

FLIESSWASSERALGEN UND IHRE VERWENDBARKEIT ALS BIOINDIKATOREN

D. BACKHAUS

Abstract

Diatoms are being more and more favoured in the characterization of flowing waters and the estimation of water quality. Relatively little is known about the ecology of the other groups of sessile algae. The periphyton (on artificial substrates) in eight streams or rivers from different geological formations in southwest Germany was investigated over a period of one year to increase the knowledge of the ecological properties of these algae. Of the 60 algal taxa found (excluding diatoms), the most frequent twelve are notable for their constant presence, from the softest waters flowing over igneous rocks to the hardest calcareous streams. Among these species there seems to be a graduation in the tolerance to water pollution. A further group inhabits exclusively calcareous waters, without (apart from a few exceptions) having particular indicator value within this region. The last group consists of algae which are confined to closely related types of waters, or even to a single stream. Among these *Staurastrum punctulatum* is a good indicator for the hyporhithron of the New Red Sandstone, and *Monostroma bullosum* for that of Shell Limestone and Jurassic Limestone. With increasing hardness of water the number of algal taxa rises. In general, the stream algae observed here tend to show an ubiquitous distribution. This phenomenon could be caused by the fluctuation of the physico-chemical factors which is typical of flowing waters.

1. Einleitung

Soweit bei der Charakterisierung, Beurteilung und Überwachung von Fließgewässern Mikrophytencoenosen mit zur Bewertung herangezogen werden, finden in erster Linie die Kieselalgen besondere Berücksichtigung. Richtungsweisend für diese Tendenz sind z.B. die weitgefächerten Besiedlungsanalysen von CHOLNOKY (1968), HOHN (1963, 1964) PATRICK (1949, 1951, 1954, 1963, 1968) aber auch die spezielleren Untersuchungen von SCHEELE (1952), DOUGLAS (1958), BESCH *et al.* (1972), SCHENK (1973) und anderen.

Demgegenüber haben die Fließwasserbewohner der übrigen Algengruppen, abgesehen von den Krustenalgen und sonstigen auffallenden makroskopischen Formen, bisher relativ wenig Beachtung gefunden. Trotz der grundlegenden Arbeiten von BUTCHER (1931, 1932a,b, 1946, 1947, 1949, 1955) sucht man in den meisten Algenlisten vergeblich nach so weit verbreiteten und häufigen Arten wie *Sphaerobotrys fluviatilis*, *Uvella frequens*, *Protoderma* spec. (BACKHAUS 1968), *Hydrococcus cesatii* u.v.a. Erst in jüngerer Zeit ist diese wenig bekannte Gruppe wieder stärker in die ökologische Fließgewässeruntersuchung einbezogen worden (BACKHAUS 1967, 1968a,b,c, FRIEDRICH 1973). Trotzdem sind die Kenntnisse über die Mehrzahl dieser Formen noch sehr gering, sowohl in systematisch-taxonomischer als auch in ökologischer Hinsicht.

Die vorliegende Untersuchung verfolgt deshalb das Ziel, weitere Daten zur Verbreitung und Ökologie dieser wenig bekannten Algen zu sammeln, die in mehr oder weniger auffälliger Form die untergetauchten Gegenstände in Bächen und Flüssen überziehen. Besonders interessierte die Frage, welche Aufwuchsgesellschaften in den Fließgewässern der verschiedenen geologischen Regionen Südwestdeutsch-

lands anzutreffen sind, in welcher Weise sie jeweils auf die zunehmende Verunreinigung ihrer Biotope reagieren, und ob Ansatzpunkte gegeben sind, das auf Mikrophytengesellschaften basierende Saprobien-system von FJERDINGSTAD (1965) auf Mittelgebirgsflüsse auszudehnen.

2. Methodik

Da ein grosser Teil der Aufwuchsalgen kriechsohlenartige oder ähnlich flache Thalli besitzt, führt ein einfaches Abkratzen des Algenmaterials zur Zerstörung der spezifischen Wuchsformen und damit zur Unbestimmbarkeit vieler Taxa. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, bei der Untersuchung derartiger Formen künstliches Substrat einzusetzen, auf dem die Algen direkt in ihrer natürlichen Anordnung mikroskopiert werden können. Hierfür eignen sich dünne Klarsichtfolien aus Polyäthylen besonders gut (BACKHAUS 1967).

In Abwandlung der von BACKHAUS (1967) beschriebenen Methode (vergl. SCHWOERBEL 1966) wurden während dieser Untersuchung die Folien mit Hilfe wasserfester Klebstreifen faltenlos auf spezielle Trägerkörper aufgeklebt, wie sie z.T. auch von BESCH *et al.* (1967) verwendet wurden (Abb. 1). Für flache Gewässer fanden dünne, plattenartige Unterlagen Verwendung, die mittels Eisenstangen waagrecht, dicht über dem Bodengrund gehalten wurden. In tieferen Abschnitten wurden walzenartige Schwimmkörper an langer Ankerleine verwendet, die von der Strömung unter die Wasseroberfläche gedrückt wurden. Die walzenförmigen Trägerkörper haben den Vorteil, dass sie auch unter Hochwasserbedingungen noch erreichbar sind, weil sie mit Hilfe von Fangleinen seitlich ans Ufer gezogen werden können. Die Bewuchsfläche auf den Platten umfasst 15 x 15 cm, auf den Walzen 10 x 30 cm. Die Expositionsdauer betrug in Anlehnung an diesbezügliche frühere Testuntersuchungen (BACKHAUS 1967) jeweils 30 Tage. Insgesamt wurde ein voller Jahreszyklus an 40 verschiedenen Probenstellen untersucht.

Für die Analyse der Aufwuchsgesellschaften wurde eine um einen quantitativen Aspekt erweiterte Skala zur Schätzung der Abundanzen nach SCHMITZ (1955, 1965) benutzt (Tab. 1).

