

Methodik der Untersuchung von Abwasser und Vorfluter

*Methods in the Examination of Wastewater
and Receiving Waters*

Münchener Beiträge zur Abwasser-, Wasser- und Flußbiologie

Band 19

Herausgeber: Prof. Dr. phil., Dr. med. vet. h. c. H. LIEBMANN

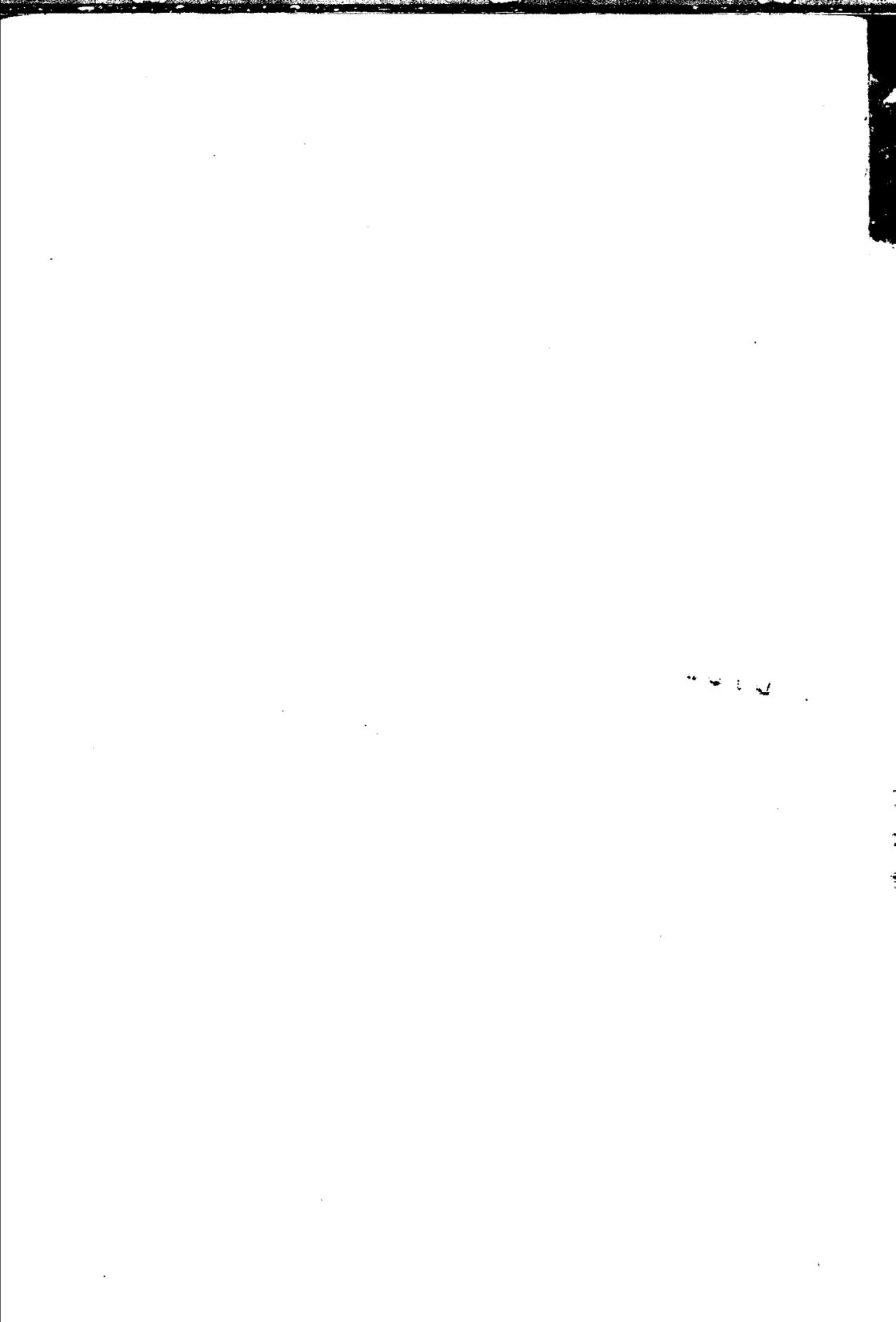
Mit 162 Abbildungen und 29 Tabellen

R. OLDENBOURG · MÜNCHEN · WIEN

MÜNCHNER BEITRÄGE ZUR
ABWASSER-, FISCHEREI- UND FLUSSBIOLOGIE

BAND 19

Herausgegeben von
Dr. phil., Dr. med. vet. h.c.
HANS LIEBMANN
ordentlicher Professor für Zoologie
Parasitologie und Hydrobiologie
an der Universität München



Methodik der Untersuchung von Abwasser und Vorfluter

*Methods in the Examination of Wastewater
and Receiving Waters*

Mit 162 Abbildungen und 29 Tabellen

VERLAG R. OLDENBOURG



MÜNCHEN · WIEN 1971

© 1971 R. Oldenbourg, München

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Funksendung, der Wiedergabe auf photo-mechanischem oder ähnlichem Wege sowie der Speicherung und Auswertung in Daten-verarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden mit schriftlicher Einwilligung des Verlags einzelne Vervielfältigungsstücke für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UG zu zahlende Vergütung zu entrichten, über deren Höhe der Verlag Auskunft gibt.

