

# Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärprodukten in Fließwässern, ein limnologisches Problem

Von

EUGEN A. THOMAS und FERDINAND SCHANZ

## 1. Einleitung

Der Kanton Zürich hat für die Erstellung von Abwasserreinigungsanlagen schon beträchtliche Aufwendungen gemacht und vor allem in hygienischer Hinsicht beachtenswerte Erfolge erreicht. Indessen lässt die Biologie mancher Gewässer sehr zu wünschen übrig. Von politischer Seite ist sowohl auf die Verkrautung des Rheines als auch auf die Veralgung von Bächen und kleinen Flüssen hingewiesen worden. In der eidgenössischen «Verordnung über Abwassereinleitungen» (vom 8. Dezember 1975) ist in Art. 1.2 unter anderem festgelegt: «Lästige Wucherungen von Algen und höheren Wasserpflanzen sollen nicht auftreten.»

Aus dem Zweckartikel (Art. 2) des «Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung», vom 8. Oktober 1971, geht hervor, dass die Qualitätsanforderungen an die Gewässer sich nach der Vorsorge für die Gesundheit von Mensch und Tier sowie den Nutzungsanforderungen des Wassers und dem Schutz von Natur und Landschaft zu richten haben. Wucherungen von Algen und höheren Wasserpflanzen in fließenden Gewässern ziehen aber eine ganze Reihe von schädlichen Folgen nach sich, die kürzlich aufgezählt und besprochen wurden (THOMAS, 1975). Leider ist die Sanierung zürcherischer Gewässer durch Wucherungen von Algen und gewissen Arten von Wasserpflanzen überschattet; der kantonalen Verwaltung erwächst daraus ein Problem.

## 2. Primärprodukte und Wasserchemismus in Fließwässern; Problemstellung

Kurz nach dem Zweiten Weltkrieg haben wir für den damals noch typisch oligotrophen Walensee nachgewiesen, dass sein Phosphatgehalt auch im Winter im Oberflächenwasser sehr niedrig war, sein Nitratgehalt dagegen mit 1,4 mg/l  $\text{NO}_3^-$  im Winter und Sommer hoch (THOMAS, 1949, S. 489 und Tabelle 1). Zahlreiche weitere Unter-

suchungen führten uns zur Überzeugung, dass eine Restriktion der Algenplagen an Seen am besten durch Drosselung der Phosphatzufuhr erfolgt (Zusammenfassung bei THOMAS, 1975, S. 273/74). Andererseits zeigten Untersuchungen über den Wasserchemismus schweizerischer Seen, dass in den letzten drei Jahrzehnten der Phosphatgehalt in den meisten Fällen stark zugenommen hat; parallel dazu nahm die Produktion von Plankton- und Uferalgen zu. Am Beispiel des Zürichsees wurde gezeigt, dass eine gründliche Abwasserreinigung mit weitgehender Reduktion der Abwasserphosphate wieder zu klarem und bläulichem Oberflächenwasser führte und dass sich gleichzeitig der Sauerstoffgehalt des Sees grundlegend verbesserte (THOMAS, 1971; THOMAS and WILDI, 1975).

Abgesehen von Quellbächen, ist in den besiedelten Gebieten auch der Zustand von Flüssen und Bächen vor und besonders nach dem Zweiten Weltkrieg durch massive Abwassereinleitungen in sehr unerwünschter Weise verändert worden. Dank der im Kanton Zürich durch das Kantonale Amt für Gewässerschutz und Wasserbau planmässig geförderten mechanisch-biologischen Abwasserreinigung gelang es zwar, die Biozönosen der fliessenden Gewässer so zu steuern, dass die typischen Verschmutzungsanzeiger zurücktreten oder verschwinden. Bei dieser Art der Abwasserreinigung bleiben aber im Abwasser grosse Mengen von mineralisierten Düngstoffen zurück, so dass solche Abwässer zu übermässigen Wucherungen von Algen oder Makrophyten (Wassermoosen und Blütenpflanzen) führen.

