchsperiode regelmässig verteilten Tagen, nämlich erstmals am 6. September 1943 und zuletzt am 4. November, sodass im ganzen 54 Proben zu untersuchen waren.

Es erwies sich als notwendig, die Proben sofort nach dem Erheben zu untersuchen, da im ruhig stehenden Wasser ein Teil der Organismen bald starb und sich zersetzte und die Biocoenose sich durch Überhandnehmen von widerstandsfähigen Organismen rasch geändert hätte. Totalanalysen des gefassten Materials waren deshalb nicht möglich, sodass wir uns in der Bestimmung auf die häufigsten und typischen Organismen beschränken mussten.

Für die Beurteilung des biologischen Befundes ist zu beachten, dass die in den Rinnen gefundenen Organismen sich aus Keimen entwickelten, die teils aus dem Limmatwasser, teils aus dem Abwasser stammten (oder aus der Luft); die Besiedelungsmöglichkeit der Rinnen war also nicht unbegrenzt. Indessen war überraschend, wie schnell und vielfältig die Rinnen besiedelt wurden. Hinsichtlich der Besiedelung durch Insekten ist in Betracht zu ziehen, dass Reinwasser-Insekten unsere Versuchsrinnen unter Umständen vermeiden, weil über der Umgebung der Abwassergeruch der Kläranlage liegt. Aus demselben Grunde könnten mesosaprobe Insekten ihre Eier in reines Wasser legen.

Im Verlaufe der Untersuchungen erwies sich das Fehlen von bakteriologischen Untersuchungen, die sich wenigstens auf Bestimmung der Keimzahl und der Zahl von Bakterien aus der Gruppe des *Bacterium coli* erstrecken sollten, als Mangel. Bei späteren Untersuchungen sind solche Bestimmungen erwünscht.

Am 12. November erfolgte eine Untersuchung von drei Rinnen, die nur mechanisch, bzw. biologisch gereinigtes Abwasser führten.

#### *b) Chemische Untersuchungen*

In acht über die Zeit vom 8. September bis 26. Oktober regelmässig verteilten Probenahmetagen wurden an den unter a) bezeichneten Stellen Proben erhoben für die chemische Untersuchung des Wassers; dazu kam jeweils eine weitere Probe aus dem Mischwasserbecken, das das Wasser für Rinne 4 lieferte.

Unter der Leitung von Herrn *Kuisel* wurden die Proben durch Herrn *H. Schneider* nach folgenden Methoden untersucht:

Sauerstoffgehalt nach *Winkler* (in *Ohlmüller-Spitta*, 1931)

Sauerstoffzehrung nach *Spitta* (do.)

Biochemischer Sauerstoffbedarf nach *Bach* (do.)

Kohlensäure nach *Klut* (1943)

Kaliumpermanganatverbrauch nach *Kubel-Thiemann* (in *Ohlmüller-Spitta*)

Ammoniak nach *Kuisel* (1934)

Nitrat nach *Kuisel* (unveröffentlicht)

Nitrit nach *Bujwid* (1894)

Folinwert nach *Kuisel* (1934)

Alkalinität nach *Lunge* (in *Ohlmüller-Spitta*)

Gesamthärte nach *Blacher* (1913)

Chloride nach *Mohr* (1886)

El. Leitfähigkeit nach *Kohlrausch* (1935)

#### 4. Chemische und biologische Charakterisierung der Biotope

##### a) Limmatwasser

Über chemische Analysen des Limmatwassers liegen schon viele Angaben vor; besonders das kantonale Laboratorium Zürich führte in den Jahren 1931/32 und 1933/34 (*Waser, Husmann, Blöchliger*, 1938) und neuerdings in den Jahren 1943/44 zahlreiche Untersuchungen durch. Danach unterliegt die Beschaffenheit des Limmatwassers grossen Schwankungen, weshalb neue Untersuchungen gleichzeitig mit den Rinnenuntersuchungen nicht zu umgehen waren. Die Mittelwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Untersuchungszahlen liegen im Rahmen der Zahlen früherer Untersuchungen und besagen, dass die Limmat an dieser Stelle (also unterhalb der Höggerbrücke), verglichen mit ihrem Wasser unterhalb des Werdhölzli-Einlaufes, ein verhältnismässig reines Wasser führt, das sich für Abwasserverdünnungsversuche sehr gut eignet. Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung sind befriedigend hoch, und die Sauerstoffzehrung und der biochemische Sauerstoffbedarf sind nur wenig höher als im allgemeinen bei den reineren Flüssen des Kantons Zürich. Niedrig ist der Kaliumpermanganatverbrauch bei den vorliegenden Untersuchungen, während der Chloridgehalt auf eine gewisse Verunreinigung durch Abwasser hinweist.

Wenn in den Versuchsrinnen durch Verdünnung oder Selbstreinigung ein erhöhter Reinheitsgrad erreicht ist, besteht die Möglichkeit, dass sich (entsprechend dem Reinheitsgrad des Wassers) andere Organismen und Organismengesellschaften ansiedeln als im Abwasser. Solche Organismen sind im Abwasser nicht oder kaum vorhanden, weshalb für die Neubesiedelung des reiner gewordenen Rinnenwassers vorwiegend Organismen des als Verdünnungswasser dienenden Limmatwassers in Frage kommen.

Das in die Versuchsrinnen gepumpte Limmatwasser brachte überraschend viele und verschiedene Organismen mit, die sich teilweise bereits im obersten Teil der Versuchsrinnen, also oberhalb der Abwassereinleitungsstellen festsetzten, teilweise aber von uns erst in dem Mischwasser führenden Teil der Versuchsrinnen beobachtet wurden. Es ist verständlich, dass eingeschwemmte Keime sich erst dann bemerkbar machen, wenn sie sich auf einem Substrat festsetzen und vermehren konnten. Im obersten, abwasserfreien Teil der Rinnen fanden wir nur verhältnismässig wenige Organismen, weil die Entwicklungsbedingungen hier wenig günstig waren. Wir bestimmten:

<i>Oscillatoria geminata</i>	<i>Chaetonotus maximus</i>
<i>Oscillatoria limosa</i>	<i>Planaria torva</i>
<i>Oscillatoria Aghardii</i>	Turbellarien
<i>Oscillatoria rubescens</i> (Zürichsee)	Oligochaeten
<i>Cosmarium varsoviense</i>	Nematoden
<i>Mougeotia</i>	<i>Euchlanis macrura</i>
<i>Cocconeis placentula</i>	Wassermilben
<i>Oedogonium</i>	<i>Simulium</i>
<i>Cladophora</i>	Trichopteren (mit Gehäuse)
<i>Pediastrum Boryanum</i>	<i>Calliophrys riparia</i>
<i>Nassula aurea</i>	<i>Limnaea ovata</i>
	<i>Bithynia tentaculata</i>

Wie überaus reichhaltig der Organismenbestand der Limmat ist, geht aus den Arbeiten von *Limanowska* (1911), *Huber-Pestalozzi* (1916), *Steinmann* und *Surbeck* (1918) und *Waser*, *Husmann* und *Blöchliger* (1938) hervor. Es waren deshalb in den Versuchsrinnen noch viele andere Organismen zu erwarten.

