

**Untersuchungen zur Biomassenverteilung
submerser Bryophyten in der
Selbstreinigungsstrecke eines
Brauereiabwasservorfluters
(Mettma, Hochschwarzwald)**

WOLFGANG OSTENDORP

EDITH SCHMIDT

Zusammenfassung:

Im Sommer 1976 wurde mittels Bestimmung des aschefreien Trockengewichtes die Biomassenverteilung von Wassermoosen in der Selbstreinigungsstrecke eines mit Brauereiabwässern belasteten Gebirgsbaches (Mettma, Hochschwarzwald, TK25 8215) untersucht. Es stellte sich heraus, daß sich die meisten Arten als Saprobitätsindikatoren eignen. Im einzelnen konnten folgende mittleren Saprobitätsindices (n. PANTLE & BUCK 1955), mit Standardabweichung, ermittelt werden:

<i>Scapania undulata</i> (L.) DUM.	S = 1,3 ± 0,1
<i>Chiloscyphus polyanthos</i> (L.) CORDA var. <i>rivularis</i> (SCHRAD.) NEES	1,4 ± 0,1
<i>Jungermannia cordifolia</i> HOOK.	1,5 ± 0,1
<i>Platyhypnidium riparioides</i> (HEDW.) DIX.	1,5 ± 0,4
<i>Fontinalis antipyretica</i> L.	2,1 ± 0,8
<i>Hygroamblystegium fluviatile</i> (HEDW.) LOESKE	2,5 ± 0,8
<i>Leptodictyum riparium</i> (HEDW.) WARNST.	3,3 ± 0,2

Summary:

In summer 1976 the biomass distribution of aquatic mosses from the self-purifying stretch of a brewery-waste-water polluted mountain stream (Mettma, Black Forest, W.-Germany) was investigated by determining the ignition loss. It is shown that most of the species are suitable as pollution indicators. In particular the following mean degrees of saprobity (see PANTLE & BUCK 1955), with standard deviation, were determined: (see above).

Einleitung

Die möglichen Indikatoreigenschaften der Wassermoose bei der Gewässergütebeurteilung fanden bislang im Bereich des biologischen Gewässerschutzes kaum Beachtung. Die klassischen Saprobiensysteme von KOLKWITZ (1908) und LIEBMANN (1962) führen lediglich drei Arten auf, die alle der oligosaprobien Zone zugeordnet werden. Die umfangreiche Artenliste von HANUŠKA (1956) enthält 9 Moosarten, ebenfalls aus der oligosaprobien bzw. katheroben Zone. Neuere Saprobiensysteme verzichten ganz auf Wassermoose, obwohl deren Indikatoreigenschaften für die schnelle Gewässergütebeurteilung von Vorteil sein könnten, denn die betreffenden Arten sind meist ziemlich leicht zu bestimmen und treten häufig in größeren Mengen auf. Das praxisorientierte Saprobien-system der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg stützt sich so u. a. auf *Fontinalis antipyretica* als Indikator mit einem mittleren Saprobiegrad von 1,93 (BUCK 1971).

Methode

Die ca. 17 km lange Fließstrecke der Mettma wurde in insgesamt 11 Abschnitte mit einer Länge von je 1 oder 2 km unterteilt. Die Zählung beginnt an der Mündung der Mettma in die Schlucht mit dem Abschnitt „km 0—2“. Einen zusätzlichen Abschnitt (km 4—6) stellt der Mettma-Stausee dar, der keine submerse Moosvegetation aufweist und daher außer Betracht gelassen werden konnte. Aus jedem dieser Abschnitte wurden 3 Zufallsproben entnommen. Hierzu wurde eine definierte Fläche, meist von 1 m Länge und der jeweiligen Breite des Baches abgesteckt, die darin enthaltenen Makrophyten quantitativ entfernt, im Labor mit einem scharfen Wasserstrahl ausgewaschen und nach Arten sortiert. Von diesen Fraktionen wurde das aschefreie Trockengewicht bestimmt. Der größte systematische Fehler liegt in der Probeentnahme, da sich die Makrophyten oft nicht vollständig vom Substrat lösen lassen. Die Mettma war als Untersuchungsobjekt aus folgenden Gründen besonders gut geeignet:

1. Sie besitzt nur eine punktförmige Abwassereinleitung mit daran anschließender Selbstreinigungsstrecke, an deren Ende der oligosaprobe Zustand wiederhergestellt wird.
2. Der Bach bietet mit einer Länge von 17 km, einer Breite von 2 bis 8 m und einer Tiefe von 0,1 bis 0,5 m ein gut zugängliches Untersuchungsobjekt.
3. Die Selbstreinigungsstrecke ist durch zahlreiche Arbeiten (FRANKE & SCHWOERBEL 1972, HEIM 1971, REICHARDT & SIMON 1972, SCHREIBER 1975) ausführlich beschrieben worden, so daß auf die dabei gewonnenen Daten zurückgegriffen werden konnte.

Die Mettma: Hydrographie, Belastung, begleitende Vegetation

Die Mettma entspringt im Südschwarzwald am südöstlichen Ende des Schluchsees über Granit und Porphyr in 1030 m Höhe und mündet nach ca. 17 km Fließstrecke in die Schlucht. Ausführliche Angaben über Hydrographie und Chemie des Gewässers finden sich bei FRANKE & SCHWOERBEL (1972).

Die Lichtverhältnisse auf dem Bachgrund werden überwiegend durch mitgeführte Sink- und Trübstoffe, besonders entlang km 13 und 12 nach der Abwassereinleitungsstelle, sowie durch die bachbegleitende Vegetation bestimmt, denn nur über geringe Strecken fließt die Mettma durch völlig offenes Gelände (Fettwiesen zw. km 14 und 15), meist ist es halbschattig mit nitrophilen Hochstauden, Himbeergebüschen und fragmentarischem Stellario-Alnetum oder vollschattig, besonders am Unterlauf mit Galio-Piceetum und Acero-Fraxinetum. Im allgemeinen dringen noch 80—95 % des einfallenden Lichtes bis in 10 cm Wassertiefe vor (FRANKE & SCHWOERBEL l. c.).

Die Hartsubstrate, an die das Vorkommen von Wassermoosen gebunden ist, d. h. Grobkiese (ϕ 20—63 mm) und Gerölle bzw. Blöcke (ϕ 63—200 mm und darüber) kommen in allen Bachabschnitten vor, im Ober- und Mittellauf vermehrt Kiese, im Unterlauf überwiegend Gerölle und Blöcke. Im Totwasserbereich von Bachschlingen lagern sich organische Sedimente und Sande ab, dort finden sich keine Wassermoose.

Die Belastung der Mettma entstand zum größten Teil durch stark basische, lediglich mechanisch vorgeklärte Brauereiabwässer, die über den Brunnlisbach bei km 13,85 in die Mettma geleitet wurden. Sie setzen sich vorwiegend aus gelösten Zuckern, Proteinen und organischen Salzen zusammen. Dabei wurden etwa 4 830 Einwohnergleichwerte (EGW) der Mettma zugeführt, entsprechend 90 EGW pro l/s Normalniedrigwasser (SCHREIBER 1975). Die Selbstreinigungsstrecke war ca. 7,5 km lang, sie begann wenige Meter unterhalb der Abwassereinleitungsstelle mit einem Saprobiegrad $S = 3,6$ und endete etwa bei km 6,5 mit $S = 1,35$. Vor der Abwassereinleitung betrug der Saprobiegrad 1,2 (alle Werte umgerechnet n. SCHREIBER l. c.). Seit dem Sommer 1977 werden die Abwässer biologisch geklärt in die Mettma geleitet.

Diskussion

Im Verlauf der Selbstreinigungsstrecke zeigt die makrophytische Wasservegetation charakteristische Änderungen hinsichtlich ihrer Gesamtbio-masse und ihrer floristischen Zusammensetzung (vgl. Tab. 1). Da in den einzelnen Bachabschnitten Faktoren wie Gefälle, Bachgrund, Fließgeschwindigkeit usw. weitgehend identisch sind, muß angenommen werden, daß der Selbstreinigungsgrad die Verteilung der submersen Makro-

Tab. 1:

Biomassenverteilung submerser Makrophyten in den einzelnen Untersuchungsabschnitten der Mettma, beginnend mit km 0—2 an der Mündung; Mittelwerte aus drei Zufallsproben. TS = Trockensubstanz.