Auch an fliessenden Gewässern muss die Quantität der wuchernden Algen und Wasserpflanzen verkleinert werden. Wir sind der Auffassung, jede Verminderung der Phosphatzufuhr sei auch bei fliessenden Gewässern von Vorteil, je eher, je besser. Das Bestreben, den biologischen Zustand der fliessenden Gewässer zu verbessern, wird vorläufig noch dadurch gehemmt, dass einzelne Gewässerfachleute die Meinung vertreten, es sei noch zu wenig genau abgeklärt, welche unteren Grenzen von Düngstoffkonzentrationen in den fliessenden Gewässern schon zu Belästigungen und Schäden durch Pflanzenwucherungen führen.

In der Tat sind für den biologischen Bewuchs an einer bestimmten Stelle eines fliessenden Gewässers nicht die Stofffrachten verantwortlich, sondern erstrangig die Stoffkonzentrationen des durchfliessenden Wassers. So kann bei Hochwasser eine grosse Nährstofffracht abfliessen, ohne dass die Konzentration gross ist, also ohne dass die Primärproduzenten zu viel Nährstoffe erhalten.

Verglichen mit Seen, ist in Fliesswässern die Primärproduktion offensichtlich in höherem Masse von anderen Faktoren abhängig als dem Wasserchemismus. Aber in sehr vielen Fällen spielt auch hier der Wasserchemismus eine dominierende Rolle. Wie beim Wasser unverschmutzter Seen ist bei unverschmutzten Flüssen ein von Natur aus hoher Stickstoffgehalt zu erwarten, vor allem viel Nitrat. Auch bei Flüssen ist deshalb ursprünglich das Phosphat Minimumstoff, und auch für Fliesswässer gilt deshalb, dass eine Restriktion des übermässigen Wachstums von Primärproduzenten am besten durch eine Drosselung der Phosphatzufuhr erfolgt (THOMAS, 1962).

Im folgenden haben wir die Methode begründet und dargestellt, nach der wir für die Region des Kantons Zürich zu prüfen begannen, bei welchen Phosphat- bzw. Nitrat- oder Ammoniumkonzentrationen ein bereits lästiges oder schädliches Algenwachstum zu befürchten ist.

### 3. Das qualitative Saprobiensystem von Kolkwitz und Marsson

Für die Kenntnis der Ökologie der Wasserorganismen bildet das von KOLKWITZ und MARSSON (1902, 1908 und 1909) aufgestellte Saprobiensystem einen Markstein. Es wirkte vor allem für die Erforschung fließender Gewässer bis in die heutige Zeit hinein sehr anregend. «Auf Grund mikrobiologischer Analysen kamen die beiden Autoren dazu, einen Wasserleben-Standort (Hydrobiotop) je nach dem Vorhandensein von bestimmten Organismen als polysaprob,  $\alpha$ -mesosaprob,  $\beta$ -mesosaprob, oligosaprob oder katharob zu bezeichnen, womit sie eine Skala für den Nährstoffgehalt des Biotops schufen. Diese biologische Skala hat dann allerdings zu vielen Enttäuschungen geführt, weil die Organismen sich durchaus nicht immer an die aufgestellte Skala hielten» (THOMAS, 1943).

«Es ergibt sich daraus die Wünschbarkeit einer genaueren Präzisierung der verschiedenen Saprobienzonen. Dies kann dadurch geschehen, dass weniger qualitativ auf die Einzelorganismen, als auf die Organismengesellschaften und auf das quantitative Vorhandensein der einzelnen Vertreter geachtet wird. Dabei scheint es uns unerlässlich, dass zur Abgrenzung der Saprobienstufen auch chemische und bakteriologische Untersuchungen beigezogen werden. Erst dann wird es möglich sein, zu beurteilen, wie weit Organismen Aufschluss geben können über den Nährstoffgehalt des Wassers und wie weit andere Faktoren, wie zum Beispiel der Sauerstoffgehalt des Wassers, einen fördernden oder hemmenden Einfluss auf das Wachstum bestimmter Organismen ausüben» (THOMAS, 1943).