#### b) Rinne 1

Um die in den einzelnen Rinnen von oben bis unten vor sich gehenden Veränderungen in der Wasserbeschaffenheit und in den Biocoenosen überblicken zu können, ziehen wir im folgenden ständig Vergleiche zwischen der oberen und der unteren Probenahmestelle in der betreffenden Rinne.

Das Mischwasser der Rinne 1 verfügte anfänglich über einen mässig hohen Sauerstoffgehalt. Die hohe Sauerstoffzehrung des Wassers, die auch im biochemischen Sauerstoffbedarf zum Ausdruck kommt, bewirkte eine starke Abnahme des Sauerstoffgehaltes bis zum Ende der Rinne. Dank dieser energischen Oxydation war dann der biochemische Sauerstoffbedarf nach Durchfliessen der Rinne nur noch gut halb so gross; auch die Oxydierbarkeit sank um rund ein Drittel. Auffallend gross war die Zunahme des Kohlensäuregehaltes auf das Zehnfache; wahrscheinlich ist diese Zunahme ein Ausdruck für die Atmungs-tätigkeit der die Rinne bewohnenden Organismen.

Der Ammoniakgehalt des Wassers blieb beim Durchfliessen der Rinne annähernd gleich, während die leichte Zunahme der Nitrate mit der Abnahme des *Folin*wertes in Zusammenhang stehen dürfte und damit mit dem Abbau amino-säureartiger Stoffe. Bemerkenswert ist schliesslich eine geringe Abnahme des Chloridgehaltes, die sich auch bei den Rinnen 2 und 3 wiederholt. Zusammenfassend beurteilt, findet in Rinne 1 bereits eine messbare Selbstreinigung statt.

An Organismen fanden wir nur im obersten Teil der Rinne *Beggiatoa alba*, *B. leptomitiformis*, *Spirillen*, *Oscillatoria anguina*, *O. tenuis* (nur an feuchten Stellen, nicht unter Wasser), *O. rubescens* (vom Limmatwasser aus dem Zürichsee getragen), *Chromulina Pascheri* (amoeboid), *Peranema trichophorum*. Häufig und artenreich waren Protozoen vorhanden, vor allem *Paramecium caudatum*,

*Tabelle 1*

*Mittelwerte aus acht Probenahmen in der Zeit vom 8. Sept. bis 26. Okt. 1943*

(o = oberster Teil der Rinne; u = unterster Teil der Rinne)

		Limmat- wasser	Rinne 1	Rinne 2	Rinne 3	Becken	Rinne 4
Temperatur °C	o. u.	16,0	17,1 17,0	17,1 17,0	17,1 17,0	16,3	16,4 16,4
Sauerstoffgehalt in mg/l O <sub>2</sub>	o. u.	9,70	7,84 3,19	8,26 7,36	8,50 6,65	4,88	6,36 7,02
Sauerstoffsättigung in ‰	o. u.	98,8	81,3 32,7	86,1 75,6	88,7 69,4	50,2	65,3 72,4
Sauerstoffzehrung in mg/l O <sub>2</sub> (nach 48 Stunden)	o. u.	1,87	aller	4,63 3,15	4,43 2,72	aller	3,81 1,99
Sauerstoffzehrung in ‰ (nach 48 Stunden)	o. u.	19,4	>100 >100	55,6 41,1	51,9 37,8	>100	60,6 25,8
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> ) in mg/l O <sub>2</sub>	o. u.	2,8	24,5 13,5	7,0 5,8	4,1 4,8	14,3	10,9 4,2
Kohlensäuregehalt in mg/l CO <sub>2</sub>	o. u.	0,4	0,3 3,6	0,5 2,3	0,5 2,2	2,5	3,5 2,8
Kaliumpermanganatverbrauch (Oxydierbarkeit) in mg/l KMnO <sub>4</sub>	o. u.	8,95	39,69 26,46	20,75 17,19	18,36 16,39	21,21	23,12 19,35
Ammoniak in mg/l NH <sub>3</sub>	o. u.	<0,1	3,7 3,6	2,8 1,9	3,0 2,2	4,6	3,8 1,4
Nitrate in mg/l NO <sub>3</sub> '	o. u.	0,15	0,25 0,32	0,24 0,70	0,21 0,75	0,34	0,51 3,62
Nitrite in mg/l NO <sub>2</sub> '	o. u.	<0,1	Spur Spur	<0,1 0,28	<0,1 0,20	0,24	0,61 1,62
Folinwert in mg/l	o. u.	<0,1	1,02 0,64	0,54 0,24	0,35 <0,1	0,44	
Alkalinität in °F (Säurebindungsvermögen)	o. u.	11,0	12,7 13,1	12,5 12,1	11,8 11,5	13,4	13,0 11,6
Gesamthärte in °F	o. u.	12,1	13,4 13,5	13,1 13,1	12,5 12,9	14,7	13,9 13,4
Chloride in mg/l Cl'	o. u.	2,8	13,9 12,9	9,8 9,2	9,2 8,2	17,7	15,2 16,6
Elektrische Leitfähigkeit in rez. Ohm	o. u.	194,4	302,3 301,7	249,3 241,1	247,6 239,1	346,7	331,7 318,0
Wasserstoffionenkonzentration pH	o. u.	7,8	7,7 7,7	7,8 7,8	7,8 7,8	7,6	7,8 7,8

ferner *Microthorax pusillus*, *Histrio complanatus*, *Chaetonotus maximus*, *Spirostomum minus*, *Tachysoma pellationella*, *Oxytricha fallax* (frass *Oscillatoria rubescens*), *Urostyla weissei*, *Mastigamoeba*, *Cryptochilum* (*Uronema*) *griseolum*. Ferner bestimmten wir *Herpobdella octoculata*, *Nais elinguis*, *Aulophorus furcatus* und weisse *Trichopterenlarven*.

Nur im untersten, reineren Teil der Rinne fanden wir *Cladothrix dichotoma*, *Navicula radiosa*, *Chlorella*, *Stigeoclonium flagelliferum*, *Cladophora*, *Oedogonium*; ferner *Vorticella convallaria*, *Carchesium polypinum* (z. T. in grossen Massen), *Frontonia vernalis*, *Rotifer neptunius* und Mückenlarven.

Eine Anzahl von Organismen lebte sowohl im oberen als auch im unteren Teil der Rinne 1, nämlich *Sphaerotilus natans* (weit vorwiegend im oberen Teil, nur zeitweise im unteren Teil), *Closterium*, *Navicula radiosa* und andere *Naviculeen*, *Paramaecium trichium* (*P. caudatum* bei der unteren Stelle nur vereinzelt), *Chilodonella cucullus*, *Colpidium colpoda*, *Colpoda cucullus*, *Hemiophrys* (*Linotus*) *pectinata*, *Vorticella*, *Euplotes charon*, *Nassula aurea*, *Cyclidium instabile*, *Amoeba*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Stylonychia mytilus*, *Oligochaeten*, *Nematoden*, *Tubifex*, *Actinolaimus macrolaimus*, *Rotifer vulgaris* (vorwiegend unterster Teil der Rinne), *Colurus lepus* (nicht häufig), Wassermilben, *Chironomus*, Mückenlarven, *Limnaea ovata* (im oberen Teil nur zeitweise vereinzelt).