Tab. 1 Skala zur Schätzung des Mikrophytenbewuchses

Absolute Menge	Relative Menge
Algenbewuchs	
1 = sehr spärlich	90 = 80 – 100%
2 = spärlich	70 = 60 – 80%
3 = mässig	50 = 40 – 60%
4 = mittelstark	30 = 20 – 40%
5 = stark, üppig	15 = 10 – 20%
6 = sehr stark	7,5 = 5 – 10%
7 = Massenentwicklungen	2,5 = 1 – 5%
	1 = ca. 1%
	+ = unter 1%
	0 = unter 0,1%

Die chemischen Angaben beruhen auf Analysenwerte, die 1969/1970 über 1 Jahr lang in monatlichen Abständen aus Einzelproben von jeder Untersuchungsstelle ge-

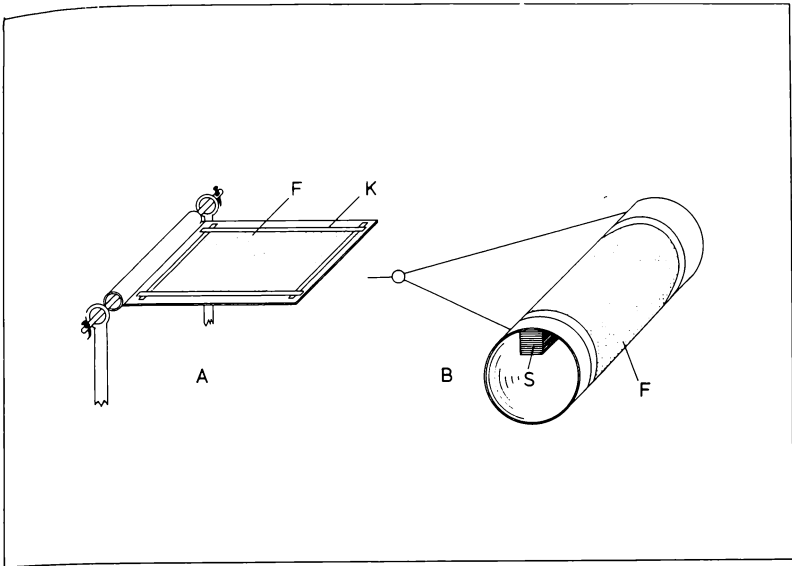


Abb. 1: Trägerkörper mit aufgeklebter PÄ-Folie, (A) für flaches Wasser, (B) für tiefes Wasser.
 F = Folie, K = Klebestreifen, S = Styroporblock.

wonnen wurden. Die Anionen- und Kationenanalysen beruhen auf Vorschriften der "Deutschen Einheitsverfahren" (1960). Der Gehalt des Wassers an gelöstem org. Kohlenstoff wurde mit einem BECKMANN-C-Analyzer gemessen.

3. Untersuchte Gewässer

Wegen der Vielfältigkeit der geologischen Formationen im südwestdeutschen Raum fließen die meisten Gewässer nicht überall über einheitlichem Gesteinsuntergrund. Vielfach überschneiden sie andere Formationen oder werden durch Zuflüsse aus anderen Regionen in ihrer Einheitlichkeit gestört. Gewünscht waren jedoch gesteins-spezifische Gewässer, um Aufschluss über das Grundmuster der geologisch bedingten Algenverteilung zu erhalten. Da ausserdem jeweils eine Skala unterschiedlicher Verunreinigungsgrade repräsentiert sein sollte, kamen folgende Gewässer in die engere Wahl:

auf Urgestein (Granit):	Bühlot (Rheinzuffluss bei Bühl)
" Rotliegendem:	Selbach (Murgzuffluss bei Gernsbach)
" Buntsandstein:	Grosse Enz (Oberlauf - Pforzheim)
" Muschelkalk:	Kirnau - Seckach (Nordbaden)
" Keuper:	Kirbach - Metter (Enzzuffluss bei Bietigheim)
" Löss - Lehm:	Kraichbach
" Lias:	Erlengraben (Kraichbachzuffluss bei Bad Mingolsheim)
" Malm (Weissjura):	Schmiecha - Lauchert (Donauzuffluss bei Sigmaringen)

Bei den genannten Gewässern handelt es sich um Bergbäche der Mittelgebirgsregion. Nur der Kraichbach fällt aufgrund seines geringen Gefälles im Kraichgauer Hügelland etwas aus dem Rahmen. In jedem Gewässer mit Ausnahme des Erlengra-bens wurde mindestens eine Beobachtungsstelle in einem von Abwässern unberührt, eine in einem eutrophierten oder nur mässig verunreinigten und eine in einem stärker belasteten Abschnitt eingerichtet. Während unbelastete Strecken vielfach nur noch in den Oberläufen angetroffen wurden, ist die Lage der stärker verunreinigten Bereiche unterschiedlich auf den weiteren Bach- oder Flussverlauf verteilt. Vielfach beginnt nach starker Abwasserbelastung im Mittellauf eine lange ungestörte Selbstreinigungsstrecke, an deren Ende wieder gute Wasserqualitäten erreicht werden.

Die Lage der einzelnen Untersuchungspunkte kann aus Platzgründen hier nicht im Detail beschrieben werden. Die aufgeführten Stationsbezeichnungen beziehen sich auf entsprechende Numerierungen in der Gütekarte von Baden-Württemberg (Innenministerium B. - W. 1969).

4. Ergebnisse

A. Chemische Befunde

Zur ökologischen Charakterisierung der einzelnen Gewässer sind aus Gründen einer besseren Überschaubarkeit der Fülle der physikalischen und chemischen Befunde in der Tab. 2 nur die Extremwerte aufgeführt, so dass die Spannweiten der einzelnen Komponenten sichtbar werden. Die Zahlenwerte stellen den Jahresmittelwert jeweils des saubersten und des am stärksten verunreinigten Gewässerabschnittes dar. Alle übrigen Untersuchungspunkte liegen zwischen diesen Extremwerten. Unabhängig von ihrer erdgeschichtlichen Aufeinanderfolge sind die geologischen Formationen dabei so nebeneinandergestellt, dass die Härte- und pH-Werte ihrer Gewässer eine ansteigende Reihe ergeben.

Hinsichtlich der Gesamthärte (GH), dem pH, der Leitfähigkeit und dem SBV können die Gewässer auf Granit, Rotliegendem und Buntsandstein zu einer Gruppe mit ausgesprochen niedrigen Ausgangswerten zusammengefasst werden. Auch der Chloridgehalt ist hier sehr niedrig. Der Wechsel vom Buntsandstein zu den Jurakalken, dem nächsten Glied in der ansteigenden Reihe, stellt einen relativ grossen Sprung im Anstieg der oben genannten Parameter dar: bei der Härte beträgt er rund 14° dH, bei der Leitfähigkeit fast $480 \mu\text{S}$ und beim SBV $5 \text{ ml}^n/10 \text{ HCl}$. Dieses hohe Niveau der Werte im Reinwasserbereich bleibt bei den übrigen Kalkformationen ziemlich gleich und steigert sich nur noch bei den Leitfähigkeitswerten des Löss-Lehm-Gewässers noch einmal in stärkerem Masse. Bei den Parametern für den Nährstoffgehalt sind keine derartigen Unterschiede zu erkennen.