Frühe Studien an Versuchsrinnen mit verdünnten Abwässern (THOMAS, 1944) liessen es als zweckmässig erscheinen, die polysaprobe Zone aufzuteilen in eine Bakterienstufe ( $\alpha$ -polysaprob), eine Ciliatenstufe ( $\beta$ -polysaprob) und eine Sphaerotilusstufe ( $\gamma$ -polysaprob), und es gelang, einige chemische Parameter mit diesen Stufen zu verknüpfen (l. c., S. 213). Hingegen war es damals nicht möglich, die  $\alpha$ - und die  $\beta$ -mesosaprobe Zone mit chemischen Parametern abzugrenzen.

Dank der Gewässerschutzmassnahmen sind im Kanton Zürich Fließwasserstrecken mit polysaprobem Charakter so gut wie ganz verschwunden, und  $\alpha$ -mesosaprobe Zonen sind mit wenigen Ausnahmen ebenfalls in den  $\beta$ -mesosaproben Zustand übergegangen. Weil andererseits die Düngstoffzufuhr zu den Gewässern auch in den Landwirtschaftsgebieten zugenommen hat, sind die oligosaproben (und katharoben) Fließwasserstrecken viel seltener geworden. Die Bedeutung des Saprobiensystems von KOLKWITZ und MARSSON hat deshalb für die zürcherischen Gewässer stark abgenommen.

### 4. Die quantitative Erfassung der Primärproduktion in Fließwässern

Es wäre bei vielen Flüssen und Bächen erwünscht, die genaue Menge der primär produzierten Menge von Algen und Makrophyten zu kennen. Als Bestimmungsmethoden kommen in Betracht: die  $^{14}\text{C}$ -Methode von STEEMANN NIELSEN und die «Sauerstoffmethode» (Differenz von Hell- und Dunkelexposition). Diese beiden Methoden eignen sich jedoch wie die Sedimentationsmethode (Sedimentmesspfanne, THOMAS,

1955) vorwiegend für Bestimmungen in Seen, da viele Merkmale von Fließwässern noch nicht befriedigend berücksichtigt werden. Die Primärproduktion von Fließwässern ist ausser vom Wasserchemismus stark von anderen Faktoren abhängig wie Belichtung, Strömung, Wasserstandsschwankungen, Wassertemperatur, Gesteinsarten des Gewässerbettes, Geschiebebewegungen, Verbauung des Gewässerbettes, Austausch zwischen Grundwasser und Oberflächen-Fließwasser, Einfluss der Fauna. Experimente, die nicht im fließenden Wasser durchgeführt werden, sind deshalb nur bedingt mit den wirklichen Verhältnissen vergleichbar.

Betreffend Grössenordnung der Primärproduktion auf künstlichen Substraten verfügen wir über eigene Erfahrungen (unpubliziert); es finden sich aber auch zahlreiche Literaturangaben (vgl. SLADKOVA, 1962), so für den Kanton Zürich (Thur) bei MÖRGELI (1974). In günstigen Fällen mag es gelingen, auf Grund von systematischen Substratuntersuchungen den Zuwachs der Primärprodukte (ohne extrazelluläre Stoffe) in einem bestimmten Zeitabschnitt an begrenzten Stellen zu ermitteln. Die im Jahresverlauf unregelmässig auftretenden Hochwässer und die oft von Stein zu Stein sehr unregelmässigen Mengen von Algen stellen jedoch Nachteile auch dieser zeitraubenden Methodik dar. Den Vorgang der Primärproduktion in einem fließenden Gewässer einigermaßen genau zu erfassen, stellt somit eine schwierige Aufgabe dar. Einfacher, aber weniger naturnah ist die Ermittlung der Produktionskraft von Bachwasserproben in Laboratoriumskulturen.