#### c) Rinne 2

Wie erwähnt floss in Rinne 2 Limmatwasser, gemischt mit Abwasser, das nach dem Z-Verfahren teilgereinigt war. Die zu erwartende Besserung im Chemosismus des Wassers kommt in Tab. 1 deutlich zum Ausdruck.

Der anfängliche Sauerstoffgehalt war etwas höher als in Rinne 1 und sank auf der Fliess-Strecke nur um knapp 1 mg/l. Die Sauerstoffzehrung und der biochemische Sauerstoffbedarf, die schon im oberen Teil der Rinne 2 viel niedriger waren als in Rinne 1, sanken beim Durchfliessen der Rinne um rund ein Viertel; auch die Oxydierbarkeit des Wassers nahm ab, wenn auch in geringerem Masse. Die Zunahme des Kohlensäuregehaltes von oben nach unten bestätigte sich in Rinne 2.

Auf die Stickstoffverhältnisse übte die in der Rinne stattfindende Selbstreinigung einen messbaren Einfluss aus. Ammoniakgehalt und *Folinwert* sanken wesentlich, wogegen die Nitrate und Nitrite zunahmen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Teil der Nitrate durch die massenhaft vorhandenen grünen Algenfäden aufgenommen worden sein dürfte. Die Wasserstoffionenkonzentration blieb praktisch unverändert, während die Leitfähigkeit leicht abnahm. In Anbetracht der kurzen Fliess-Strecke und Fliesszeit ist die Selbstreinigung auch in dieser Rinne als bedeutend zu bezeichnen.

In biologischer Beziehung sind die Unterschiede zwischen oberem Teil der Rinne und unterem Teil weniger auffällig als bei Rinne 1, aber mikroskopisch doch gut nachweisbar. Häufig traten im oberen Teil vor allem *Protozoen* auf,

massenhaft *Carchesium polypinum*, *Paramaecium putrinum* und *P. trichium*. Nur im oberen Teil der Rinne fanden wir ferner *Uorticella convallaria*, *U. octava*, *Epistylis cf. hospes*, *Nassula aurea*, *Hemiophrys*, *Helobdella stagnalis*, *Nais*, *Actinolaimus* und *Catypna luna*. Nur im unteren Teil: *Cosmarium laeve*, *C. polygonum*, *Staurastrum Bieneanum*, *Spirogyra*, *Mougeotia*, *Navicula radiosa*, *Amoeben*, *Stylaria lacustris*, *Planaria gonocephala*, *Euchlanis macrura* und *Alona quadrangularis*.

Im oberen und unteren Teil der Rinne bemerkten wir *Oscillatoria rubescens* (aus dem Zürichsee), *Cladothrix dichotoma* (auf grünen Algenfäden), *Closterium moniliferum* (vorwiegend im unteren Teil), *Cocconeis placentula*, *Oedogonium* (in Massen), *Cladophora* (in Massen), *Uorticella*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Euplotes charon*, *Nematoden*, *Oligochaeten* (im oberen Teil häufiger), *Planaria torva* (im oberen Teil häufiger), *Rotifer vulgaris*, *Cyclops fimbriatus*, *Heterocypris congruens*, *Gammarus pulex*, Wassermilben, *Simulium*- und *Chironomus*-larven (im oberen Teil häufiger), *Calliophrys riparia* und andere Mückenlarven und -puppen, *Limnaea ovata* (im oberen Teil häufiger; nicht selten auch Albinoformen), *Planorbis vortex*.

#### d) Rinne 3

Für den Chemismus des Wassers von Rinne 3 gelten im allgemeinen die bei Rinne 2 aufgeführten Bemerkungen mit dem Unterschied, dass in Rinne 3 etwas günstigere Verhältnisse vorliegen, entsprechend dem weitergehend gereinigten, eingeleiteten Abwasser. Für den Vergleich von Rinne 2 und 3 verweisen wir auf Tab. 1, aus der hervorgeht, dass auch bei Rinne 3 eine auffällige Selbstreinigung des durchfliessenden Mischwassers erfolgt.

Der Organismenbestand der Rinne 3 war ähnlich wie in Rinne 2. Nur im oberen Teil bestimmten wir *Carchesium polypinum* (zeitweise in Massen), *Hemiophrys (Linotus) pectinatus*, *Nassula aurea*, *Chaetogaster diaphanus*, *Planaria torva*, *Nais*, *Catypna luna*, *Gammarus pulex*; nur im unteren Teil *Closterium moniliferum*, *Cosmarium botrytis*, *Spirogyra*, *Mougeotia*, *Naviculeen*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Euplotes charon*, *Chilodonella cucullus*, *Stylaria lacustris*, *Procloëon bifidum* und *Planorbis vortex*.

Im oberen und im unteren Teil der Rinne vorhanden waren *Oscillatoria rubescens* (aus dem Zürichsee), *Cladothrix dichotoma*, *Cocconeis placentula*, *Oedogonium*, *Cladophora*, *Uorticella*, *Oligochaeten*, *Nematoden*, *Rotifer vulgaris*, *Heterocypris congruens* (im unteren Teil viel häufiger), Wassermilben, *Calliophrys riparia*, *Chironomus*, *Simulium*- und andere Mückenlarven und -puppen, *Limnaea ovata*.

#### e) Becken und Rinne 4

Die Untersuchung des stagnierenden Wassers im Becken beschränkte sich auf chemische Untersuchungen des Oberflächenwassers und eine stichprobenartige Planktonuntersuchung gegen das Ende der Versuchsperiode. Dabei zeigte

sich, dass es wünschenswert gewesen wäre, auch die tiefste Wasserschicht in die Untersuchung miteinzubeziehen und das Plankton regelmässig zu untersuchen. Die chemische Untersuchung des Oberflächenwassers gibt indessen interessante Vergleichsmöglichkeiten mit dem fliessenden Wasser von Rinne 4.

Das Oberflächenwasser des Beckens wies einen niedrigen Sauerstoffgehalt auf, der nach 48stündigem Stehen aufgezehrt war, was bei dem hohen biochemischen Sauerstoffbedarf (infolge sekundärer Verunreinigung) verständlich ist (Tab. 1). Auch der hohe Ammoniakgehalt des Wassers deutete an, dass die Lebensbedingungen für aerophile Organismen gefährdet waren. Das ständige Erneuern des Wassers (Aufenthaltszeit: 21 Std. 42 Min.) verhinderte aber einen weitergehenden Sauerstoffschwund, sodass sich in der ersten Hälfte der Versuchsperiode massenhaft *Daphnien* entwickeln konnten.