Insgesamt reicht die Palette der Werte bei der GH von $0,9^{\circ}$ bis über 40° dH, beim pH von 6,2 bis 8,0 und bei der Leitfähigkeit von $35 \mu\text{S}$ bis $1205 \mu\text{S}$. Beim BSB konnte die volle Höhe der Zehrung nicht immer festgestellt werden, da aus technischen Gründen nur die Möglichkeiten zur unverdünnten Messung des BSB₂ gegeben waren und der z.T. nur in geringer Menge vorhandene Sauerstoff mehrfach völlig aufgezehrt wurde. Als Mass für die Belastung mit organischen Substanzen dient primär der Gehalt des Wassers an organischem Kohlenstoff, der in unfiltriertem Wasser gemessen wurde. Er reicht von 0,6 bis 44,5 mg C/l.

	Bühlrot (Granit)	Selbach (Rotliegendes)	Gr. Enz (Buntsandstein)	Schmiecha-Lauchert (weißer Jura)	Kirnau-Seckach (Muschelkalk)	Kirbach-Metter (Keuper)	Erlengraben (Lias)	Kraichbach (LÖß - Lehm)
GH °dH	0,9-2,6	1,7-4,1	0,8-8,1	15-16	16-22	17-33	22,7-24,9	26,4-40,1
pH	6,2-6,8	6,5-7,2	6,3-7,3	7,3-8,1	7,4-7,7	7,8-8,0	7,7-7,8	7,4-7,9
Leitf. / μ S	35-129	84-164	22,6-857	501-1010	518-774	571-981	697-1205,6	824-1200
SBV ml $\frac{n}{10}$ HCl	0,2-0,8	0,5-0,9	0,2-2,7	5,2-5,8	5,0-6,4	6,1-6,4	5,5-5,7	5,8-6,4
o-PO ₄ mg P/l	0,05-0,43	0,06-0,28	0,01-0,79	0,03-2,33	0,05-0,84	0,03-0,54	0,03-1,12	0,04-1,38
NO ₃ mg N/l	1,02-2,22	0,89-1,81	0,39-3,22	0,97-2,90	2,49-4,16	0,57-3,94	0,68-4,4	2,48-5,35
NH ₄ mg N/l	0,13-0,76	0,11-0,45	0,03-2,45	0,07-8,61	0,04-5,68	0,12-0,86	0,11-4,44	0,06-5,27
gel. org. C mg/l	1,4-2,9	1,9-2,6	0,6-8,1	0,7-44,5	0,87-7,17	2,1-4,6	2,7-6,4	0,8-5,6
BSB ₂ mg/l	1,4-3,3	1,4-1,7	0,6-7,4	0,9->10	1,1-4,5	1,0-4,1	1,9->5	0,9->10
Cl ⁻ mg/l	2,9-8,8	5,2-10,0	1,7-22,3	7,8-122,6	8,3-24,5	11,8-24,6	11,6-170,9	17,9-149,3
O ₂ -Sätt. ‰	102-107	99-102	101-107	65,9-103	74-101	90-104	73-89	47-100

Abb. 2: Extremwerte chemischer und physikalischer Daten von Gewässern auf unterschiedlichem geologischen Untergrund (Jahresmittelwerte jeweils eines sauberen und eines stark verunreinigten Gewässerabschnittes).

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass viele Gewässerabschnitte, die makroskopisch längst keinen sauberen Anblick mehr bieten, einen geringeren C-Gehalt haben können als solche mit relativ klarem Wasser.

Der Ammoniumgehalt, der ebenfalls als geeignetes Mass für die Einstufung nach Belastungsgraden mit herangezogen werden kann (Innenministerium B.-W. 1969), schwankt bereits in den unbelasteten Gewässerabschnitten in beträchtlichem Masse. Werte über 0,13 mg N (NH₄)/l wurden dort jedoch nirgendwo erreicht. Sie liegen, gemessen an den Kriterien für die Definition der bei der Gütekarte benutzten Belastungsstufen, noch sämtlich im Bereich der "Belastungsstufe I" ("nicht, bzw. gering mit organ. Stoffen belastet"). In den am stärksten verunreinigten Gewässern liegen die Höchstwerte im Durchschnitt bei rund 4,5 - 8,5 mg N (NH₄)/l.

B. Biologischer Befund

Das Ergebnis der Aufwuchsanalyse von einem Jahreszyklus schlägt sich für jede einzelne Sammelstelle zunächst in einer umfangreichen Tabelle nieder, ähnlich wie sie in der klassischen Pflanzensoziologie üblich sind. Diese 40 Tabellen können an dieser Stelle nicht sämtlich aufgeführt werden. Als Beispiel wird in der Tab. 3 deshalb nur die Liste der Station 443 (Lauchert b. Hettingen) herausgegriffen. In die Tabellen sind zur weiteren Abrundung des Bildes auch die vorhandenen Bakterien, Pilze und sonstigen farblosen Mikrophyten mit aufgenommen. Sie stellen häufig einen wichtigen und dominierenden Bestandteil der Phytocoenose dar. Eine stetige Komponente dieser Gruppe sind z.B. fädige Bakterien, die mit der Basis festgeheftet sind. Im Winter ist auch *Sphaerotilus dichotomus* (*Sphaerotilus natans*

f. *dichotoma* (COHN) PRINGSH.) regelmässig vertreten.

Unter den Algen der Sammelstelle 443 hebt sich eine Gruppe von 5-8 Taxa ab, die mit ziemlicher Regelmässigkeit und hohen Abundanzwerten das ganze Jahr über erscheint. Zu ihr gehören z.B. *Chamaesiphon incrustans*, *Sphaerobotrys fluvialis*, *Uvella frequens*, *Sporotetras pyriformis*, aber auch *Hydrurus foetidus*.

Die Monate Februar und März waren nahezu ohne jeglichen Algenbewuchs. Derartige algenfreie Zeiträume konnten auch an den meisten übrigen Probenstellen beobachtet werden.