## 5. Die quantitative Erfassung von Primärprodukten in Fließwässern

Wie erwähnt, ist die Bestimmung der Primärproduktion eines fließenden Gewässers schwierig und mit vielen Störfaktoren verbunden. Leichter und mit grösserer Genauigkeit kann die statische Menge der Primärprodukte (standing crop) bestimmt werden. In Betracht kommt, von einem Fluss- oder Bachbett die Phytomasse ausgewählter Musterflächen abzuernten und aus der Ernte einige markante Parameter zu bestimmen. Als Parameter der Phytomasse käme beispielsweise der Chlorophyllgehalt in Betracht. Viele andere Parameter wie Kohlenstoffanteil, Phosphatgehalt, Stickstoffgehalt, Eiweissgehalt würden nicht nur die Phytomasse, sondern auch einen Teil der Zoomasse erfassen. Trockengewichtsbestimmungen wären kaum brauchbar, weil auch die stark schwankenden, eingeschwemmten mineralischen Bestandteile gewogen würden. Glühverlustbestimmungen sind zu ungenau, weil der Anteil verlorengehender Karbonate nicht erfassbar ist.

Es gibt aber eine grosse Zahl von Bächen, in deren Bett der Bewuchs von Algen und Makrophyten zeitweise oder meistens sehr unregelmässig verteilt ist. In diesen Fällen kommt die Auswahl der abzuerntenden Musterflächen einem Schätzverfahren gleich. Um bei einer grossen Zahl von Bächen die Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärprodukten herausarbeiten zu können, haben wir eine Bildskala geschaffen, nach der die Phytomasse rasch zahlenmässig geschätzt werden kann (Abb. 1).

In der Praxis hat sich die Anwendung dieser Skala bereits bewährt. Ergänzend ist beizufügen, dass bei A1 entweder kein Algenaufwuchs vorhanden ist oder nur ein leichter Hauch von grüner, brauner (Diatomeen) oder anderer Algenfarbe. Bei A2

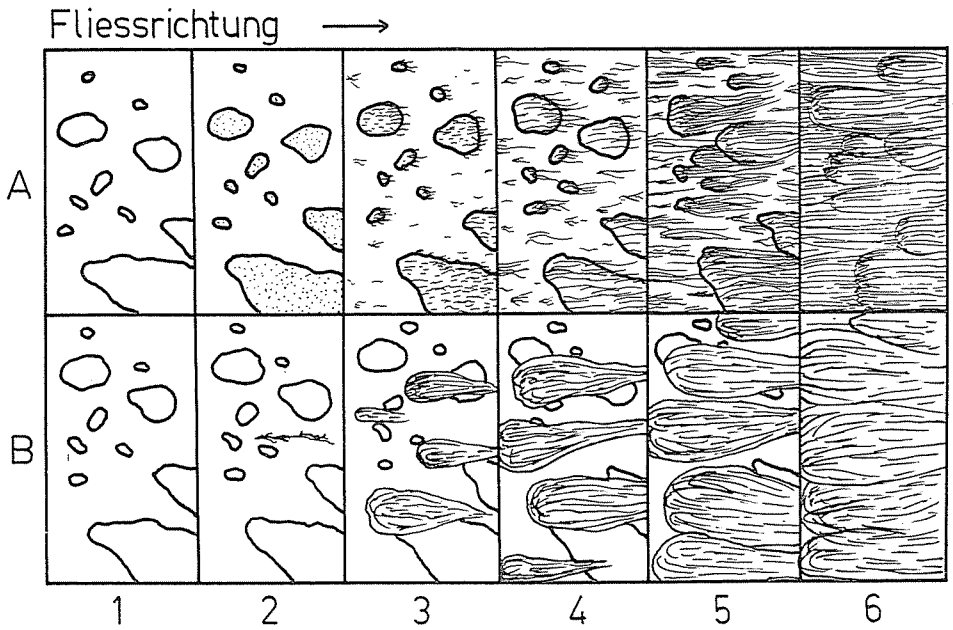


Abb. 1. Skala für die visuelle Beurteilung der Primärprodukte in fließenden Gewässern.