Gegen Ende unserer Versuchsperiode verschwand mit dem Überhandnehmen der herbstlichen Witterung *Daphnia* vollständig. In einem Planktonfang vom 12. Okt. 1943 bestimmten wir *Oscillatoria rubescens*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa* (alle aus dem Zürichsee stammend), *Closterium moniliferum*, *Euplotes charon*, *Paramaecium caudatum* (beide sehr häufig), *Stentor coeruleus*, *Nassula aurea*, *Hemiophrys*, *Rotifer vulgaris*, *Keratella cochlearis* (ev. aus Zürichsee), *Chromogaster testudo*, *Catypna luna* und *Nauplien*, also ausser den Zürichseep planktern vorwiegend Organismen des nährstoffreichen Wassers.

Vom Abfluss des Beckens bis zur oberen Probenahmestelle der Rinne 4 war das Wasser gut mit Luft in Berührung, sodass sein Sauerstoffgehalt wesentlich stieg (Tab. 1). Hand in Hand damit verkleinerten sich die Sauerstoffzehrung, der biochemische Sauerstoffbedarf und der Ammoniakgehalt. Im ganzen waren aber die chemischen Verhältnisse im obersten Teil der Rinne 4 eher ungünstiger als in Rinne 2 und 3, was wir nicht zuletzt auf die absterbenden Planktonmassen zurückführen.

Da die Fliesszeit des Wassers in Rinne 4 rund 40 Minuten betrug, war eine energische Selbstreinigung möglich, die deutlich zum Ausdruck kommt in der Abnahme der Sauerstoffzehrung, des biochemischen Sauerstoffbedarfes, des Kaliumpermanganatverbrauches, des Ammoniakgehaltes (!) und des *Folin*wertes. Entsprechend nahmen Nitrat- und Nitritgehalt stark zu; sogar der Sauerstoffgehalt des Wassers erhöhte sich, was vor allem auf die rege Assimilationstätigkeit der überreichlich vorhandenen grünen Algenfäden zurückzuführen ist.

An Organismen bemerkten wir nur im oberen Teil der Rinne *Oscillatoria rubescens* (aus dem Zürichsee), *O. anguina* (auf feuchten Steinen), *Naviculeen*, *Gloeocystis vesiculosa*, *Stentor roeseli*, *Chaetonotus maximus*, *Hemiophrys*, *Lacrymaria olor*, *Tachysoma (Oxytricha) pellionella*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Hydra*, *Oligochaeten*, *Rotifer vulgaris* und *Orthocladus*; nur im unteren Teil *Cosmarium cf. quadrum*, *C. botrytis*, *Staurostrum Bieneanum*, *Synedra ulna*, *Hormidium rivulare*, *Stigeoclonium cf. amoenum*, *Coleps hirtus*, *Askenasia vol-*

vox, *Frontonia leucas* (frass *Closterium moniliferum*); im oberen und im unteren Teil der Rinne *Spirogyra* (im unteren Teil viel häufiger), *Closterium moniliferum*, *Cladophora*, *Oedogonium*, *Vaucheria* (besonders im oberen Teil), *Pediastrum Boryanum*, *Scenedesmus obliquus* (und andere Arten), *Fontinalis antipyretica*, *Euplotes charon* (im unteren Teil der Rinne Zoochloellenhaltig), *Vorticella*, *Catypna luna*, *Colurus lepus*, *Heterocypris congruens*, *Cyclops fimbriatus*, Wassermilben, *Calliophrys riparia*, *Procloëon bifidum*, *Chironomus* und andere Mückenlarven und -puppen, *Planorbis vortex* und *Limnaea ovata*.

#### 5. Auffällige Schwankungen in der Besiedelung während der Versuchszeit

Schwankungen in der Besiedelung können bedingt sein durch Veränderungen im Chemosismus des Wassers, durch Veränderung von physikalischen Bedingungen wie Temperatur, Belichtung, Zufuhr von festen Stoffen (z. B. bei Hochwasser), oder durch Veränderung in der Zufuhr lebender Organismen (Veränderung des Potamoplanktons). Da diese und andere Faktoren in ständigem Wechselspiel einwirkten, ist eine Veränderung in der Biocoenose mit aller Vorsicht zu beurteilen.

##### a) Limmatwasser

Im obersten Teil der Versuchsrinnen, in dem reines Limmatwasser floss, bemerkten wir während der Versuchszeit als wesentlichste Veränderung eine starke Zunahme kleinster Kieselalgen (*Naviculæen*) in der Zeit von mitte Oktober bis anfangs November. Gleichzeitig nahm die Zahl der Mückenlarven und Puppen ab. Diese Veränderungen sind jahreszeitlich bedingt.

Es sei hier noch erwähnt, dass die Algenfäden von *Cladophora* und *Oedogonium* im reinen Limmatwasser eine nur gelbgrüne Farbe aufwiesen, während sie im Mischwasser der Versuchsrinnen kräftig dunkel- oder saftgrün waren. — Gelegentlich enthielt das Limmatwasser kleine Fischchen, die sich aber im Gewirr der Fadenalgen verfangen und starben.

##### b) Rinne 1

In Rinne 1 waren während der Versuchszeit die Schwankungen in der Besiedelung am grössten und am meisten in die Augen fallend, da in dieser Rinne *Sphaerotilus natans* sich zeitweise stark ausbreitete, zeitweise zurücktrat und Grünalgenfäden Platz machte.

Im allgemeinen war das oberste Drittel der Rinne dicht mit *Sphaerotilus* bewachsen; im mittleren Drittel hielten sich *Sphaerotilus*zotten und Grünalgenfäden ungefähr die Waage, während im unteren Drittel Grünalgenfäden dominierten. Es würde zu weit führen, anhand unserer Einzelprotokolle auf alle Schwankungen in der Besiedelung hinzuweisen. Wir heben deshalb nur die extremsten Veränderungen hervor.

Ende September ging nach einer Schönwetterperiode *Sphaerotilus* sehr zurück, sodass sich die ganze Rinne vorwiegend mit grünen Fadenalgen (besonders *Oedogonium* und *Cladophora*) auskleidete. Interessanterweise waren bei der chemischen Wasseruntersuchung vom 28. September die Oxydierbarkeit mit 15,8 mg/l und der biochemische Sauerstoffbedarf mit 12 mg/l sehr niedrig. Man darf deshalb annehmen, dass der Rückgang von *Sphaerotilus* in direkter Beziehung mit der Verbesserung der Wasserqualität stand; die damals gute Besonnung mag die Entwicklung der Grünalgen in hohem Masse erleichtert haben.