In einem weiteren Schritt sind sodann die Einzeltabellen sämtlicher Stationen zu einer kombinierten Stetigkeitstabelle zusammengefasst worden (Tab. 4a-d). Im Kopf der Tabelle sind die Untersuchungsstationen jeder geologischen Formation unabhängig von ihrer jeweiligen Lage im zugehörigen Fluss-System nach dem zunehmenden Grad der Verunreinigung angeordnet. Kriterium hierfür ist der Gehalt des Wassers an gel. organ. C, Chlorid und Ammonium sowie der BSB₂ und die el. Leitfähigkeit.

Ferner ist die Anzahl der exponierten Folien angegeben, die während des Zeitraumes eines Jahres pro Station untersucht werden konnten. Verschiedentlich liessen Hochwasserstöße oder die Neugier von Bauern und Anglern nur 4 von 12 Trägerkörpern eines Untersuchungspunktes übrig.

Die Zahlenwerte der Tabelle hinter den Algennamen geben an, wie oft das betreffende Taxon in der oben erwähnten Gesamtprobenzahl erschienen ist. In Klammern steht jeweils die höchste Abundanzstufe, die von der Alge erreicht wurde. Beispiel: *Hydrurus foetidus* war am Untersuchungspunkt 273 auf allen 5 eingesam-

Untersuchungsdatum	10.11. 69	9.12. 69	7.1. 70	2.2. 70	3.3. 70	7.4. 70	4.5. 70	6.7. 70	3.8. 70	5.10. 70	2.11. 70
Bewuchsdichte Diatomeen	4	3	3	0	1	2	2	4	2	5	5
übrige	2	2	1	0	1	3	2	3	5	3	3
Anzahl der Taxa	7	10	12	0	4	10	11	8	9	12	16
1 Bakterien, fädig, basal festgeheftet	30	.	70	.	.	15	15	.	7,5	1	7,5
2 Sphaerotilus dichotomus	.	7,5	7,5	.	2,5	2,5	+	.	.	1	.
3 Zoogloeen spp.	.	.	.	.	2,5	1	15	15	.	+	.
4 Fungi spp.	.	.	.	.	90	.	.	.	.	.	.
5 Siderocapsa monoeca	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
6 Hydrurus foetidus	15	.	7,5	.	.	70	70	.	30	.	1
7 Chamaesiphon incrustans	7,5	2,5	2,5	.	.	7,5	7,5	2,5	30	30	15
8 Sphaerobotrys fluriatilis	7,5	30	7,5	.	+	+	+	50	.	1	7,5
9 Ulvella frequens	7,5	20	7,5	.	.	.	.	.	15	2,5	15
10 Monostroma bullosum	2,5	30	+	.	.	.	.	.	15	15	50
11 Hydrococcus cesatii	.	.	.	.	.	.	+	0	2,5	7,5	2,5
12 Sporotetras pyriformis	.	7,5	1	.	.	.	.	7,5	.	2,5	2,5
13 Chamaesiphon subglobosus	15	+	.	.	.	.	2,5	.	.	.	.
14 Protoderma spec.	.	.	.	.	.	.	0	+	2,5	2,5	.
15 Phaeoplaca spec. (?)	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	1
16 Hydrococcus rivularis	.	.	0	.	.	.	1	1	.	.	.
17 Ulothrix tenuissima	.	+	0	.	.	.	.	.	.	.	+
18 Stigeoclonium spec.	.	.	0	.	.	.	.	1	.	.	+
19 Stigeoclonium faretum	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+
20 Oedogonium spec.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	+
21 Homoeothrix varians	.	.	.	.	.	.	0	.	.	1	+
22 Draparnaldia mutabilis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
23 Chaetopeltis orbicularis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+

Tab. 3: Mikrophytenbewuchs der Polyäthylensubstrate an der Probenstelle 443 Lauchert b. Hettingen (Weisser Jura). Die Zahlenreihen hinter den einzelnen Taxa geben den Abundanzwert nach Tab. 1 für die jeweilige Aufsammlung an.