Gesamtherstellung: Rieder, Schrobenhausen

Printed in Germany

ISBN: 3 - 486 - 38921 - 1

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Einleitung | 7 |
| Prof. Dr. Dr. h. c. H. LIEBMANN: Methodische Verbesserungen zur Ermittlung der Wassergüte | 9 |
| Oberregierungsbiologe Dr. H. BUCK: Statistische Untersuchungen zur Saprobität und zum Leitwert verschiedener Organismen | 14 |
| K. RIETZ: Produktionsbiologische Untersuchungen an Experimental-Vorflutern | 45 |
| Prof. Dr. H.-H. REICHENBACH-KLINKE: Methodik der Fischuntersuchung im Hinblick auf die Wirkung von Abwassergiften | 60 |
| Chemierat Dr. B. WACHS: Bakteriologische Kontrolle von Kläranlagen und Vorflutern mittels Membranfilter und Nährkartonscheiben | 69 |
| Oberchemierat Dr. A. HAMM: Bestimmung der <i>in-vitro</i> -Gasungsaktivität von Seesedimenten | 97 |
| Privatdozent Dr. M.-J. FORSTNER, Akademischer Direktor: Die Feststellung der Ansteckungsfähigkeit von Wurmeiern in Abwasserkläranlagen mit Hilfe morphologischer Kriterien und des Tierversuchs, Möglichkeiten zur Standardisierung der Methoden | 114 |
| Chemiedirektor Dr. K. OFFHAUS: Metallbestimmung in Abwasser und Schlamm mit Hilfe der Polarographie und Atomabsorption | 129 |
| Chemiedirektor Dr. K. REIMANN: Die Messung einiger Größen des Sauerstoffhaushalts in Fließgewässern | 158 |
| Diplomchemiker Doz. Dr. K. BÜRGER: Die Anwendung flüssigkeitschromatographischer Methoden in der Wasser- und Abwasseruntersuchung | 177 |
| Diplomchemiker Dr. L. WEIL: Die Anwendung von gas-chromatographischen Methoden in der Wasser- und Abwasseruntersuchung | 191 |
| Chemierat Diplomphysiker K. HÜBEL: Gesichtspunkte bei der Probenahme zur Ermittlung der Gesamtradioaktivität, deren Messung und spezielle β -spektrometrische Verfahren | 201 |
| Chemiedirektor Privatdozent Dr. M. RUF: Einzelnuklidbestimmung im Wasser und hydrobiologischen Material mit radiochemischen und γ -spektrometrischen Methoden | 222 |

6 Inhaltsverzeichnis

Oberregierungschemierat Dr. K. SCHERB: Zur Methodik der Untersuchung von Kläranlagen für häusliche und industrielle Abwässer 239

Oberregierungschemierat Dr. L. HUBER: Einsatzmöglichkeit der Infrarot- und Ultraviolett-Spektroskopie bei der Untersuchung von Wasser und Abwasser . . . 258

Chemieingenieur H. BAUMUNG: Ionenspezifische Elektroden – Theorie und Anwendung 271

Chefchemiker und Abteilungsleiter Dr. F. MALZ: Methodik und Instrumentation bei der Vorfluteruntersuchung mit stationären und mobilen Kontrollsystemen . . 284

Dr. F. J. SPRENGER: Entnahmetechnik und Untersuchungsmethoden von Abwasser- und Vorfluterproben bei Anwendung der Serienanalytik 305

Dr. H. J. WOLFF: Abwasserkontrolle in der chemischen Großindustrie 327

Prof. Dr. Dr. h. c. H. LIEBMANN: Folgerungen für die Praxis aus den Ausführungen über Methodik der Untersuchung von Abwasser und Vorfluter 342

Prof. Dr. Dr. h. c. H. LIEBMANN: Conclusions for practical use drawn from the descriptions of wastewater and receiving water examination 346

Im Jahre 1970 erschienene Arbeiten der Bayerischen Biologischen Versuchsanstalt München und Wielenbach (Demoll-Hofer-Institut) und des Zoologisch-Parasitologischen Instituts der Tierärztlichen Fakultät der Universität München 350

Sachverzeichnis 355

Einleitung

Die Methodik der Untersuchungen von Abwasser und Vorfluter ist eine wichtige Voraussetzung für Untersuchungen und Überlegungen über den anzustrebenden Gewässerzustand, über die Einführung von Standardwerten und über Grundanforderungen an die Beschaffenheit und das Einleiten von Abwässern in die Gewässer. Auf dem Gebiete der Untersuchungstechnik war die Entwicklung in den letzten Jahren besonders stürmisch. Es sind neuartige Methoden entwickelt worden, die eine wesentliche Arbeitsvereinfachung bei entsprechender Erhöhung der Genauigkeit der gewonnenen Meßwerte garantieren.