Andererseits dehnten sich die *Sphaerotilus*-Rasen am 28. Oktober bis ans Ende der Rinne 1 aus, die Grünalgen dort zurückdämmend. Aus den Einzelwerten der chemischen Protokolle geht hervor, dass am 19. Oktober die Oxydierbarkeit mit 47,4 mg/l und der biochemische Sauerstoffbedarf mit 25 mg/l verhältnismässig hoch waren. Auch in diesem Falle lässt sich die veränderte Biologie des Rinnenwassers mit dem veränderten Chemismus erklären. Die Veränderung im Chemismus des Rinnenwassers rührt weniger von der Veränderung des Verdünnungswassers her (das Limmatwasser hatte an den acht Probenahmetagen eine ausgeglichene chemische Beschaffenheit), als von der mit der Witterung zusammenhängenden Veränderung der Konzentration des Abwassers.

Ein Charakterorganismus für ein bestimmtes Milieu war bei den biologischen Untersuchungen an Rinne 1 die *Protozoe Carchesium polypinum*. Dort, wo in Rinne 1 beim Abwärtsfliessen des Wassers die Lebensbedingungen für *Sphaerotilus* infolge von Selbstreinigung aufhörten, begann eine reichliche Entwicklung von *Carchesium polypinum*. Parallel mit der Ausbreitung von *Sphaerotilus* verkleinerte sich somit die Zone der *Carchesium*-Rasen.

Ein Leitorganismus für nährstoffreiches Milieu war in Rinne 1 — wenn in Masse auftretend — *Paramaecium caudatum*. Wir fanden die *Protozoe* immer reichlich im obersten Teil der Rinne und nur am 28. Oktober auch im untersten Teil häufig, zu einer Zeit also, in der das Milieuspektrum der ganzen Rinne 1 wie erwähnt gegen polysaprob hinneigte.

Wir möchten aber betonen, dass dieser *Protozoe* für die Beurteilung des Trophiestandards nur dann eine wesentliche Bedeutung zukommt, wenn sie in Massen auftritt.

### c) Rinnen 2 und 3

Im obersten Teil dieser beiden Rinnen lebten im allgemeinen reichlich entwickelte Gesellschaften von Algen und tierischen Organismen, deren wichtigste Bestandteile wir bereits angegeben haben. An zwei Untersuchungstagen (am 14. September und am 12. Oktober) beobachteten wir jedoch, dass ein Teil der tierischen Organismen, vor allem eine Anzahl von Mückenlarven und Schnecken, tot war. Da *Sphaerotilus*-bildungen auch nicht in geringen Mengen auftraten, ist eine kurzfristige Verschlechterung der Lebensbedingungen zu vermuten, z. B. dass als Folge des Nährstoff- und Sauerstoffreichtums eine Überproduktion an

Organismen entstand. Ein geringes Absinken des Sauerstoffgehaltes oder eine durch die Strömung entstehende Verlagerung der Algenfäden konnte dann genügen, um spontan zu einem Massensterben zu führen, worauf die überlebenden Organismen bei günstigeren Bedingungen sich sofort wieder ausbreiteten. Von einer grundlegenden Veränderung der Biocoenose kann in diesem Falle nicht gesprochen werden. Zu erwähnen ist in beiden Rinnen die jahreszeitlich bedingte Zunahme der Kieselalgen gegen Ende der Versuchsperiode.

#### *d) Becken und Rinne 4*

Obschon wir das Wasser des Beckens nicht regelmässig biologisch untersuchten, fiel uns auf, wie das anfänglich vorhandene überreich *Daphnien* enthaltende Plankton seine Zusammensetzung gegen Ende Oktober grundlegend änderte, indem die Krebschen fast ganz verschwanden und an ihre Stelle *Protozoen* und Rädertiere traten.

Die Vorreinigung des die Rinne 4 speisenden Wassers in einem Becken («Ausgleichbecken») genügte, um grössere Schwankungen in der Besiedelung der Rinne zu verhindern. Mit Eintreten der herbstlichen Witterung vermehrten sich auch in dieser Rinne die Kieselalgen.

### *6. Über Beziehungen zwischen Abwasserbeschaffenheit (Konzentration), Chemismus und Biologie des Milieus (Stufengliederung)*

Wir sind uns bewusst, dass wir in diesem Kapitel Fragen anschneiden, deren Lösung zu den schwierigsten Aufgaben der Hydrobiologie gehört. Unsere Ausführungen, die erst auf wenigen Untersuchungen basieren, können deshalb nicht mehr sein als bescheidene Bausteine, die helfen sollen, die Kenntnisse über die Saprobienstufen und das Saprobien-system zu erweitern.

Das von *Kolkwitz* und *Marsson* vor vierzig Jahren aufgestellte Saprobien-system ist oft angefochten worden; Gründe dafür legt *Liebmann* (1942) dar. Zur Abgrenzung der Saprobienstufen ziehen *Kolkwitz* und *Marsson* chemische Begriffe bei (Oxydationsstufen) und geben damit zu, wie wichtig das Zusammenspiel von Chemie und Biologie für die Gewässerbeurteilung ist. Leider ist seither das Saprobien-system nicht in wünschenswerter Weise chemisch untermauert worden, sodass hier für die angewandte Hydrobiologie noch eine grosse Lücke klafft.

Chemische Untersuchungen haben deshalb in Verbindung mit biologischen Untersuchungen abzuklären, in welchem Bereich sich die Wasserbeschaffenheit ändern kann, bis einerseits die Lebensbedingungen der Einzelorganismen aufhören, und bis anderseits eine Saprobienstufe in die andere übergeht. Da in fliessenden Gewässern die chemische Wasserbeschaffenheit grossen Schwankungen unterliegt, wird man immer mit Mittelwerten aus zahlreichen Untersuchungen arbeiten müssen.

### a) Die polysaprobe Stufe

Zum Studium polysaprober Verhältnisse liessen wir vom 4. bis 11. November 1943 in den Rinnen 1 bis 3 nur unverdünntes Abwasser fliessen (2,0 l/sec), nämlich in Rinne 1 mechanisch gereinigtes, in Rinne 2 nach des Z-Verfahren teilgereinigtes, in Rinne 3 nach dem Z-Verfahren teilgereinigtes und nachbelüftetes Abwasser. Die Besiedelung der Rinnen, die wir im Folgenden mit A (= 1), B (= 2) und C (= 3) bezeichnen, änderte sich dabei grundlegend.

In Rinne A waren die Verhältnisse bedeutend ungünstiger als in den Rinnen B und C. In allen drei Rinnen fehlten Nitrate und Nitrite fast ganz. Es betrugen im oberen Teil der Rinne A (eingeklammert im unteren Teil): Sauerstoffgehalt 4,1 mg/l (1,4 mg/l), Sauerstoffsättigung 38 % (12 %), Biochemischer Sauerstoffbedarf 84 mg/l (86 mg/l), Kohlensäure 2,0 mg/l (5,0 mg/l), Kaliumpermanganatverbrauch 193 mg/l (180 mg/l), Ammoniak 35 mg/l (33 mg/l), *Folinwert* 8 mg/l (8 mg/l), elektr. Leitfähigkeit  $725 \cdot 10^{-6}$  rez. Ohm ( $705 \cdot 10^{-6}$  rez. Ohm). Boden und Wände der Rinne waren mit dicken Bakterien- und Detritusüberzügen bekleidet, sodass sich nicht einmal *Sphaerotilus* in grösserer Menge ansiedeln konnte. *Flagellaten* (z. B. *Chromulina*) waren spärlich vorhanden und *Protozoen* fehlten fast ganz. Vereinzelt lebten noch *Chironomuslarven* und *Nematoden*.