Gewässer	Bühlrot			Selbach			Gr. Enz				
	273	(273b) 273a	275	(303b) 303a	(303a) 303b	(303d) 303c	(812aa) 812a	812b	812	813	818
gel.organ.C mg/l	1,4	1,6	2,9	2,1	2,0	2,6	0,6	0,7	1,3	1,3	2,8
BSE ₂ mg/l	14	2,5	3,3	1,5	1,3	1,7	0,6	0,7	1,2	2,3	4,1
Cl ⁻ mg/l	2,9	7,6	8,8	5,2	10,0	8,4	1,8	3,1	3,1	5,5	7,5
el.Leitfähigkeit / μ S	35,6	79,0	129,4	99,2	164,5	142,8	22,6	31,3	38,2	75,2	92,7
NH ₄ ⁺ mg N/l	0,126	0,34	0,758	0,153	0,109	0,454	0,034	0,054	0,092	0,557	0,347
Anzahl der Proben	5	6	7	4	6	7	8	8	6	8	9
1 Bakterien, fädig, basal festsitz.	4(50)	1(7,5)	1(1)	3(90)	4(90)	1(50)	3(1)	5(7,5)	4(30)	4(15)	2(30)
2 Sphaerotilus dichotomus	1(50)	5(90)	7(70)	3(30)	2(15)	5(90)	.	1(1)	4(90)	8(50)	2(50)
3 Sphaerotilus natans	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4 Zoogloea spp.	.	4(30)	6(30)	.	1(1)	2(2,5)	.	.	1(7,5)	8(90)	9(90)
5 (Eisen?)-Bakterien (fädig)	.	2(2,5)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6 Achroonema spiroideum	.	.	1(1)	.	.	.	.	.	.	.	.
7 Beggatoa leptomitiformis	.	.	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.
8 Fusarium aquaeductum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2(70)
9 Hydrurus foetidus	5(90)	1(70)	.	3(90)	5(90)	2(7,5)	8(90)	7(90)	5(15)	3(30)	3(50)
10 Chamaesiphon incrustans	.	3(15)	2(1)	1(1)	3(7,5)	3(70)	3(30)	6(30)	6(30)	1(15)	1(0)
11 Hydrococcus cesatii	1+(7,5)	1(2,5)	.	.	1(7,5)	2(7,5)	1(+)	4(2,5)	3(7,5)	1(30)	1(30)
12 Homoeothrix janthina	2(15)	4(50)	1(1)	.	1(+)	.	.	5(15)	5(7,5)	2(+)	1(2,5)
13 Sphaerobotrys fluviatilis	.	3(50)	7(30)	.	.	3(7,5)	.	2(+)	5(30)	5(7,5)	3(15)
14 Protoderma spec.	.	2(30)	7(30)	.	1(7,5)	4(7,5)	.	1(+)	1(2,5)	2(15)	4(30)
15 Chamaesiphon polymorphus	1+(30)	1(2,5)	3(7,5)	.	1(7,5)	.	.	.	1(1)	.	.
16 Pseudanabaena galeata	2(+)	.	.	.	.	.	3(1)	3(1)	2(2,5)	.	.
17 Chamaesiphon regularis(?)	1+(15)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
18 Stigeoclonium tenue	.	1(2,5)	4(50)	.	.	.	.	.	.	1(0)	4(+)
19 Chamaesiphon fuscus	.	1(15)	.	.	.	.	.	3(2,5)	.	.	.
20 Xenococcus minimus	.	1(15)	.	.	1(+)	.	.	.	4(2,5)	.	.
21 Chlorococcum infusionum	.	1(2,5)	.	.	1(1)	.	.	.	1(+)	.	1(i)
22 Phormidium autumnale	.	1(+)	.	.	.	1(+)	.	3(1)	3(1)	.	.
23 Chamaesiphon polonicus	.	1(1)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
24 Stigeoclonium farctum	.	.	2(50)	.	.	.	.	.	.	.	.
25 Ulvella frequens	.	.	.	.	1(15)	.	.	2(1)	5(30)	1(7,5)	1(i)
26 Hydrococcus rivularis	.	.	.	.	1(2,5)	.	.	2(1)	2(1)	.	.
27 Stigeoclonium falklandicum	.	.	.	.	1(7,5)	.	.	.	.	1(1)	.
28 Cham.incr.v.elongatus	.	.	.	.	.	1(30)	.	1(1)	4(7,5)	1(1)	.
29 Chantrelia chalybea	.	.	.	.	.	2(70)	.	.	1(+)	.	.
30 Oedogonium spec.(steril)	.	.	.	.	.	1(+)	.	.	.	.	.
31 Oscillatoria limosa	.	.	.	.	.	.	.	2(0)	4(1)	.	.
32 Oscillatoria angusta	.	.	.	.	.	.	.	2(+)	.	.	.
33 Stigeoclonium variable	.	.	.	.	.	.	1(+)	.	.	.	.
34 Ulothrix tenuissima	.	.	.	.	.	.	.	.	2(+)	.	.
35 Microthamion kützing.	.	.	.	.	.	.	.	.	1(0)	1(1)	.
36 Staurastrum punctulatum	.	.	.	.	.	.	.	.	1(+)	.	.
37 Audouinella violacea	.	.	.	.	.	.	.	.	3(2,5)	.	.
38 Closterium leibleinii	.	.	.	.	.	.	.	.	3(1)	.	.
39 Chamaesiphon oncobryroides	.	.	.	.	.	.	.	.	1(7,5)	.	.
40 Hormidium subtile	.	.	.	.	.	.	.	.	1(1)	.	.
41 Ankistrodesmus falc.v.stipit.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2(0)
42 Chamaesiphon subglobosus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1(1)
43 Stigeoclonium farctum v.rivulare	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
44 Sporotetras pyriformis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tab. 4a: Mikrophyten aus kalkarmen Gewässern Baden-Württembergs. Aufwuchs auf Polyäthylen-Substrat bei zunehmender Gewässerreinigung. Zahlenwerte: Frequenz und höchste erreichte Abundanzstufe (). Nähere Erläuterungen im Text.

melten Folien vertreten. Seine höchste Abundanzstufe war 90. An der Station 273a tauchte *Hydrurus* nur noch in einer Probe von insgesamt 6 Exponaten auf. Die höchste erreichte Abundanz betrug nur noch 7,5.

Unter der Gruppe der bakteriellen Aufwuchsformen fallen in den einzelnen Teiltabellen wiederum die basal befestigten fädigen Bakterien, *Sphaerotilus dichotomus* und *Zoogloea* spec. als geschlossene Gruppe auf, die in allen Wasserläufen an nahezu allen Stellen vertreten ist. Die übrigen Formen haben mehr eine unregelmässige Verbreitung, ohne dass eindeutige Beziehungen zu bestimmten Standort-