In dem vorliegenden Buch wird der Versuch unternommen, eine Übersicht über die neu entwickelten Methoden zu geben. Es handelt sich dabei um Ergebnisse, wie sie im Abwasserbiologischen Herbstkurs 1970 erarbeitet worden sind.

Die ersten fünf Beiträge beschäftigen sich mit methodischen Verbesserungen zur Ermittlung der Wassergüte. Dabei spielen Methoden zur produktionsbiologischen Untersuchung an Experimentalvorflutern, Untersuchung der Fische im Hinblick auf die Wirkung von Abwassergiften, bakteriologische Kontrollen von Kläranlagen und Vorflutern, Untersuchungen über die in-vitro-Gasungsaktivität auf Seesedimente, und Forschungen über die Möglichkeiten zur Standardisierung der Methodik über die Feststellung der Ansteckungsfähigkeit von Wurmeiern in Kläranlagen eine besondere Rolle.

Möglichkeiten zur Metallbestimmung in Abwasser und Schlamm mit Hilfe der Polarographie und Atomabsorption sind zukünftig für den praktischen Betrieb der Faulbehälter und der biologischen Anlage von besonderer Bedeutung. Bei der Anwendung flüssigkeits- und gaschromatographischer Methoden erwachsen der Wasseranalyse neue Möglichkeiten. Die Einsatzmöglichkeiten der Infrarot- und Ultraviolett-Spektroskopie sind gewachsen.

Bei Wasser- und Abwasserkontrollen spielt das neuartige Instrumentarium bei stationären und mobilen Kontrollsystemen sowohl im Vorfluter als auch in der Großindustrie eine entsprechende Rolle. Bei der Erstellung von Vorfluterlastplänen für Atomkraftwerke spielen die Ermittlung der Gesamtradioaktivität und die Einzelnuklidbestimmungen im Wasser und hydrobiologischen Material mit radiochemischen und gammaspektrometrischen Methoden eine große Rolle.

In einem abschließenden Kapitel werden die Folgerungen behandelt, die sich für die Praxis aus den Arbeiten über die Methodik der Untersuchungen von Abwasser und Vorfluter ergeben.

Ein Sachverzeichnis soll das Nachschlagen erleichtern.

Ein Literaturverzeichnis am Ende des Buches gibt eine Übersicht über die von unserer Arbeitsgemeinschaft im Jahre 1970 erschienenen Arbeiten.

Das Buch ist, wie die übrigen 18 Bände, drucktechnisch vorzüglich ausgestattet. Wiederum sei dafür dem Oldenbourg-Verlag Dank gesagt.

Der 20., 21., 22. und 23. Band der Buchreihe sind in Vorbereitung.

Der 20. Band trägt den Titel: „Die Infektiöse Bauchwassersucht (IBW) der Karpfen.“ Dieses Buch wird 1971 erscheinen. Es enthält die wichtigsten Ergebnisse des Münchner Fischereibiologischen Seminars vom November 1971.

Der 21. Band trägt den Titel: „Diagnose und Therapie von Fischkrankheiten.“ Das Buch wird 1972 erscheinen.

Der 22. Band trägt den Titel: „Abbau und Elimination in Wasser und Abwasser.“ Das Buch wird 1972 erscheinen.

Der 23. Band trägt den Titel: „Probleme der Ernährung und Haltung von Süßwasserfischen im Intensivbetrieb.“ Das Buch wird 1972 erscheinen.

München, Dezember 1970

Der Herausgeber

Methodische Verbesserungen zur Ermittlung der Wassergüte

Von Prof. Dr. Dr. h. c. H. LIEBMANN

Bayerische Biologische Versuchsanstalt, München

Seit der Herausgabe der 2. Auflage des Bandes I des Handbuches der Frischwasser- und Abwasserbiologie im Jahre 1962 ist eine Fülle von Arbeiten erschienen, die sich mit der Beurteilung der Wasserqualität durch biologische Verfahren beschäftigt. Die Notwendigkeit dies zu tun, wird bei allen wasserwirtschaftlichen Planungen in den hochentwickelten Industrieländern der Erde zwingend. Es ist deshalb verständlich und erfreulich, daß sich eine immer größere Zahl von Bearbeitern mit diesem Problem beschäftigt.