In Rinne B wurden bestimmt: Sauerstoffgehalt 2,2 mg/l (2,5 mg/l), Sauerstoffsättigung 21 % (24 %), Biochemischer Sauerstoffbedarf 35 mg/l (44 mg/l), Kohlensäure 7,0 mg/l (8,0 mg/l), Kaliumpermanganatverbrauch 88,5 mg/l (72,7 mg/l), Ammoniak 18 mg/l (17 mg/l), *Folinwert* 3 mg/l (2 mg/l), elektr. Leitfähigkeit  $580 \cdot 10^{-6}$  rez. Ohm ( $560 \cdot 10^{-6}$  rez. Ohm). Aus einer grösseren Anzahl von Versuchen berechnete die Beratungsstelle für das der Rinne zufließende Abwasser folgende Mittelwerte: Biochemischer Sauerstoffbedarf 40 mg/l, Kaliumpermanganatverbrauch 80 mg/l, Ammoniak 12 mg/l, *Folinwert* 3 mg/l, Nitrat 0,5 mg/l, Nitrit Spur. Wie in Rinne A überwogen auch in Rinne B Bakterienüberzüge, doch war *Sphaerotilus* im unteren Teil schon reichlicher vorhanden. Ausser *Flagellaten* (*Chromulina*) fanden wir häufig *Colpidium colpoda*, *Chilodon cucullus*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Glaucoma scintillans* und besonders im unteren Teil *Paramaecium caudatum*, vereinzelt auch *Chironomuslarven*.

Die chemischen Zahlen für Rinne C waren etwas günstiger als für Rinne B: Sauerstoffgehalt 7,3 mg/l (4,1 mg/l), Sauerstoffsättigung 68 % (38 %), Biochemischer Sauerstoffbedarf 15 mg/l, Kohlensäure 6,0 mg/l (7,0 mg/l), Kaliumpermanganatverbrauch 63,2 mg/l (66,4 mg/l), Ammoniak 15 mg/l (17 mg/l), *Folinwert* 2 mg/l (2 mg/l), elektr. Leitfähigkeit  $566 \cdot 10^{-6}$  rez. Ohm ( $580 \cdot 10^{-6}$  rez. Ohm). Mittelwerte aus einer grösseren Zahl von Untersuchungen sind nach Angaben der Beratungsstelle: Biochemischer Sauerstoffbedarf 35 mg/l, Kaliumpermanganatverbrauch 70 mg/l, Ammoniak 10 mg/l, *Folinwert* 3 mg/l, Nitrat bis 0,7 mg/l, Nitrit Spur. Auch Rinne C enthielt noch Bakterien- und Detritusüberzüge und erst wenig *Sphaerotilus*, aber die Zahl der *Ciliaten* war weiter gestiegen. Am häufigsten traten *Paramaecium caudatum* und *Colpidium colpoda*

auf, ferner *Cinetochilum margaritaceum*, *Chilodonella cucullus*, *Oxytricha fallax*, *Vorticella*, *Glaucoma scintillans* und im untersten Teil der Rinne auch *Linotus lamella* und *Euplotes charon*.

Berücksichtigt man neben diesen drei Biotopen noch die vorher dargelegten Untersuchungen am obersten Teil der Rinne 1 (mit Verdünnungswasser), der während der Versuchszeit meist ebenfalls ein polysaprobies Milieu bildete, so erkennt man bereits die grosse Spannweite des Begriffes «polysaprob» vom chemischen Standpunkt aus. Biologisch lassen sich drei Zwischenstufen einfügen: eine *Bakterienstufe* (mit wenig *Sphaerotilus* und wenig *Ciliaten*), eine *Ciliatenstufe* (mit wenig *Sphaerotilus*) und schliesslich eine typische *Sphaerotilusstufe*, die zur mesosaprobien Stufe überführt. Die chemische Abgrenzung der *Sphaerotilusstufe* ist nach unseren Erfahrungen in Versuchsverhältnissen und in der Natur nicht ohne weiteres gleich (vgl. auch Mahr, 1936, S. 201, und Tiegs, 1939).

Mit allen Vorbehalten lässt sich aus den vorliegenden Untersuchungen eine Tabelle aufstellen, in der die chemischen und biologischen Beobachtungen zusammengefasst sind:

#### *Polysaprobe Stufe*

Bestehend aus	1. Bakterienstufe	2. Ciliatenstufe	3. Sphaerotilusstufe
Sauerstoffgehalt mg/l	bis 4	bis 4	bis 8 und mehr
Biochem. Sauerstoffbedarf mg/l	60 und mehr	60 bis 30	30 bis 20 (15)
Kaliumpermanganatverbrauch mg/l	100 und mehr	100 bis 40	40 bis 25 und weniger
Ammoniak mg/l	30 und mehr	30 bis 10	10 bis 3
Folinwert mg/l	3 und mehr	3 bis 2	2 und weniger
Nitrat mg/l	0,1 und weniger	0,1	0,3

Diese Darstellung will erst ein Versuch sein und bezieht sich auf das in Selbstreinigung begriffene Abwasser der Stadt Zürich; bei rein industriellem Abwasser sind grössere Abweichungen zu erwarten. Vor einer praktischen Anwendung sind diese Zahlen durch neue Untersuchungen sicherzustellen, bzw. zu verfeinern. Sie geben Anhaltspunkte über die Spannweite einiger chemischer Bedingungen für die polysaprobe Zone und ihre Unterstufen. Es wäre wünschenswert, die polysaprobe Zone auch durch Beiziehen weiterer chemischer Methoden genauer abzugrenzen.

Für unsere Selbstreinigungsversuche mit fliessendem Wasser bedeutet es eine erfreuliche Bestätigung, dass Nitardy (1942, S. 40) bei stehendem Abwasser, das einen Selbstreinigungsprozess durchmacht, drei gleiche Stufen beobachtet hat, die er folgendermassen abgrenzt: 1. *Bakterien* und *Flagellaten*, 2. *Ciliaten*,

3. *Pilze, Amoeben und Metazoen*. Leider fehlen bei diesem Autor Angaben über den Sauerstoffgehalt des Wassers. Gegenüber Versuchen mit stehendem Wasser haben Versuche mit fliessendem Wasser den Vorteil, dass von den wichtigsten Organismen ständig Impfmateriel vorhanden ist, die Biocoenosen also gleichlaufend mit dem Selbstreinigungsvorgang wechseln können; nachteilig ist anderseits der unter Umständen rasche Wechsel der Milieufaktoren.