Weiterhin wurden folgende Arten gefunden: *Porella cordaeana* (km 15—16: 0,06 g TS/m²), *Thamnobryum alopecurum* (km 0—2: 0,14 g TS/m²; km 2—4: 0,08 g TS/m²), *Brachythecium rivulare* (km 2—4: 0,1 g TS/m²), *Nasturtium officinale* (km 15—16: 0,06 g TS/m²), *Lemanea annulata* (km 0—2: 0,03 g TS/m²).

Biomasse (g TS/m ²)	km	0—2	2—4	6—8	8—10	10—11	11—12	12—13	13—14	14—15	16—17	15—16
<i>Scabimia</i> <i>undulata</i>		.	.	0,42	0,13	.	.	.	.	0,01	1,10	0,01
<i>Chiloscyphus poly-</i> <i>anthos</i> var. <i>rtv.</i>		12,0	10,05	7,67	7,90	0,05	.	.	.	0,13	0,80	0,19
<i>Jungermannia</i> <i>cordifolia</i>		.	.	4,22	4,40	.	.	.	.	.	.	.
<i>Platyblymidium</i> <i>riparioides</i>		0,07	4,82	15,08	4,66	9,53	0,36	.	.	3,69	.	14,79
<i>Fontinalis</i> <i>antipyretica</i>		1,08	.	0,21	0,31	14,46	2,32	5,35	.	11,74	2,24	.
<i>Hygroamblystegium</i> <i>fluviatile</i>		.	0,28	.	.	.	0,18	0,70	.	0,32	.	.
<i>Lepidodictyum</i> <i>riparium</i>		0,07	0,04	0,48	.	.	.	.
<i>Callitriche</i> <i>hamulata</i>		.	.	1,07	0,01	2,93	.	0,03	.	48,87	.	0,40
<i>Glyceria</i> <i>fluvians</i>		0,06	0,06	.	.	1,82	.

phyten bestimmt. Allerdings werden die lichtereren Standorte bevorzugt von *Callitriche hamulata*, die halbschattigen von Laubmoosen und die vollschattigen mehr von Lebermoosen besiedelt.

Vor der Abwassereinleitung (km 14—15) ist die Mettma aufgrund der Nährstoffzufuhr durch eine Fettweide besonders makrophytenreich (durchschnittlich Biomasse 64 g TS/m²). In den ersten Fließkilometern nach der Abwassereinleitung sinkt die Biomasse auf durchschnittlich 0 bzw. 6,6 g TS/m² (vgl. Abb. 1). Ein Maximum erreicht sie in der Selbstreinigungsstrecke zwischen km 6 und 8 mit 28,7 g TS/m², um im Unterlauf erneut abzusinken. Diese Abnahme ist möglicherweise auf Beeinflussung des Nährstoffhaushaltes durch den Mettma-Stausee (km 4—6) zurückzuführen. Das Artenspektrum ändert sich im Verlauf der Selbstreinigungsstrecke in charakteristischer Weise (vgl. auch Abb. 2 und 3): In den stärker verschmutzten Abschnitten (km 10—13) dominieren *Fontinalis antipyretica*, *Hygroamblystegium fluviatile* und *Leptodictyum riparium*, gegen Ende der Selbstreinigungsstrecke überwiegen *Chiloscyphus polyanthos* var. *rivularis* und *Platyhypnidium riparioides*. In jedem Falle sind es aber die Wassermoose, die den weitaus größten Teil der makrophytischen Biomasse ausmachen.

Da der Saprobienindex der einzelnen Abschnitte bekannt ist (vgl. Abb. 1, Werte umgerechnet n. SCHREIBER 1975), läßt sich jeder Art aufgrund ihrer Verteilungscharakteristik in der Selbstreinigungsstrecke ein Indexschwerpunkt (Saprobiegrad) zuordnen. Graphisch ist das Ergebnis für die Arten *Fontinalis antipyretica* und *Chiloscyphus polyanthos* var. *rivularis* in Abb. 2b und 3b darstellt. Der rechnerische Weg führt über den Saprobienindex n. PANTLE & BUCK (1955) nach der Formel

$$S = \frac{\sum_i s_i \cdot k_i}{\sum_i k_i}$$

S — Saprobiegrad einer Art

s_i — Saprobienindex des Untersuchungsabschnittes i

k_i — Biomassenkonzentration der betreffenden Art im Untersuchungsabschnitt i

wobei zwischen Saprobienindices und Beschaffenheitsklassen nach KOLKWITZ (1908) bzw. LIEBMANN (1962) folgende Beziehung besteht:

oligosaprob	—	S = 1,0 — 1,5
β-mesosaprob	—	S = 1,5 — 2,5
α-mesosaprob	—	S = 2,5 — 3,5
polysaprob	—	S = 3,5 — 4,0