A = Algen und kurzstenglige Moose (kürzer als 10 cm); Mikrophyten.

B = Blütenpflanzen und langstenglige Moose; Makrophyten (länger als 10 cm).

sind deutliche Überzüge (ohne Zotten) vorhanden; bei A3 beginnen sich Fäden und Zotten auszubilden, die bei A4 gut ausgebildet sind und bei A5 alle Steine überziehen. Bei A6 ist der Bewuchs so intensiv, dass kaum Umrisse von Steinen erkennbar sind.

Bei der B-Reihe ist B1 frei von Makrophyten; bei B2 treten einzelne Pflanzen auf, bei B3 einzelne Makrophytenpolster, jedoch nicht mehr als  $\frac{1}{8}$  der Fläche bedeckend. Bei B4 bedecken die Makrophyten  $\frac{3}{8}$  der Fläche, bei B5  $\frac{3}{4}$  und bei B6 die gesamte Fläche. In Fließwässern mit unregelmäßigem Bewuchs können ohne weiteres mehrere Skala-Zahlen angegeben werden, z. B. A2 und A4, B2; oder A3 bis A4. Die Bewuchsstufe der Algen wird unabhängig von den Makrophyten geschätzt, diejenige der Makrophyten unabhängig von den Algen.

Sodann können die Farben der Algenüberzüge mit den Zahlen eines bestimmten Kodes bezeichnet werden (z. B. E. SÉGUY, Code universel des couleurs, Paris).

Während die Methode von BRAUN-BLANQUET (1928) in pflanzlichen Biozöosen die Häufigkeit einzelner Arten schätzt, unterscheidet sich unsere Methodik in mehreren Punkten:

- Wir schätzen die in einem Bachabschnitt vorhandene Summe der Phytomasse.
- Im Vordergrund steht die Produktionskraft des Baches; sie lässt sich besonders auf Grund von Wiederbesiedelungen nach Hochwässern abschätzen. Die Bewuchsstufen in den zu prüfenden Bächen sollen deshalb häufig geschätzt werden, z. B. wöchentlich oder zweimal pro Monat während mindestens eines Jahres.

- Mit unseren geplanten Korrelationsanalysen zwischen geschätzten Phytomassen und Wasserchemismus suchen wir Aufschluss darüber, in welchem Masse eine Reduktion der Phosphatkonzentration des Bachwassers eine kleinere Menge von Primärproduzenten erwarten lässt.
- Einen fehlenden Bewuchs bezeichnen wir aus statistisch-mathematischen Gründen mit Bewuchsstufe 1 (nicht Null), einen maximalen Bewuchs mit Stufe 6.
- Die Artbestimmung von Algen und Makrophyten wird zur Zeit qualitativ vorgenommen, um das Verständnis für den Biotop zu vertiefen und kritische Vergleiche mit dem Saprobiensystem von Kolkwitz und Marsson zu ermöglichen.
- Untersuchungen wie hier begonnen, sind aber auch für den Gewässerschutz von grundlegender Bedeutung. Gemäss der eidgenössischen «Verordnung über Abwässereinleitungen» (vom 8. Dezember 1975) ist die Phosphatelimination in Kläranlagen an Fliesswässern, die nicht in einen See münden, durchzuführen, wenn dies erforderlich ist, um lästige Wucherungen von Algen und höheren Wasserpflanzen zu verhindern.

## 6. Statistische Analyse

Zur Anwendung und Überprüfung der vorgeschlagenen Methodik haben Mitarbeiter unter unserer Leitung damit begonnen, 40 Bäche in bezug auf Chemismus und Primärproduzenten (ohne Bakterien) zu untersuchen. Bevor die Arbeiten abgeschlossen werden, machen wir uns Gedanken über die statistische Auswertung der Resultate. Diese sollen in den folgenden Abschnitten kurz dargelegt werden.