Um bei der grossen Spannweite der polysaprobien Zone ein bestimmtes polysaprobies Milieu besser beschreiben zu können, scheint uns eine Gliederung der polysaprobien Zone in drei Teilstufen zweckmässig. Wir schlagen vor, diese Stufen aus Analogiegründen als  $\alpha$ -polysaprob (= *Bakterienstufe*),  $\beta$ -polysaprob (= *Ciliatenstufe*) und  $\gamma$ -polysaprob (= *Sphaerotilusstufe*) zu bezeichnen.

#### b) Die $\alpha$ -mesosaprobe Stufe

In Rinne 1 war der Beginn der  $\alpha$ -mesosaprobien Zone meist deutlich erkennbar an der Abnahme von *Sphaerotilus* und am Auftreten von Strängen grüner Fadenalgen (vor allem *Cladophora* und *Oedogonium*). Als charakteristische Protozoen entwickelte sich in dieser Saprobienstufe *Carchesium polypinum* in grossen Massen. Kolkwitz und Marsson (1909) bezeichneten diese Art zwar als oligosaprob bis  $\beta$ -mesosaprob und *Carchesium lachmanni* (= *C. spectabile* Ehrb.-Claparède) als  $\alpha$ -mesosaprob. Der ausgezeichnete Ciliatenkenner Kahl (1932) hält aber *C. lachmanni* nur für eine Modifikation von *C. polypinum*, so dass diese Differenzierung von Kolkwitz und Marsson hinfällig wird.

Da bei unseren Versuchen *Carchesium polypinum* auch im obersten Teil von Rinne 2 und 3 in Massen auftrat und bei reinerem Milieu allmählich verschwand, darf die Ciliate für die vorliegenden Verhältnisse als Leitorganismus der  $\alpha$ -mesosaprobien Stufe gelten, wenn sie massenhaft und gleichzeitig mit Grünalgen auftritt (vgl. auch Helfer, 1938, S. 186). Als bedeutsam für die  $\alpha$ -mesosaprobe Stufe (oder reineres Wasser) halten wir nach unseren Rinnenversuchen ferner *Paramaecium trichium* und *P. putrinum*, *Rotifer vulgaris* (wenn häufig), *Chaetogaster diaphanus*, *Helobdella stagnalis*, *Planaria torva*, *Cyclops fimbriatus*, *Gammarus pulex* und *Limnaea ovata*.

Als angenäherte chemische Abgrenzung würden wir auf Grund der Rinnenversuche folgende Zahlen für die  $\alpha$ -mesosaprobe Zone angeben:

Sauerstoffgehalt mg/l	4 bis 8 und mehr
Biochem. Sauerstoffbedarf mg/l	15 bis 5 mg/l
Kaliumpermanganatverbrauch mg/l	25 bis 15 und weniger
Ammoniak mg/l	3 bis 2
Folinwert mg/l	1 und weniger
Nitrat mg/l	0,3 und mehr

Für die Anwendung dieser Werte gilt das unter a) Gesagte.

### c) Die $\beta$ -mesosaprobe Stufe

In den Rinnen 2 und 3 liess sich mit chemischen und biologischen Methoden vom oberen bis zum unteren Teil eine Verbesserung der Verhältnisse durch Selbstreinigung feststellen, so dass das im oberen Teil  $\alpha$ -mesosaprobe Wasser im unteren Teil die  $\beta$ -mesosaprobe Stufe erreichte.

In biologischer Beziehung fiel das Zurücktreten mancher unter b) genannter Formen auf, speziell von *Carchesium polypinum*. Häufig vorhanden waren *Closterium moniliferum*, *Cosmarium laeve*, *C. polygonum*, *C. botrytis*, *Staurastrum Bieneanum*, *Mougeotia*, *Spirogyra*. Unter den tierischen Organismen scheinen uns bemerkenswert *Euchlanis macrura*, *Stylaria lacustris*, das häufige Auftreten von *Heterocypris congruens* (geht bis in die  $\alpha$ -mesosaprobe Stufe), *Alona quadrangularis*, *Planorbis vortex* (geht bis in die  $\alpha$ -mesosaprobe Stufe) und *Procloëon bifidum*.

Für eine auch nur angenäherte chemische Umschreibung dieser Zone scheint uns das vorliegende Zahlenmaterial nicht zu genügen.

### d) Die oligosaprobe Stufe

Im unteren Teil der Rinne 4 wurde teilweise die oligosaprobe Stufe erreicht, d. h. die Oxydationsprozesse waren in dieser Zone im allgemeinen schon weit fortgeschritten, was nach Tabelle 1 (und den Einzelprotokollen) an der Zunahme des Sauerstoffgehaltes, der starken Abnahme von Sauerstoffzehrung, biochemischem Sauerstoffbedarf und Ammoniakgehalt und an der Zunahme des Nitratgehaltes erkennbar ist. Das Auftreten rein oligosaprober Verhältnisse wurde aber durch Selbstverunreinigung verhindert, indem in der Rinne stets ein grösserer Teil der Organismen abstarb und neue Nährstoffe bildete. Nähere Angaben über die oligosaprobe Stufe sind deshalb auf Grund unserer Versuche nicht möglich.

## 7. Schlussbetrachtungen

In Versuchsrinnen von 80 m Länge und ca. 40 cm Breite wurde durch chemische und biologische Untersuchungen von Zulauf und Ablauf die Selbstreinigung von zehnfach mit Flusswasser verdünntem Abwasser beobachtet, wobei erhebliche Reinigungseffekte auftraten. Auch im unverdünnten, mechanisch oder biologisch gereinigten Abwasser liess sich auf der kurzen Fliesstrecke eine Selbstreinigung beobachten.

Die bei den Versuchen innegehaltene zehnfache Verdünnung entspricht ungefähr der Verdünnung des in die Limmat geleiteten Abwassers der Stadt Zürich in Zeiten ungünstiger Wasserführung. Nach unseren Untersuchungen zu schliessen, verschwindet *Sphaerotilus* in der Limmat, wenn das Abwasser der Stadt Zürich vor der Einleitung in die Limmat wie bei unseren Versuchen nach dem Z-Verfahren teilgereinigt wird. Ob andere Reinigungsverfahren wirtschaftlich oder reinigungstechnisch günstiger sind, bleibt noch zu prüfen.

Auf Grund von chemischen und gleichzeitig biologischen Untersuchungen verschiedener Biotope versuchten wir, für die Saprobienstufen des *Kolkwitz-Marssonschen* Systems eine chemische Charakterisierung zu finden. Die angegebenen Grenzzahlen bedürfen indessen noch der Bestätigung durch weitere Versuche. Dies gilt auch für die gefundenen Grenzen der Lebensbedingungen verschiedener Einzelorganismen, besonders von *Sphaerotilus*. Eine Unterteilung der polysaprobe Zone in eine  $\alpha$ -polysaprobe (*Bakterienstufe*), eine  $\beta$ -polysaprobe (*Ciliatenstufe*) und eine  $\gamma$ -polysaprobe Stufe (*Sphaerotilusstufe*) scheint sich als vorteilhaft zu erweisen.