Die seit dem Erscheinen der 2. Auflage des oben genannten Handbuches veröffentlichten Arbeiten lassen sich in 3 Gruppen einteilen, und zwar sind es:

- A) Übersichten, Auswertungsmethoden und Systeme
- B) Untersuchungen über statistische Beziehungen zwischen chemischen und biologischen Indikationen der Gewässergütebeurteilungen
- C) Spezielle physiologische Verfahren für die Gewässergütebeurteilung.

Von den unter A) angeführten Arbeiten sind besonders folgende Autoren zu nennen:

BRINGMANN, KÜHN und LÜDEMANN (1962)

ELSTER (1966)

BARTSCH und INGRAM (1966)

CASPERS (1966)

CASPERS und KARBE (1966, 1967)

MATULOVÁ (1968/1 u. 2)

SLADEČEK (1966, 1967, 1968, 1969)

STRASKABOVÁ (1968)

ZELINKA und MARVAN (1966)

Mit den statistischen Beziehungen zwischen chemischen und biologischen Indikationen der Gewässergütebeurteilung beschäftigen sich besonders:

NEHRKORN (1967, 1969)

KLOTTER und HANTGE (1967)

von TUMPLING (1965)

VENTZ (1966)

Von den Arbeiten, die sich mit der Gewässerbeurteilung nach physiologischen Verfahren beschäftigen, seien besonders die Arbeiten von BRINGMANN, KÜHN und LÜDEMANN (1962) und von KNOPP (1968) genannt.

Übersieht man kritisch diese zahlreichen Arbeiten, so bestätigen die in ihnen niedergelegten Ergebnisse im großen und ganzen die Zuordnungen zu dem Nomogramm zur Ermittlung der Gewässergüteklassen von Fließgewässern (HAMM 1968). Auf der Grundlage von Bestimmungen der Größen des Sauerstoffhaushalts und der biologischen Gewässeruntersuchungen hatte ein Arbeitskreis der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt ein Bewertungssystem zur Ermittlung von Gewässergüteklassen bei Fließgewässern ausgearbeitet und als Gewässergütesystem vorgeschlagen (HAMM, HUBER, LIEBMAN, OFFHAUS, REIMANN, RUF und WELLER 1965).

Anschließend hat REIMANN (1966) ein Verfahren zur Bestimmung der toxischen Hemmung im Verlauf der Selbstreinigung im Vorfluter in Anlehnung an die von OFFHAUS (1965) für Abwässer ermittelten Verfahren erarbeitet und eine Bewertung toxischer Hemmung in der Gewässergütebeurteilung vorgenommen. Dieses Gewässergütesystem wurde von LIEBMAN (1966) anlässlich der 3. Internat. Abwasserkonferenz in München vorgetragen, sowie in der Donaumonographie (LIEBMAN und REICHENBACH-KLINKE 1967) erläutert und für die Gewässergütekartierung der gesamten Donau angewendet. Es bildet ferner die Grundlage für die Arbeiten im Wassergüteatlas (LIEBMAN 1969).

Wie HAMM (1968) ausführt, wird der Begriff „Gewässergüte“ als allgemeines Qualitätsmerkmal einer Gewässerstrecke im Hinblick auf die Gewässernutzung im umfassendsten Sinn des Wortes verstanden. Es bestehen für alle Formen der Gewässernutzung gemeinsame prinzipielle Anforderungen, eine Gewässergüte, deren Grad sich in Gewässergüteklassen ausdrücken und sich nach der bekannten „Münchener Methode“ in 4 Farbgebungen mit den entsprechenden Zusatzbezeichnungen darstellen läßt (LIEBMAN 1962).

Als Gewässergütekriterien werden die Bestimmungsgrößen des Sauerstoffhaushalts (O_2 -Gehalt, O_2 -Sättigung, O_2 -Zehrung nach 48 Stunden und BSBs sowie die O_2 -Zehrung in Prozent vom Anfangs-Sauerstoffgehalt) und die biologischen Gewässeruntersuchungen (Saprobienindex) herangezogen und für die Ermittlung der Gewässergüteklassen einander zugeordnet.

Die Zuordnung der Ergebnisse von biologischen Gewässeranalysen zu Bestimmungsgrößen des Sauerstoffhaushalts ist, wie oben unter B) angeführt, von mehreren Autoren behandelt worden. So fanden von TÜMPLING (1965 und 1966) sowie VENTZ (1966) auf Grund statistischer Auswertungen einer großen Zahl von Gewässeranalysen den Zusammenhang zwischen Saprobität und relativer Sauerstoffzehrung in Prozent als gesicherte Korrelation. KLOTTER und HANTGE (1967) ermittelten den relativen Zusammenhang des BSBs und des biologischen Zustandswertes (Saprobienindex) und fanden ebenfalls einen klaren statistischen Zusammenhang. NEHRKORN (1969) fand, daß Einflüsse besonderer Eigenarten der Vorfluter (Art der Abwasserbelastung) zu einer Verschiebung

des Beziehungszusammenhangs führen können. Sauerstoffhaushalt und Abwasserbelastung korrelieren nicht linear.