### a) Grundlagen

Wir nehmen an, dass nur die «Bacheigene Obere Bewuchsstufe» (= BOB = diejenige Bewuchsstufe eines Baches, die im Jahresverlauf nicht überschritten wird) vom Nährstoffgehalt abhängig ist. Für die untersuchten Bäche ist noch nicht geprüft, ob die Bewuchsstufe von der mittleren Wassergeschwindigkeit und der mittleren Wassertiefe beeinflusst wird.

Es werden hauptsächlich Gewässer untersucht, von denen angenommen werden kann, dass sie wenig verschmutzt, vergleichbar und kalkreich sind. Die mittlere Tiefe beträgt in allen Bächen weniger als 1 Meter. An den Probenahmestellen soll die Einstrahlung möglichst gleich sein.

Die Schätzung der Bewuchsstufe erfolgt nach der festgelegten Skala (Abb. 1). Neben den aufgeführten Stufen 1 bis 6 können auch die Zwischenstufen  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$ ,  $3\frac{1}{2}$ ,  $4\frac{1}{2}$  und  $5\frac{1}{2}$  gebildet werden. Die chemischen Bestimmungen werden nach den Eidgenössischen Richtlinien (1974) durchgeführt.

Die erste Untersuchungsperiode dauert ein Jahr. Die Schätzungen der Bewuchsstufen erfolgen alle 14 Tage; der Nährstoffgehalt der Gewässer kann dagegen nur einmal im Monat bestimmt werden. Für die statistische Auswertung stehen deshalb 25 Schätzwerte und 12 chemische Bestimmungen zur Verfügung.

## b) Fragestellungen

Aus der in den Abschnitten 1 und 2 skizzierten Problemstellung ergeben sich folgende konkreten Fragen:

- b<sub>1</sub>) Bestehen zwischen der BOB und dem Gehalt an Nährstoffen Zusammenhänge (vor allem Phosphat und Nitrat; evtl. auch Ammoniak)? Falls keine Zusammenhänge gefunden werden, muss auf die Bestimmung der Schwellenkonzentrationen verzichtet werden (siehe Frage b<sub>2</sub>).
- b<sub>2</sub>) Wie hoch darf der Gehalt eines Nährstoffes sein, damit immer noch mit einer BOB von 4 gerechnet werden kann (= Schwellenkonzentration)? Bei dieser BOB wirkt die Algen- oder Makrophytenbedeckung noch nicht störend, und es muss noch nicht mit schädlichen Einflüssen gerechnet werden (THOMAS, 1976; HUBER, 1976).
- b<sub>3</sub>) Die Zusammenhänge der Nährstoffkonzentrationen untereinander sind von allgemein limnologischem Interesse.

## c) Reduktion der Daten

Zur Beantwortung der in Abschnitt b) gestellten Fragen wäre es unzweckmässig, wenn alle zur Verfügung stehenden Daten (siehe Abschnitt a) verwendet würden.

Die Schätzwerte der Bewuchsstufen werden nach der Grösse geordnet. Die ermittelte höchste Stufe ist die «Bacheigene Obere Bewuchsstufe» (BOB), und nur diese wird für weitere Berechnungen gebraucht.

Bei der Sichtung der chemischen Resultate werden u. U. für die Berechnung der Mittelwerte einige Daten gestrichen werden müssen. Für die statistischen Analysen der Abschnitte d bis f verwendet man nur Mittelwerte.

Nach der Reduktion der Daten steht für jeden der 40 Bäche ein Wert für die Bewuchsstufe (BOB) und für jeden untersuchten Nährstoff ebenfalls ein Wert (Mittelwert) zur Verfügung.