		Schmiecha - Lauchert									
Gewässer		437a	423	436	443	446	442	433	430a	428	424
Untersuchungspunkt											
1	org.C mg/l	1,6	2,1 ⁺	0,7	0,7	4,3	6,8	8,3	8,6	31,0	44,5
2	B2 mg/l	0,9	0,6	1,2	1,4	1,6	2,6	> 5	>10	>10	>10
3	B2 mg/l	7,8	5,5	8,8	10,5	10,8	22,1	59,9	42,7	85,3	122,6
4	Leitfähigkeit mg/l	497	510	501	501	505	570	680	665	890	1010
5	N/l	0,068	0,109	0,243	0,183	0,501	0,944	4,130	4,167	8,611	3,367
Anzahl der Proben		8	7	8	11	7	6	10	11	7	4
1	Zoogloea spp.	4(15)	1(2,5)	4(15)	5(15)	5(15)	3(90)	9(90)	10(90)	5(90)	2(50)
2	Bakterien, fädig, basal bef.	4(90)	7(90)	7(50)	8(70)	4(30)	3(90)	3(2,5)	4(7,5)	.	.
3	Sphaerotilus dichotomus	.	2(7,5)	5(50)	7(7,5)	6(70)	4(70)	6(15)	7(90)	.	.
4	Sphaerotilus natans	.	.	.	1(+)	.	.	.	.	2(30)	1(+)
5	Sphaerocapsa monoeoca	.	1(15)	.	.	.	.	.	.	.	.
6	Siderocapsa alba	.	.	.	.	.	.	1(15)	1(+)	.	.
7	Beggiatia okeni	.	.	.	.	.	.	.	2(50)	.	.
8	Chromatium okeni	.	.	.	.	.	.	.	1(0)	.	.
9	Thiothrix nivea	.	.	.	.	.	.	.	1(+)	.	.
10	Oscillatoria putrida	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
11	Sphaerobotrys fluviatilis	4(30)	2(15)	4(15)	10(50)	6(30)	3(30)	5(30)	4(7,5)	.	.
12	Protoderma spec.	2(1)	.	4(30)	4(2,5)	6(30)	3(50)	5(50)	4(15)	.	.
13	Chamaesiphon incrustans	8(50)	5(2,5)	4(50)	10(30)	6(70)	2(70)	2(7,5)	.	.	.
14	Chamaesiphon frequens	3(7,5)	3(30)	3(15)	8(50)	5(30)	1(50)	.	.	.	.
15	Ulvelia foetidus	6(70)	7(90)	5(90)	11(70)	5(30)	2(30)	.	.	.	.
16	Hydrurus foetidus	5(15)	.	2(30)	6(50)	3(50)	1(2,5)	.	.	.	.
17	Hydrococcus cesatii	2(1)	.	2(30)	5(7,5)	5(15)	1(2,5)	.	.	.	.
18	Sporotetras pyriformis	1(+)	.	.	.	2(1)	.	.	.	.	.
19	Chlorococcum infusioenum	1(1)	.	.	.	.	.	.	3(1)	.	.
20	Chamaesiphon curvatus	1(1)	.	.	.	.	.	.	1(1)	.	.
21	Chamaesiphon curvatus	1(1)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
22	Chamaesiphon curvatus	1(1)	.	2(15)	3(1)	2(2,5)	2(1)	.	.	.	.
23	Chamaesiphon fuscus	6(30)	.	2(50)	.	1(15)	.	.	.	.	.
24	Chamaesiphon fuscus	6(30)	.	2(50)	.	1(15)	.	.	.	.	.
25	Homocothrix janthovarians	4(+)	.	1(+)	3(1)	2(+)	1(0)	2(7,5)	.	.	.
26	Homocothrix janthovarians	2(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
27	Tribonema affine	1(1)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
28	Tribonema viride	1(1)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
29	Tribonema viride	1(1)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
30	Stigeoclonium variable	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
31	Stigeoclonium variable	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
32	Phormidium autumnale	1(+)	.	.	.	.	1(1)	.	.	.	.
33	Phormidium autumnale	.	.	1(+)	.	2(2,5)	.	.	1(70)	.	.
34	Xenococcus minimus	.	.	1(+)	3(+)	3(1)	1(0)	2(+)	.	.	.
35	Ulothrix tenuissima	.	.	1(+)	3(+)	3(1)	1(0)	2(+)	.	.	.
36	Stigeoclonium spec.	.	.	2(1)	3(1)	3(1)	.	.	.	.	.
37	Stigeoclonium spec.	.	.	2(1)	3(1)	3(1)	.	.	.	.	.
38	Stigeoclonium faretum	.	.	.	3(+)	4(1)	.	3(2,5)	.	.	.
39	Stigeoclonium faretum	.	.	.	3(+)	4(1)	.	3(2,5)	.	.	.
40	Hydrococcus rivularis	.	.	.	4(1)	1(1)	.	.	.	.	.
41	Hydrococcus rivularis	.	.	.	4(1)	1(1)	.	.	.	.	.
42	Monostroma bulbosum	.	.	.	6(50)	.	.	.	.	.	.
43	Chamaesiphon subglobosus	.	.	.	3(15)	.	.	.	.	.	.
44	Oedogonium spec.	.	.	.	2(+)	.	.	.	.	.	.
45	Oedogonium spec.	.	.	.	1(1)	.	.	.	.	.	.
46	Draparnaldia mutabilis	.	.	.	1(1)	.	.	.	.	.	.
47	Chaetopeltis orbicularis f. minor	.	.	.	1(+)	.	.	.	.	.	.
48	Chaetopeltis orbicularis f. minor	.	.	.	1(+)	.	.	.	.	.	.
49	Scopulonema minus	.	.	.	.	1(+)	.	.	1(+)	.	.
50	Pseudanabaena galeata	.	.	.	.	2(7,5)	.	.	.	.	.
51	Gongrosira spec.	.	.	.	.	1(2,5)	.	.	.	.	.
52	Gongrosira spec.	.	.	.	.	1(2,5)	.	.	.	.	.
53	Ulothrix zonata	.	.	.	.	1(+)	.	.	.	.	.
54	Stigeoclonium tenue	.	.	.	.	.	3(7,5)	5(30)	6(70)	2(7,5)	.
55	Stigeoclonium tenue	.	.	.	.	.	2(1)	3(2,5)	.	.	.
56	Chamaesiphon polymorphus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
57	Chamaesiphon polymorphus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
58	Chamaesiphon incr.v.elongat.	.	.	.	.	.	.	.	1(2,5)	.	.
59	Chantransia chalybea	.	.	.	.	.	.	.	1(+)	.	.

Tab. 4b: Mikrophyten von PA-Substrat aus einem Weissjuragewässer in der Schwäbischen Alb. +) ohne Werte vom 9.12.69. Nähere Erläuterungen im Text.

faktoren erkennbar wären. Bei den Algen zeichnet sich ein ähnliches Verteilungsmuster ab.

Um die Artenverteilung übersichtlicher und leichter überschaubar werden zu lassen, sind in der Tab. 5 nur diejenigen Formen berücksichtigt worden, die irgendwo und irgendwann im Jahreszyklus mindestens die Abundanzstufe 1 erreicht haben. Die Symbole geben, nach Grössenklassen zusammengefasst, den Abundanzbereich an, in den die betreffende Alge an den einzelnen Stellen ihres Vorkommens einzuordnen ist. Auf die Berücksichtigung von Einzelfunden oder sporadischem Erscheinen in geringer Individuenzahl kann in diesem Zusammenhang verzichtet werden, da derartige Einzelvorkommen für relevante ökologische Aussagen nicht herangezogen werden können (WEHRLE 1942, BACKHAUS 1968a).