Entsprechend der oben angegebenen Formel ist die Standardabweichung (für n endlich) zu berechnen. Nicht berücksichtigt wurde bei der statistischen Auswertung die unterschiedliche Frequenz der einzelnen Arten sowie die ungleichmäßige Besetzung der Saprobienindices 1 bis 4 durch die Bachabschnitte.

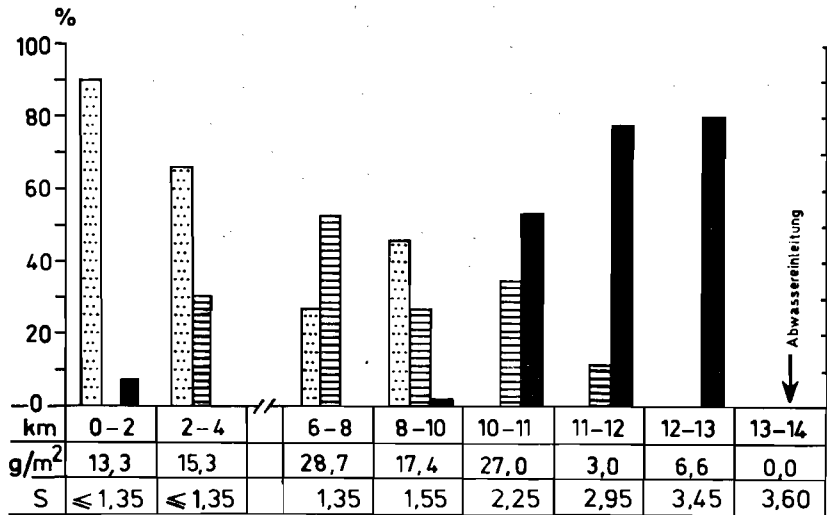


Abb. 1: Prozentuale Zusammensetzung der makrophytischen Biomasse in den einzelnen Bachabschnitten (km 0—2 usw.), eingezeichnet sind nur die Anteile von *Fontinalis antipyretica* (schwarz) mit S = 2,1, *Platylhypnidium riparioides* (quergestreift) mit S = 1,5 und *Chiloscyphus polyanthos* var. *rivularis* (punktiert) mit S = 1,4. Darunter sind die Gesamtbiomasse in g TS/m² und der mittlere Saprobienindex des betreffenden Bachabschnittes eingetragen.

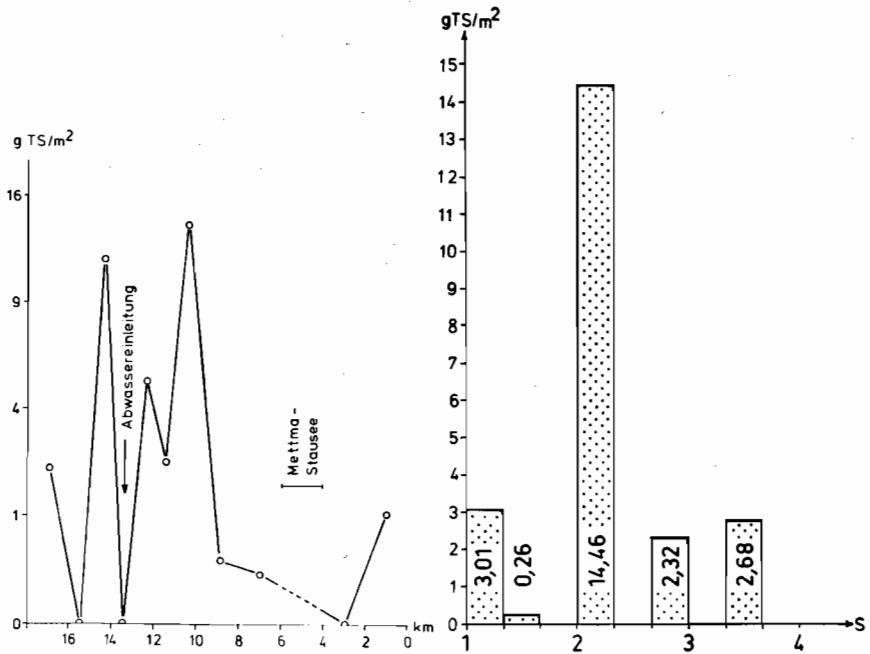


Abb. 2(a)