Unbelastete Vorfluter reagieren mit ihrem Sauerstoffhaushalt und damit mit ihrem biologischen Gütebild wesentlich empfindlicher als vorbelastete Gewässer. Das ist deshalb nicht verwunderlich, weil wir durch Untersuchungen der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt wissen, daß vorbelastete Gewässer eine bestimmte — an die Abwasserbelastung adaptierte — Bakterienflora besitzen. Die Arbeiten von NEHRKORN (1969) bestätigen grundsätzlich die allgemeine Gültigkeit der biologischen Güteklassifizierung der Gewässer als Ausdruck ihres Belastungszustandes, unterstreichen aber auch die Notwendigkeit einer individuellen Betrachtung der Wechselwirkung von Abwassereinleitungen und Gewässerzustand, die für jeden einzelnen Vorfluter zu eigenen Untersuchungen über die Zweckmäßigkeit wasserwirtschaftlicher Maßnahmen zwingt. Nach SLADÉČEK (1969) existiert zur Zeit kein direkter Maßstab der Saprobität. Der Saprobienindex von PANTLE und BUCK (1955) kann als ein indirekter linearer Maßstab dienen. Aus chemischen und bakteriologischen Analyseergebnissen wurden einige indirekte und nicht lineare Maßstäbe abgeleitet, die besonders für eine graphische Darstellung geeignet sind. Als bester von ihnen erwies sich jener, der vom BSBs durch Interpolation der Werte abgeleitet wurde.

Man kann mit HAMM (1968) feststellen, daß bei den von den einzelnen Autoren und an den verschiedenen Untersuchungsgebieten gewonnenen Zuordnungen eine weitgehende Übereinstimmung gegeben ist, wenn auch in einzelnen Abgrenzungszahlen Unterschiede bestehen. Diese sind aber nicht prinzipieller Natur und haben sekundäre Bedeutung. Für die Praxis ist wichtig, daß sich die Möglichkeit einer allgemeinen Anwendungsfähigkeit für ein überregionales Gewässergütesystem ergibt.

Sowohl das Gewässergütesystem als auch das Nomogramm zur Ermittlung der Gewässergüteklassen von Fließgewässern sind in der vorliegenden Form noch nicht endgültig abgeschlossen. Es wird daran gearbeitet, in das Nomogramm zukünftig miteinzubeziehen die Auswertung der Verunreinigung mit biologisch nicht oder schwer abbaubaren Substanzen, die Versalzung, den *Adaptationsfaktor* und die Fließgeschwindigkeit des Vorfluters. In der jetzt vorliegenden Form enthält das Gewässergütesystem die Kriterien des Sauerstoffhaushalts, der Biologie und der Toxizität in der Form der im Gewässer selbst vorliegenden Zusammenhänge und in einer für die Gewässernutzung zweckmäßigen Synthese zu den Gewässergüteklassen, so daß damit die primär wichtigen Bestimmungsgrößen erfaßt sind.

Wie schon so oft geschehen, wird auch an dieser Stelle wieder dringend davor gewarnt, ein Gewässergütesystem lediglich nach mathematischen Gesichtspunkten aufzustellen. Die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Biozönosen und dem Vorfluter lassen sich nie durch Formeln erfassen. Auch eine ausschließlich chemische Kennzeichnung der Gewässergütekriterien ist nicht möglich. Man kann nicht von einer chemischen Definition der Güteklassen sprechen und man kann

auch nicht das Wassergütesystem als Indikator definierter chemischer Bedingungen erklären.

Für den biologischen Sektor der Gewässergütebeurteilung ist und bleibt die Biozönose maßgebend und nicht eine einzelne Organismengruppe oder gar eine einzelne Art. STANGE – BURSCHE (1964) hat überzeugend ausgeführt und experimentell nachgewiesen, daß Rückschlüsse von Testorganismen auf natürliche Verhältnisse nicht möglich sind.