Gewässer		Kirnau-Schlierbach-Seckach					
Untersuchungspunkt		(1006a1)	(1006a2)	1012	1007	(1006a5)	1008
		1006 a	1006 b			1006 c	
gelöst.organ. C	mg/l Ø	0,9	1,5	2,5	2,6	7,2	6,9
BSB ₂	mg/l Ø	1,3	1,1	1,6	2,6	3,3	> 5
Chlorid	mg/l Ø	11,2	6,4	17,3	18,2	20,1	24,5
el.Leitfähigkeit	µs	519	516	667	666	680	774
NH ₄ ⁺	mg N/l Ø	0,044	0,126	0,403	0,963	4,642	5,676
Anzahl der Proben		4	4	7	8	9	10
1 Zoogloea spp.		2(90)	2(30)	4(50)	6(70)	8(90)	7(90)
2 Bakterien, fädig, basal befestigt		2(7,5)	2(7,5)	2(30)	5(30)	3(70)	3(15)
3 Sphaerotilus dichotomus		.	.	7(50)	8(30)	6(70)	7(90)
4 Thiothrix nivea		.	.	3(1)	1(2,5)	2(15)	1(+)
5 Beggiatoa alba		.	.	2(1)	1(0)	1(+)	1(+)
6		.	.	.	.	.	.
7 Vitreoscilla spec.		.	.	.	1(+)	.	.
8 Siderocapsa monoeca		.	.	.	.	.	1(50)
9 Sphaerobotrys fluviatilis		2(15)	.	4(50)	8(30)	4(15)	3(30)
10 Chamaesiphon incrustans		2(70)	.	6(15)	5(7,5)	1(30)	2(30)
11 Protoderma spec.		1(15)	.	5(30)	8(30)	5(70)	6(50)
12 Hydrococcus cesatii		1(7,5)	.	4(70)	3(70)	.	1(+)
13 Hydrurus foetidus		.	2(70)	.	.	2(7,5)	.
14 Ulvella frequens		.	.	4(7,5)	4(50)	1(7,5)	1(1)
15 Homoeothrix varians/janthina		1(7,5)	.	1(1)	1(0)	.	.
16 Stigeoclonium variabile		2(15)	.	.	.	.	.
17 Chamaesiphon subglobosus		.	1(+)	.	.	.	.
18 Stigeoclonium tenue		.	.	2(1)	.	1(1)	1(+)
19 Monostroma bullosum		.	.	5(30)	5(30)	.	.
20 Stigeoclonium cf. lubricum(Sohlen)		.	.	1(+)	3(+)	.	.
21 Gongrosira spec.(?)		.	.	1(+)	.	.	1(+)
22 Sporotetras pyriformis		.	.	3(2,5)	3(15)	.	.
23 Xenococcus minimus		.	.	1(1)	2(1)	.	.
24 Chamaesiphon oncobrysoides		.	.	2(30)	.	.	.
25 Phaeoplaca spec.(?)		.	.	1(15)	.	.	.
26 Chlorococcum infusioenum		.	.	1(+)	.	.	.
27 Pseudanabaena schmidlei		.	.	1(0)	.	.	.
28 Stigeoclonium farctum var. rivulare		.	.	1(1)	.	.	.
29 Oscillatoria limosa		.	.	.	2(1)	1(0)	.
30 Ulothrix tenuissima		.	.	.	1(0)	2(1)	.
31 Chaetopeltis orbicularis		.	.	.	2(0)	.	.
32 Chantreansia cf. chalybea		.	.	.	2(2,5)	.	.
33 Stigeoclonium spec.		.	.	.	3(1)	.	.
34 Stigeoclonium farctum		.	.	.	1(2,5)	.	.
35 Hydrococcus rivularis		.	.	.	1(1)	.	.
36 Chlorococcum spec.		.	.	.	1(0)	.	.
37 Euglena spp.		.	.	.	3(0)	1(0)	1(+)
38 Chamaesiphon polymorphus		.	.	.	.	1(2,5)	2(15)

Tab. 4c: Mikrophytenaufwuchs auf PÄ-Substrat in einem nordbadischen Muschelkalkgewässer. Nähere Erläuterungen im Text.

Aus der Zusammenstellung der Tab. 5 lassen sich folgende Zusammenhänge erkennen:

1. Der Bewuchs von Zoogloeen fehlt in den sauberen Abschnitten der Bäche und Flüsse mit geringer Wasserhärte (bis ca 2° dH). Er ist jedoch in den sauberen Abschnitten der kalkreichen Gewässer vorhanden.
2. Die dünnen fädigen, basal befestigten Bakterien (sehr unsichere systematische Zuordnung) sind weitgehend unabhängig vom Verschmutzungsgrad in allen Gewässertypen vorhanden.
3. *Sphaerotilus dichotomus* tritt nur in Zonen geringer bis mässiger Verunreinigung auf. Bei stärkeren Abwasserbelastungen herrscht *Sphaerotilus natans* vor.
4. Bei den Algen hebt sich eine Gruppe von ca 10 Arten ab, die unabhängig vom geologischen Untergrund, d.h. unabhängig vom pH, von der GH, der Leitfähigkeit und von anderen, geologisch bedingten Faktoren eine mehr oder weniger ubiquitische Verbreitung haben. Der einzige Faktor, der bei dieser Gruppe ökologisch in Erscheinung tritt, scheint in der Wirkung starker Gewässerverschmutzung zu liegen.