Abb. 2(b)

Abb. 2: Durchschnittliche Biomassenkonzentration in g TS/m² von *Fontinalis antipyretica* L., aufgetragen

2(a): im Bachverlauf, beginnend mit km 16—17 am Oberlauf, Ordinate quadratisch gestaucht

2(b): als Histogramm gegen die Saprobitätsindices der Bachabschnitte.

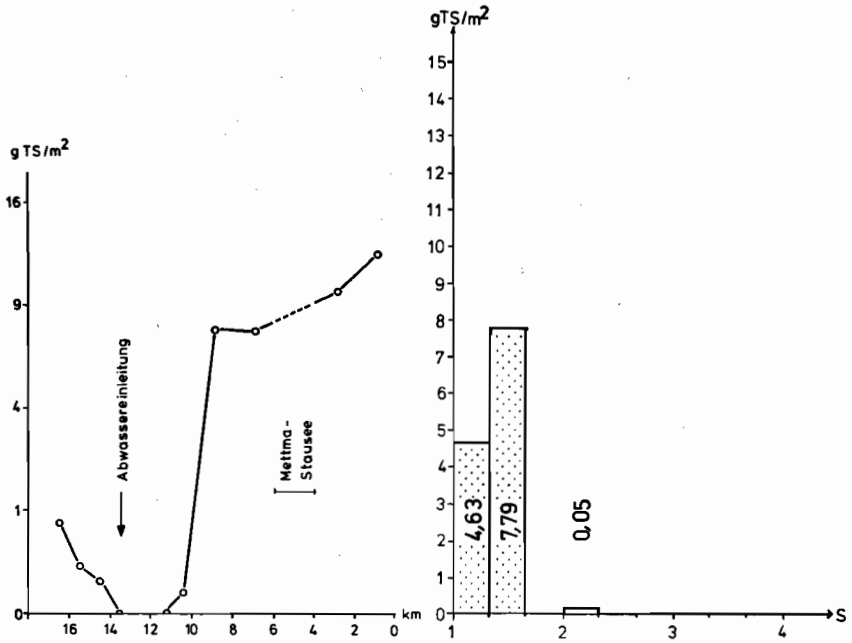


Abb. 3(a)

Abb. 3(b)

Abb. 3: Durchschnittliche Biomassenkonzentration in g TS/m² von *Chloscyphus polyanthos* var. *rivularis*, gemäß Abb. 2(a) und (b).

Im einzelnen erhalten folgende Arten die Saprobieschwerpunkte (m. Standardabweichung und Einstufung in die o.g. Beschaffenheitsklassen):

<i>Scapania undulata</i>	S = 1,3 ± 0,1 (oligosaprob)
<i>Chiloscyphus polyanthos</i> var. <i>riv.</i>	S = 1,4 ± 0,1 (oligosaprob)
<i>Jungermannia cordifolia</i>	S = 1,5 ± 0,1 (oligo- bis β-mesosaprob)
<i>Platyhytnidium riparioides</i>	S = 1,5 ± 0,4 (oligo- bis β-mesosaprob)
<i>Fontinalis antipyrhetica</i>	S = 2,1 ± 0,8 (β-mesosaprob)
<i>Hygroamblystegium fluviatile</i>	S = 2,5 ± 0,8 (β- bis α-mesosaprob)
<i>Leptodictyum riparium</i>	S = 3,3 ± 0,2 (α-mesosaprob)

Trotz dieser Zahlenwerte kann nicht von vornherein davon ausgegangen werden, daß alle Arten brauchbare Leitformen für die Gewässergütebeurteilung darstellen. Als gute Leitformen sollten sie möglichst folgenden Kriterien genügen:

- a) gute taxonomische Identifizierbarkeit
- b) leichte Zugänglichkeit bei der Probenahme
- c) genaue Kenntnis der Stoffwechselphysiologie
- d) keine zu enge geographische Verbreitung
- e) enge Bindung an eine Beschaffenheitsklasse

Die beiden ersten Voraussetzungen sind in ausreichender Weise gegeben. Geeignete stoffwechselphysiologische Untersuchungen gemäß Kriterium c) liegen nur in geringem Umfang vor und wurden meist an *Fontinalis antipyrhetica* gewonnen (BAUER 1973, SCHWOERBEL & TILLMANN 1964; vgl. FRAHM 1975 und 1976). Von den beobachteten Moosen sind alle weiter verbreitet, lediglich *Scapania undulata* und *Jungermannia cordifolia* werden nur in den Mittelgebirgen angetroffen. Die Bindung an eine Beschaffenheitsklasse bzw. die Streuung über den Saprobitätsbereich 1 bis 4 ist für die einzelnen Arten sehr unterschiedlich (s. o.). Gute Leitarten mit einer geringen Streuung sind *Scapania undulata*, *Chiloscyphus polyanthos* und *Jungermannia cordifolia*. *Fontinalis antipyrhetica* und *Hygroamblystegium fluviatile* mit Streuungen von mehr als 0,4 Einheiten können dagegen nicht mehr als Leitformen angesehen werden (BUCK 1971). Diese einschränkenden Umstände sind bisher häufig nicht mit in die Beurteilung der Indikatoreigenschaften von Wassermoosen einbezogen worden.

Die Tab. 2 gibt eine kurze Übersicht über die bisherigen Ergebnisse verschiedener Autoren. Sie zeigt, daß die Saprobitätsschwerpunkte einzelner Arten sehr unterschiedlich beurteilt werden, so daß noch einige systematische Untersuchungen notwendig sind, bis die Wassermoose als zuverlässige Leitformen mit gesicherten Saprobitätsschwerpunkten zur Gewässergütebeurteilung herangezogen werden können.

Tab. 2: Übersicht über die Ergebnisse verschiedener Autoren. Die Saprobien-Klassen sind sinngemäß abgekürzt, die xenosaprobe Stufe entspricht der katharoben und liegt in der Belastung unter der oligosaprobe.

	FRAHM, J.-P. (1974)	HANUSKA, L. (1956)	LIEBMAN, H. (1962)	SLÁDEČEK, V. (1973)	ZIMMERMANN, P. (1961)	eigene Ergebnisse
<i>Chiloscyphus polyanthos</i> (L.) CORDA var. <i>riv.</i>	—	—	—	xenos.- oligos.	—	oligos.
<i>Cinclidotus aquaticus</i> (HEDW.) B.S.G.	—	oligos.	oligos.	oligos.	—	—
<i>Cinclidotus fontinaloides</i> P. BEAUV.	b-mesos.	—	—	—	—	—
<i>Cinclidotus nigricans</i> (BRID.) WIJK & MARG.	b-mesos.	—	—	—	—	—
<i>Cratoneurum commutatum</i> (HEDW.) ROTH	—	—	—	xenos.	—	—
<i>Fontinalis antipyretica</i> L.	(oligos.)	oligos.- b-mesos.	oligo- b-mesos.	oligos.- b-mesos.	—	b-mesos.
<i>Hygroamblystegium fluviatile</i> (HEDW.) LOESKE	—	—	—	—	—	b-mesos.- a-mesos.
<i>Hygroamblystegium tenax</i> (HEDW.) JENN.	—	—	—	xenos.- oligos.	—	—
<i>Hygrohypnum alpinum</i> (LINDB.) LOESKE	—	katharob	—	—	—	—
<i>Hygrohypnum luridum</i> (HEDW.) JENN.	—	—	—	xenos.- oligos.	—	—
<i>Hygrohypnum ochraceum</i> (WILS.) LOESKE	—	—	—	xenos.- oligos.	—	—
<i>Jungermannia cordifolia</i> HOOK.	—	—	—	—	—	oligos.- b-mesos.
<i>Leptodictyum riparium</i> (HEDW.) WARNST.	a-mesos.	oligos.	—	b-mesos.	b-mesos.	a-mesos.
<i>Marsupella aquatica</i> (LINDENB.) SCHIEFN.	—	katharob	—	xenos.- oligos.	—	—
<i>Pellia endiviifolia</i> (DICKS.) DUM.	—	oligos.	oligos.	oligos.	—	—
<i>Philonotis fontana</i> (HEDW.) BRID.	—	—	—	xenos.	—	—
<i>Platyhydrium riparioides</i> (HEDW.) DIX.	—	katharob	—	—	—	oligos.- b-mesos.
<i>Scapania undulata</i> (L.) DUM.	oligos.	katharob	—	oligos.	—	oligos.
<i>Thamnobryum alopecurum</i> (HEDW.) NIEUWL.	—	katharob	—	—	—	—