Literaturverzeichnis

- BRINGMANN G., KÜHN R. und LÜDEMANN D.: Bedeutung und Zielsetzung biologischer Abwasseruntersuchungen. – Gas- und Wasserfach 103 (1962).
- CASPERS, H. und KARBE, L.: Trophie und Saprobität als stoffwechselfynamischer Komplex. Gesichtspunkte für die Definition der Saprobitätsstufen. Archiv für Hydrobiologie 61 (1966).
- CASPERS, H. und KARBE, L.: Vorschläge für eine saprobiologische Typisierung der Gewässer. – Intern. Revue der gesamten Hydrobiologie 52 (1967).
- ELSTER, H. J.: Die limnologischen Grundlagen der biologischen Gewässerbeurteilung in Mitteleuropa. – Verh. Internat. Verein. Limnologie 16 (1966).
- HAMM, A.: Nomogramm zur Ermittlung der Gewässergüteklassen von Fließgewässern. – Wasser und Abwasserforschung 1 (1968).
- HAMM A., HUBER L., LIEBMAN H., OFFHAUS K., REIMANN K., RUF M. und WELLER G.: Die Bewertung der Gewässergüte, nach dem Sauerstoffhaushalt im fließenden Gewässer. – Die Wasserwirtschaft 55 (1965).
- KLOTTER, H. E. und HANTGE, E.: Über die Auswertung biologischer Gewässeruntersuchungen und Relationen zum biochemischen Sauerstoffgehalt. – Die Wasserwirtschaft 57 (1967).
- KNOPP, H.: Stoffwechselfynam. Untersuchungsverfahren für die biolog. Wasseranalyse. – Int. Revue d. ges. Hydrobiolog. 53 (1968).
- LIEBMAN, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, Band I, 2. Aufl. – Oldenbourg-Verlag München (1962).
- LIEBMAN, H. (Herausgeber): Der Wassergüteatlas. Methode und Anwendung. – Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie 15 (1969).
- LIEBMAN, H.: Bavarian Register of Water quality. – 3. Internat. Conf. u. water poll. Research München (1966) paper.
- LIEBMAN, H. und REICHENBACH-KLINKE, H.: Eingriffe des Menschen und deren biologische Auswirkung auf die Donau. – Limnologie der Donau (1967).
- LIEBMAN H., REICHENBACH-KLINKE H. und REIMANN K.: Die bisherigen Arbeiten am bayerischen Wassergüteatlas. In: Gewässerschutz in Bayern. – Harbeke Verlag München (1966).
- MATULOVA, D.: Stream pollution examination by biological tests. – Fourth Intern. Conf. Water Poll. Research, Prag, Sect. 3 (1968).
- MATULOVA, D.: Some biological laboratory tests for stream pollution control. Vodní hospodářství 18 (1968).
- NEHRKORN, A.: Statistische Beziehungen zwischen biologischen und chemischen Vorfluteruntersuchungen. – Ges. Ing. 88 (1967).

- NEHRKORN, A.: Ermittlungen über Zusammenhänge zwischen biologischen, chemischen und hydrobiologischen Faktoren in Fließgewässern Westfalens. – Ges. Ing. 90 (1969).
- OFFHAUS, K.: Die Bewertung von Abwasser unter besonderer Berücksichtigung des biologisch abbaubaren Anteils und der Toxizität. – Die Wasserwirtschaft 55 (1965).
- REIMANN, K.: Messung und Bewertung der toxischen Hemmung im Verlauf der Selbstreinigung. – Die Wasserwirtschaft 56 (1966).
- SLADEČEK, V.: Water quality system. – Verh. Internat. Verein. Limnologie 16 (1966).
- SLADEČEK, V.: The ecological and physiological trends in the saprobiology. – Hydrobiologia 30 (1967).
- SLADEČEK, V.: Classification of water quality. (In Czech.) – Vodohospodářské – vedeckotechnické informace 10 (1958).
- SLADEČEK, V.: The measures of saprobity. – Verh. Internat. Verein. Limnologie 17 (1969).
- STANGE-BURSCHE, E.-M.: Der Algentest zur Bewertung der Gewässergüte: Diskussion und Prüfung im ökologischen Experiment. – Int. Revue d. ges. Hydrobiolog. 49 (1964)
- STRASKRABOVÁ, V.: Bakteriologische Indikation der Wasserverunreinigung mit abbaubaren Stoffen. – Limnologica 6, 1968.
- TÜMPLING, W. v.: Die biolog. und chem. Gewässeranalyse – ein Vergleich. – Fortschritte der Wasserchemie 2 (1965).
- VENTZ, D.: Vergleichende Betrachtungen zwischen chem. und biolog. Gewässeranalysen. – Fortschritte der Wasserchemie 5 (1966).
- ZELINKA, M. und MARVAN, P.: Bemerkungen zu neuen Methoden der saprobiologischen Wasserbeurteilung. – Verh. Internat. Verein. Limnologie 16 (1966).