Die vorliegenden Untersuchungen greifen grundlegende Probleme der Abwasserkunde heraus, ohne vorläufig allgemeingültige Schlussfolgerungen zu ermöglichen. Hierzu sind vermehrte Untersuchungen nötig. So ist anzunehmen, dass der Selbstreinigungsprozess auf kurzer Strecke zu anderen Jahreszeiten anders verläuft, wie auch die Biocoenosen sich stark ändern. Für die Übertragung von Versuchsergebnissen auf natürliche Verhältnisse ist besondere Vorsicht am Platze (vgl. auch *Kuhlmann*, 1911).

Möglicherweise könnte die Selbstreinigungskraft in den Rinnen gesteigert werden, indem täglich ein Teil der Organismen (Fadenalgen usw.) entfernt wird. Zu prüfen wäre ferner durch Dauerprobenahmen die Veränderung der Selbstreinigung im Verlaufe von 24 Stunden und ihre Grösse in vollständig verdunkelten Rinnen. Für die Technik der Abwasserreinigung ergeben sich hieraus neue Gesichtspunkte.

Um über die Lebensbedingungen von *Sphaerotilus* weitere Auskunft zu erhalten, ist es empfehlenswert, seine Entwicklung in Rinnen bei Zugabe von bestimmten Stoffen zu beobachten (z. B. Nitrat, Harnstoff, Aminosäuren, Eiweisse, Kohlehydrate usw.), und es sind im Abwasser Wuchsstoffbestimmungen durchzuführen (vgl. *Tiegs*, 1939, S. 84).

Von besonderer Bedeutung können Rinnenversuche sein für die Prüfung des Reinigungseffektes von verschiedenen Reinigungsverfahren, weil man dabei den im Vorfluter zu erwartenden Einfluss des Abwassers unmittelbar beobachten kann.

Ein Hauptziel kommender Untersuchungen wird schliesslich sein, mit Hilfe von chemischen, physikalischen, bakteriologischen und biologischen Methoden die verschiedenen Saprobienstufen genau zu umgrenzen.

### *Zusammenfassung*

Beim Durchfliessen von zehnfach verdünntem Abwasser durch 80 m lange Versuchsrinnen fand eine Selbstreinigung statt, die durch chemische und biologische Untersuchungen erfassbar war. Um die Methodik für die Beurteilung des Reinheitsgrades fliessender Gewässer zu verfeinern, wurde versucht, die chemischen und biologischen Untersuchungsergebnisse in enge Beziehung miteinander zu bringen (chemische Charakterisierung des Saprobien-Systems von *Kolkwitz* und *Marsson*). Die Untersuchungen zeigen Wege für die Prüfung des Reinigungseffektes von Abwasser-Reinigungsanlagen und geben Anregungen zu dessen Verbesserung.

### *Résumé*

Lors de l'écoulement d'eaux d'égouts diluées 10 fois dans des conduits d'essai de 80 m de long eut lieu une purification automatique, qui fut démontrée par des analyses chimiques et biologiques. Pour améliorer la méthode de jugement du degré de pureté des eaux courantes on a essayé de mettre en relation étroite les résultats des analyses chimiques et biologiques (caractéristique chimique du système Saprobien de *Kolkwitz* et *Marsson*). Les analyses indiquent des voies pour l'examen de l'effet purificateur d'installations de purification d'eaux d'égout et donnent l'impulsion pour leur amélioration.

## Literatur

- C. Blacher, P. Grünberg, M. Kissa, 1925: Das Wasser in der Dampf- und Wärmetechnik (Leipzig: Otto Spamer).
- G. Blöchliger und W. Husmann, 1939: Beitrag zur Kenntnis der Wachstumsbedingungen von Abwasserpilzen in fließenden Gewässern (Z. f. Hydrologie, 1939, VIII. Bd., S. 55—61).
- O. Bujwid, 1894: Indol als Reagens auf Nitrite (Chemiker-Zeitung, 21, S. 364).
- H. Helfer, 1938: Die biologische Gewässeruntersuchung, ihre Entwicklung, Ausübung und Bedeutung (Kl. Mitt. Ver. Wasser-, Boden-, Lufthygiene, 14. Jahrg., S. 177-193).
- G. Huber-Pestalozzi, 1916: Bericht über biologische Untersuchungen des Limmatwassers (Genossenschaftsdruckerei Zürich, 10 S.).
- W. Husmann, 1936: Über die Versuche zur Feinreinigung der Abwässer aus der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich (Ges. Ing., 59, S. 281—284).
- A. Kahl, 1930/32: Urtiere oder Protozoa, I. Ciliata (Tierwelt Deutschlands, begr. von F. Dahl, Jena: Gust. Fischer).
- H. Klut, 1943: Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle (Berlin: Jul. Springer).
- F. Kohlrausch, 1935: Praktische Physik (Leipzig und Berlin: Teubner).
- R. Kolkwitz und M. Marsson, 1902: Grundsätze für die Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna (Kl. Mitt. d. kgl. Prüfungsanst. f. Wasservers. und Abwasserbes., 1., 33—72).
- 1908: Ökologie der pflanzlichen Saprobien (Ber. dtsh. bot. Ges., 26, 505—519).
- 1909: Ökologie der tierischen Saprobien (Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr., 2., S. 126—152).
- J. Kuhlmann, 1911: Die chemische Zusammensetzung und das biologische Verhalten der Gewässer (Diss., Merseburg).
- H. F. Kuisel, 1934: Neue Methoden in der Wasseranalyse (Helv. chim. acta, Vol. XVIII, S. 178—200).
- H. Liebmann, 1942: Die Bedeutung der mikroskopischen Untersuchung für die biologische Wasseranalyse (Vom Wasser, XV. Bd., S. 181—188).
- H. Limanowska, 1911: Die Algenflora der Limmat (Arch. f. Hydrobiol. u. Planktonkunde, Bd. VII, Diss.).
- G. Mahr, 1936: Versuche zur Selbstreinigung von Gewässern (Vom Wasser, XI, S. 198—213).
- Fr. Mohr, 1886: Lehrbuch der chemisch-analytischen Titrimethoden (Braunschweig: Vieweg und Sohn).
- E. Nitardy, 1942: Der Selbstreinigungsprozess des Rohabwassers im Laboratoriumsversuch; Vergleich der biologischen und chemisch-physikalischen Befunde (Kl. Mitt. Ver. f. Wasser-, Boden-, Lufthygiene, Berlin, 18, S. 13—41).
- Ohlmüller-Spitta, 1931: Untersuchung und Beurteilung des Wassers und Abwassers (Berlin: Jul. Springer).
- P. Steinmann und G. Surbeck, 1918: Die Wirkung organischer Verunreinigungen auf die Fauna schweizerischer fließender Gewässer (Bern: Buehler & Co., 452 S.).
- E. Tiegs, 1939: Abwasserpilze und Wasserbeschaffenheit (Vom Wasser, XIII, S. 78—86).
- E. Waser, W. Husmann und G. Blöchliger, 1938: (Vom Wasser, XII, S. 181—245).