## d) Prüfung der chemischen Resultate auf Nicht-Normalität

Bei Korrelations- und Regressionsanalysen sind Tests, die Normalverteilung voraussetzen, in der Regel aussagekräftiger als verteilungsfreie Tests (SACHS, 1973, S. 103). Für die Prüfung auf Nicht-Normalität wird der W-Test von SHAPIRO and WILK (1965) oder der Test von FILLIBEN (1975) empfohlen.

## e) Korrelations- und Regressionsanalysen

Der von uns ermittelte Schätzwert (BOB) ist keine stetige, sondern eine diskrete Zufallsvariable. Zur Prüfung von Abhängigkeiten bei diskreten Zufallsvariablen empfiehlt WEBER (1971, S. 510) den  $\chi^2$ -Test. Dem Test geht die Bildung einer Vier- oder Mehrfeldertafel voraus, wobei es notwendig ist, die chemischen Resultate qualitativ zu werten (z. B. für Phosphat: kleiner; mittlerer; hoher Phosphatgehalt).

Kann für die chemischen Werte Normalverteilung angenommen werden (nach Test Abschnitt d), dürfen für die Korrelations- und Regressionsanalysen die Formeln der Documenta GEIGY (1960, S. 170.10 und 170.13) verwendet werden. Nach der Ausführung dieser Berechnungen kann leicht ausgesagt werden, ob und in welcher Art Beziehungen zwischen den Nährstoffen bestehen.

#### f) Bestimmung der Schwellenkonzentrationen

Es ist nur sinnvoll, eine Schwellenkonzentration zu bestimmen, wenn in Abschnitt e) nachgewiesen werden konnte, dass mit grösserer BOB auch höhere Konzentrationen an Nährstoffen zu erwarten sind.

Für die Berechnung der Schwellenkonzentrationen werden alle chemischen Resultate berücksichtigt, die bei den BOB von 1 bis 4 auftraten. Ausgehend vom Medianwert (oder Mittelwert), bestimmen wir nun diejenige Grenze, unterhalb welcher x% der chemischen Resultate zu erwarten sind (= Schwellenkonzentration). Die Grösse von x wird je nach Art der Verteilung der Daten und dem Zweck der Untersuchung festgelegt werden müssen.

### Zusammenfassung

Die dargelegte Methode erlaubt eine Schätzung der Primärprodukte (Phytomasse) von Bächen. Die Korrelierung solcher Daten mit dem Wasserchemismus möchte grundlegende Einblicke in das limnologische Geschehen in Bächen geben, ferner wesentlich zur Klärung der Frage beitragen, ob die Einführung der Phosphatelimination in Kläranlagen (dritte Reinigungsstufe) bei unseren abwasserbelasteten Bächen eine Verminderung der Veralgung und Verkräutung erwarten lässt oder ob zur Erreichung dieses Zieles andere Mittel eingesetzt werden müssen. Die verschiedenen Bewuchsstufen von vergleichbaren Bächen sind in einer schematischen Abbildung definiert.

Die Methode lässt sich auch für die Beurteilung von Aufwuchsalgen seichtes Seeufer verwenden.

### Summary

The method set out in this paper allows an estimation of the primary products (phytomass) in small streams. Together with the correlation of these data with the water chemistry it offers basic insight into the limnologic activities in small streams. The method further contributes to a clarification of the important question, whether the introduction of the elimination of phosphates in water treatment plants (third treatment stage) would possibly reduce the excessive growth of algae and weed (macrophytes) in small sewage loaded streams. The varying phytomass levels of comparable small streams have been defined in a schematic figure.

The method can also be used as a basis for forming an estimate of the algal mass of shallow lake shore waters.