Statistische Untersuchungen zur Saprobität und zum Leitwert verschiedener Organismen

Von Dr. H. BUCK, Oberregierungsbiologe
Landesstelle für Gewässerkunde und Wasserwirtschaftliche Planung
Baden-Württemberg, Stuttgart

Die biologische Gütebeurteilung von Gewässern, insbesondere von Fließgewässern, hat eine mehr als 60jährige Geschichte. Seit KOLKWITZ und MARSSON in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts das Saprobiensystem begründeten, haben umfangreiche Untersuchungen die grundsätzliche Anwendbarkeit und Bedeutung dieses Untersuchungsverfahrens erwiesen. Allerdings hat es auch zu keiner Zeit an erheblicher Kritik gefehlt. Diese richtete sich meist weniger gegen das Prinzip des Saprobiensystems als gegen das Zustandekommen der vorgenommenen Leitformen-Einstufung. Zwar wird auch von den meisten Kritikern des Saprobiensystems seine empirisch vertretbare Basis nicht angezweifelt, eine Einstufung von Tier- und Pflanzenarten ohne exakten Bezug auf chemische oder biochemische Daten scheint ihnen aber doch zu sehr der subjektiven Intuition unterworfen.

Genährt wurde diese kritische Einstellung immer wieder durch die Tatsache, daß Autoren und Revisoren des Saprobiensystems einander oder sich selbst hinsichtlich der Einstufung einzelner Arten mehrfach korrigierten, obwohl in den meisten Fällen ein nur 4stufiges System verwendet wurde. Von der Sache her ist dies gar nicht verwunderlich: Arten, die an ein nur sehr schmales Milieuspektrum angepaßt sind, treten innerhalb eines größeren Gebietes meist nur mit so geringer Frequenz auf, daß sie kaum eine praktische Bedeutung als Leitformen besitzen. Euryöke Arten mit weitem Milieuspektrum sind dagegen zwar verbreiteter und häufiger, aber in ihrem Vorkommen praktisch nie auf eine Saprobienstufe beschränkt, so daß der *Schwerpunkt* des Vorkommens maßgebend ist. Liegt dieser im Grenzbereich zweier Saprobienstufen, so ist eine unterschiedliche Einstufung auch bei Autoren mit großer ökologischer Erfahrung von vornherein wahrscheinlich.

Es darf nicht übersehen werden, daß diese – wenn man so will – Unsicherheiten in fast allen Fällen *benachbarte* Saprobienstufen betreffen; jedenfalls sind Fälle nicht bekannt, in denen die Oligosaprobier eines Autors von einem anderen als Polysaprobier, kaum je als α -Mesosaprobier behandelt werden. Tatsächlich ist

auch derartig geringen Differenzen bei Einstufungen keine allzu große Bedeutung beizumessen, sofern bei der Gütebeurteilung stets berücksichtigt wird, daß das tragende Moment für eine zuverlässige Aussage auf Grund des Saprobiensystems ein statistisches ist: Liegt der Bonitierung eine hinreichend große Zahl analysierter Organismen zugrunde, so ist nach dem Gesetz der Wahrscheinlichkeit ein gerichteter Fehler nicht zu erwarten, d. h. den zu günstig eingestuften Arten wird eine etwa gleich große Anzahl zu ungünstig eingestuft gegenüberstehen. Unter dem gleichen Aspekt sind natürlich auch Fehlbestimmungen einzelner Arten zu betrachten, die sich bei noch so sorgfältiger Arbeit nicht restlos ausschließen lassen.

Trotz dieser großen statistischen Sicherheit, die dem Verfahren eigen ist, halten auch die Anhänger des Saprobiensystems es für wünschenswert, eine objektive Grundlage für die Einstufung der einzelnen Arten zu erarbeiten. Neben einer Erkenntnisbereicherung versprechen sie sich davon natürlich eine Verbesserung ihrer Argumente.

Autökologische Untersuchungen einzelner Arten, wie sie von BEER, BICK, KLAPPER, ZAHNER u. a. durchgeführt wurden, sind zwar außerordentlich nützlich, vor allem zur Beurteilung spezieller Tatbestände. So lassen sich wohl jetzt schon Sauerstoffminima und die Maxima anderer löslicher Wasserinhaltsstoffe in einem Fließgewässer über einen zurückliegenden Zeitraum recht genau erfassen. Man darf aber wohl v. TÜMLING voll beipflichten, wenn er ausführt, daß man „die Reaktion und Leistung einer Biozönose nicht aus der Summe der artspezifischen Einzelpotenzen ableiten (kann). Die Reaktionsweise ist durch vielfache Interferenz, sowohl interspezifischer Art, wie auch gegenüber den Milieufaktoren mehr als die Summe der Reaktionsnormen ihrer Einzelglieder. Neben den notwendigen experimentellen Untersuchungen an einzelnen Leitformen behalten deshalb auch ökologische Untersuchungen über die Gesamtheit ihre volle Berechtigung“.