Literatur

- BAUER, J. (1973): Versuche zur Phosphataufnahme durch terminale Sproßteile des Wassermoses *Fontinalis antipyretica* L. — Diplomarb. Univ. Freiburg, 36 S.
- BUCK, H. (1971): Statistische Untersuchungen zur Saprobität und zum Leitwert verschiedener Organismen. — Münchener Beitr. Abwasser-, Fischerei- u. Flußbiol. **19**: 14—44. München.
- FRAHM, J.-P. (1974): Wassermoose als Indikatoren für die Gewässerverschmutzung am Beispiel des Niederrheins. — Gewässer u. Abwasser **53/54**: 91—106.
- (1975): Toxitolanzversuche an Wassermosen. — Gewässer u. Abwasser **57/58**: 59—66.
- (1976): Weitere Toxitolanzversuche an Wassermosen. — Gewässer u. Abwasser **60/61**: 113—123.
- FRANKE, U. & J. SCHWOERBEL (1972): Hydrographie, Chemie und Nährstofffracht eines mit organischen Abwässern verunreinigten Gebirgsbaches. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **42**: 95—124.
- HANUŠKA, L. (1956): Biologické Métody Skumania a Hodnotenia Vôd. — Vydavateľ'sto Slovenskej Akadémie Vied., S. 439. Bratislava.
- HEIM, B. (1971): Beobachtungen zur freilebenden Trichopteren-gattung *Rhyacophila* an einem verunreinigten Fließgewässer (Mettma). — Staatsexamensarb. Univ. Freiburg.
- KOLKWITZ, R. & M. MARSSON (1908): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. — Ber. dt. bot. Ges. **26a**: 505—519.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1975): Gütezustand der Gewässer, Erläuterung zu den Karten: Belastung mit organischen Stoffen aus Abwässern und deren Abbauprodukten, Sauerstoffversorgung. — Karlsruhe.
- LIEBMANN, H. (1962) Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. — Bd. 1: 1—588. 2. Aufl. Jena.

- PANTLE, R. & H. BUCK (1955): Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. — Besond. Mitt. dt. gewässerk. Jb. **12**: 135—143.
- REICHARDT, W. & M. SIMON (1972): Die Mettma — ein Gebirgsbach als Brauereivorfluter. Mikrobiologische Untersuchungen entlang eines Abwasser-Substratgradienten. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **42**: 125—138.
- SCHREIBER, I. (1975): Biologische Gewässergütebeurteilung der Mettma anhand des Makrobenthos: Methodenvergleich. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **47**: 432—457.
- SCHWOERBEL, J. & G. C. TILMANN (1964): Untersuchungen über die Stoffwechselfynamik in Fließgewässern. II. Experimentelle Untersuchungen über die Ammoniumaufnahme und pH-Änderung im Wasser durch *Callitriche hamulata* KÜTZ und *Fontinalis antipyretica* L. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **28**: 259—267.
- SLÁDEČEK, V. (1973): System of water quality from the biological point of view. — Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **7**, IV + 218 S.
- ZIMMERMANN, P. (1961): Experimentelle Untersuchungen über die ökologische Wirkung der Strömungsgeschwindigkeit auf die Lebensgemeinschaft des fließenden Wassers. — Schweiz. Zeitschr. Hydrol. **23**: 1—81.

Anschriften der Verfasser:

W. Ostendorp, Danziger Str. 9, D-4618 Kamen

E. Schmidt, Haslacher Str. 176a, D-7800 Freiburg