## Literatur

- BRAUN-BLANQUET, J. (1928): Pflanzensoziologie. Springer-Verlag, Berlin, 330 S.
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (Gewässerschutzgesetz) vom 8. Oktober 1971, Bern.
- Eidgenössisches Departement des Innern, 1974: Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser. (Allgemeine Hinweise und Analysenmethoden.)
- FILLIBEN, J. J. (1975): The probability plot correlation coefficient test for normality. *Technometrics* 17, 1, 111–117.
- GEIGY AG (1960): Wissenschaftliche Tabellen. Basel, 742 S.
- HUBER, M. (1976): Die Verkrautung des Hochrheins, unter besonderer Berücksichtigung von *Ranunculus fluitans* LAM. Diplomarbeit Universität Zürich.
- KOLKOWITZ, R. und M. MARSSON (1902): Grundsätze für die Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Kl. Mitt. d. kgl. Prüfanstalt f. Wasservers. und Abwasserbes.* 1, 33–72.
- (1908): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Ber. d. dtsh. bot. Ges.* 26, 505–519.
- (1909): Ökologie der tierischen Saprobien. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr.* 2, 126–152.
- MÖRGELI, B. (1974): Limnologische und morphologische Beziehungen zwischen Wasser und Gerinnebett im Unterlauf der Thur. *Vjsschr. Natf. Ges. Zürich* 119, 23–123.
- SACHS, L. (1973): Angewandte Statistik. Springer-Verlag, Berlin, 548 S.
- SÉGUY, E. (1936): Code universel des couleurs; Paris.
- SHAPIRO, S. S. and M. B. WILK (1965): An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 3 and 4, 591–611.
- SLADECKOVA, A. (1962): Limnological investigation methods for the periphyton («Aufwuchs») community. *Bot. Rev.* 28, 286–350.
- STEEMANN NIELSEN, E. (1952): The use of radio-active carbon ( $C^{14}$ ) for measuring organic production in the sea. *J. cons. int. explor. mer.* 18, 117–140.
- THOMAS, E. A. (1943): Zur Biologie öffentlicher Gewässer. *Mitt. aus d. Geb. d. Lebensmittelunt. u. Hygiene* 34, 282–287; Bern.
- (1944): Versuche über die Selbstreinigung fließenden Wassers (Beitrag zur Kenntnis des Saprobien-systems). *Mitt. aus d. Geb. d. Lebensmittelunt. u. Hygiene* 35, 199–218; Bern.
- (1949): Regionallimnologische Studien an 25 Seen der Nordschweiz. *Verh. I.V.L.* 10, 489–495.
- (1955): Stoffhaushalt und Sedimentation im oligotrophen Ägerisee und im eutrophen Pfäffiker- und Greifensee. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, suppl. 8, 357–465; Colloque I.U.B.S. n. 19.
- (1962): Die Eutrophierung von Seen und Flüssen, deren Ursprung und Abwehr. *Vjsschr. Natf. Ges. Zürich* 107, 155–196.
- (1971): Oligotrophierung des Zürichsees. *Vjsschr. Natf. Ges. Zürich* 116, 165–179.
- (1975): Gewässerfeindliche Wirkungen von Phosphaten in Flüssen und Bächen. *Schweiz. Z. f. Hydrol.* 37, 273–298.
- (1976): Der Flutende Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans* LAM.), ein neues limnologisches Problem am Rhein. *Wasser, Energie, Luft; Eau, énergie, air* 68, 10: 230–233.
- THOMAS, E. A. and P. WILDI (1975): The effectiveness of point-source nutrient removal; the lake of Zürich as an example. *Water Research Center Symposium, Reading GB; 24–26 March 1975.*
- Verordnung über Abwassereinleitungen, eidgenöss., vom 8. Dezember 1975; Bern.

Adresse der Autoren: Prof. Dr. EUGEN A. THOMAS und Dr. FERDINAND SCHANZ, Hydrobiologisch-Limnologische Abt., Pflanzenbiolog. Institut der Universität, Zollikerstr. 107, CH-8008 Zürich (Schweiz). – Ab Mai 1977: Hydrobiologisch-Limnologische Station der Universität Zürich, Seestrasse 187, CH-8802 Kilchberg (Schweiz).