Mit den folgenden Ausführungen möchte ich einen Überblick über eine statistische Methode geben, mit der ich versucht habe, die Verteilung einer Reihe von Indikatororganismen im Saprobiensystem objektiv zu analysieren. Als Parameter für die statistische Klassifizierung diente der Saprobien-Index von 1,0 bis 4,0. Als Klassenumfang wurden 0,2 Einheiten gewählt – entsprechend dem durchschnittlichen Sicherungsgrad (Überschreitungswahrscheinlichkeit = 0,043 nach KOLLER) der Indexwerte –, so daß 15 Klassen entstanden. Ausgewertet wurden zunächst 800 in ununterbrochener zeitlicher Folge vorgenommene Untersuchungen hinsichtlich der Präsenz und Abundanz von 182 Tier- und Pflanzenarten. Die Saprobien-Indices der 800 Untersuchungspunkte verteilen sich nicht gleichmäßig auf die Klassen, da in Württemberg wesentlich mehr mesosaprobe Ergebnisse als oligo- oder polysaprobe anfallen. Nicht die wirklich innerhalb einer Klasse festgestellte Zahl der Funde ist also in diesem Fall kennzeichnend für die Frequenz einer Art bei bestimmtem Saprobiegrad; der Prozentsatz der tatsächlichen von der möglichen Klassenbelegung jedoch – im weiteren als Konstanz bezeichnet – ermöglicht eine objektive mathematische Auswertung.

Berechnet wurde für jede der Arten der Indexschwerpunkt als arithmetisches Mittel der Konstanzwerte, woraus sich die Stellung der Art im Saprobiensystem ergibt. Ferner wurde in jedem Fall die Standardabweichung (= Streuung = s) ermittelt, die – da vom Materialumfang unabhängig – ein Maß für die Zuverlässigkeit einer Leitform darstellt. Die Abbildungen 1–6 zeigen die Verteilung (bei Präsenz) fast aller der untersuchten Organismen, zusammengefaßt in die Gruppen Makrozoen, Mikrozoen, Makrophyten und Mikrophyten, geordnet nach steigender Saprobität; die wegen ihrer Artendichte wichtigen Ciliaten und Diatomeen werden für sich behandelt.

Das Saprobiensystem geht davon aus, daß zumindest die extrem oligosaproben Leitformen den Schwerpunkt 1,0, die am stärksten polysaproben dagegen einen solchen von 4,0 besitzen. Schon theoretisch kann kein auf die beschriebene Weise berechnetes arithmetisches Mittel diese Werte annehmen. So liegen auch die Schwerpunkte der beiden am weitesten auseinanderliegenden Arten – der Kieselalge *Meridion circulare* und des Wimpertiers *Colpidium campylum* – bei 1,7 bzw. 3,6. Würde man bei einer aus dieser Untersuchung resultierenden neuen Einstufung diese Werte zugrunde legen, so würden alle späteren Indices einen gerichteten Fehler in Richtung auf den Systemschwerpunkt 2,5 enthalten. Um dies zu verhindern, müssen die Werte der beiden genannten Bezugsarten auf 1,0 bzw. 4,0 korrigiert werden; die entsprechenden Korrekturfaktoren sind auch bei allen übrigen Mittelwerten in Ansatz zu bringen. In den besprochenen Verteilungskurven sind diese Korrekturen bereits berücksichtigt.

Wie aus den gezeigten Tafeln ersichtlich ist, zeigen auch Arten gleichen oder doch ähnlichen Saprobie-Grades oftmals eine sehr unterschiedliche Verteilung im System. Neben Organismen, die kaum über eine Saprobienstufe hinausreichen, wie die Larve der Eintagsfliege *Torleya belgica* und das Wimpertier *Chilodontopsis vorax*, finden sich andere, die in keiner Stufe völlig fehlen, z. B. die Lebergeschnecke *Galba truncatula* und die Kieselalge *Surirella ovata*.

Entsprechend diesen grafisch veranschaulichten Differenzen fällt die Standardabweichung von den Mittelwerten bei den einzelnen Arten sehr unterschiedlich aus: im Minimum liegt sie zwischen $\pm 0,1$ und $0,2$ Einheiten, im Maximum über $\pm 0,6$ Einheiten des Saprobiensystems. Stellt man einen Vergleich an, wie stark die durchschnittliche Streuung in den verschiedenen Artengruppen ist, so erhält man ein aufschlußreiches Bild. Die folgende Tafel (Abb. 7) zeigt, daß wenig streuende, also zuverlässige Leitformen bei den Makrozoen viel stärker vertreten sind als bei den Ciliaten, bei diesen wieder stärker als bei den Diatomeen. Dies mag zum Teil auf stärkere Verdriftungen der mikroskopischen Formen zurückzuführen sein, denn grundsätzlich sind höher entwickelte, perennierende Arten wie Krebse, Insekten und Mollusken sicher nicht weniger an wechselnde Milieuverhältnisse anpassungsfähig als die kurzlebigen und meist viel verbreitungstüchtigeren Einzeller. Zumindest die für eine Reihe von Arten festgestellte hohe Standardabweichung wirft eine wichtige Frage auf: Welche Streuung kann für eine Leitform noch hingenommen werden, ohne das biologische Gewicht zuverlässiger