Gewässer	Kirbach-Metter				Kraichbach					Erlen-graben	
	(878f) 878a	(878g) 878b	(878h) 878c	(878e) 878d	(343d) 343a	(343c) 343b	343	346	354	(353b) 353a	(353c) 353b
Untersuchungspunkte											
gel.organ. C mg/l	3,4	2,1	3,4	4,6	0,8	2,5	2,6	5,6	6,7	2,7	6,4
BSB ₂ mg/l	1,2	1,1	2,5	4,1	0,9	1,8	2,8	> 5	> 5	1,9	> 5
Cl mg/l	11,8	15,3	21,1	24,6	17,9	46,9	24,5	29,2	149,2	11,6	170,9
el. Leitfähigkeit µS	571,9	702,3	882,2	981,1	92,3	1142,3	82,4	1013,6	1200	697,1	1605
NH ₄ mg N/l	0,143	0,118	0,574	0,857	0,055	0,196	0,867	2,502	5,273	0,113	4,438
Anzahl der Proben	11	11	10	9	10	10	9	10	7	9	9
1 Zoogloea spp.	5(50)	6(30)	8(70)	9(90)	.	2(30)	9(90)	9(70)	6(70)	3(50)	9(70)
2 Sphaerotilus dichotomus	1(50)	5(30)	8(70)	.	2(50)	4(90)	.	10(50)	7(50)	5(70)	9(70)
3 Sphaerotilus natans	.	.	.	9(70)	.	.	9(50)	.	.	.	.
4 Bakterien, fädig, basal bef.	.	4(30)	2(2,5)	3(7,5)	3(50)	7(30)	2(30)	2(30)	.	6(90)	3(50)
5 Thiothrix nivea	.	.	1(50)	2(0)	.	.	2(1)	.	4(70)	.	.
6 Leptothrix ochracea	.	.	3(90)	4(2,5)	.	.	.	.	.	1(70)	.
7 Beggiatoa alba	.	.	2(1)	.	.	.	4(2,5)	1(1)	2(15)	.	.
8 Vitreoscilla spec.	.	.	.	.	.	.	.	.	1(2,5)	.	1(+)
9 Siderocapsa monoeca	.	.	.	.	.	2(90)	.	.	.	1(15)	.
10 Hydrurus foetidus	6(90)	3(70)	2(50)	.	2(90)	3(90)	.	1(0)	.	.	.
11 Chamaesiphon incrustans	4(70)	4(70)	4(30)	1(1)	5(90)	5(90)	1(1)	1(7,5)	.	3(50)	1(0)
12 Sphaerobotrys fluviatilis	6(50)	3(30)	5(30)	5(7,5)	1(7,5)	4(15)	4(7,5)	6(30)	2(70)	3(7,5)	.
13 Protoderma spec.	3(70)	3(30)	7(30)	4(70)	.	1(+)	4(30)	6(30)	3(7,5)	.	7(70)
14 Ulvella frequens	4(50)	2(1)	1(1)	.	2(7,5)	1(15)	.	3(2,5)	1(1)	.	6(15)
15 Chamaesiphon cf. fuscus	3(90)	3(90)	.	.	2(7,5)	2(90)	.	.	.	.	.
16 Scopolonema minus	1(+)	4(30)	.	.	2(7,5)	2(30)	.	.	.	.	1(1)
17 Chantrelaria chalybea	1(+)	.	.	2(2,5)	.	1(+)	.	.	.	.	.
18 Sporotetras pyriformis	1(+)	.	1(2,5)	.	.	.	.	.	.	.	.
19 Ulothrix tenuissima	1(+)	.	.	.	.	1(0)	.	.	.	.	.
20 Homoeothrix varians/jantbina	1(1)	2(2,5)	.	.	1(1)	.	.	1(1)	.	2(2,5)	.
21 Oedogonium spec. (steril)	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
22 Ulothrix oscillarina	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23 Chlorococcum infusioformis	.	1(+)	4(2,5)	1(2,5)	1(2,5)	1(+)	1(1)	2(2,5)	2(2,5)	.	6(15)
24 Hydrococcus cesatii	.	1(+)	.	.	1(1)	1(2,5)	.	.	.	.	.
25 Xenococcus minimus	.	1(2,5)	.	.	1(1)	.	.	1(2,5)	.	.	.
26 Chamaesiphon subglobosus	.	1(15)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
27 Pseudanabaena catenata	.	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
28 Ankistrod. falc. var. stipit.	.	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
29 Draparnaldia mutabilis	.	1(+)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
30 Chamaesiphon polymorphus	.	.	1(1)	1(1)	.	1(2,5)	1(2,5)	1(30)	.	1(7,5)	1(1)
31 Stigeoclonium tenue	.	.	1(1)	1(+)	.	.	5(30)	6(2,5)	4(7,5)	.	7(15)
32 Cladophora glomerata	.	.	1(7,5)	2(50)	.	.	.	1(7,5)	.	.	.
33 Closterium acerosum	.	.	1(0)	.	.	.	.	.	.	.	.
34 Hydrococcus rivularis	.	.	.	.	1(1)	1(7,5)	.	.	.	.	.
35 Stigeoclonium farctum	.	.	.	.	.	.	1(2,5)	.	.	.	.
36 Euglena spp.	.	.	.	.	.	.	.	3(7,5)	2(1)	.	4(50)
37 Cloniophora macrocladia	.	.	.	.	.	.	.	.	2(+)	.	1(0)
38 Oscill. tenuis v. tergestina	.	.	.	.	.	.	.	.	1(2,5)	.	.
39 Phormidium favosum	.	.	.	.	.	.	.	.	1(2,5)	.	.
40 Phaeoplaca spec.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
41 Chamaesiphon curvatus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4(90)	.
42 Stigeoclonium falkland.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2(90)	.
43 Stigeoclonium spec. (Schlen)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1(7,5)	.
44 Stigeoclonium cf. lubric. (S.)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2(2,5)	.

Tab. 4d: Mikrophytenaufwuchs auf PÄ-Substrat in verschiedenen kalkreichen Gewässern Baden-Württembergs. Nähere Erläuterungen im Text.

Dieser Einfluss tritt besonders bei der Schmiecha hervor. Die am stärksten verunreinigten unteren Abschnitte sind dort fast frei von Algenbewuchs.

Bei der Reaktion auf Gewässerverschmutzungen deutet sich bei dieser Gruppe eine Abstufung in weniger und stärker tolerante Formen an. Zu den weniger toleranten Formen könnten gezählt werden: *Hydrurus foetidus*, *Hydrococcus cesatii*, *Homoeothrix varians/jantbina* (die Trennung beider Taxa ist am vorliegenden Material nicht eindeutig möglich) und *Chamaesiphon fuscus*. Zu den Formen mit grösserer Toleranzbreite würden zu rechnen sein: *Sphaerobotrys fluviatilis*, *Protoderma spec.*, *Stigeoclonium tenue*, *Chlorococcum infusioformis*. Bei Arten wie *Chamaesiphon polymorphus*, *Xenococcus minimus* und *Stigeoclonium farctum*, die eben-

falls in allen geologischen Formationen auftreten, sind die Verbreitungslücken innerhalb der einzelnen Flusssysteme zu gross oder die Abundanzwerte zu niedrig, als dass präzise Aussagen über ihre diesbezügliche Einordnung gemacht werden könnten.

5. Beginnend mit *Ulvella frequens* und *Hydrococcus rivularis* treten in der Tab. 5 mehrere Arten hervor, bei denen trotz weiter regionaler Verbreitung eine engere Abgrenzung ihrer ökologischen Ansprüche möglich erscheint. So wird von den beiden genannten Algen z.B. das weiche Wasser des Urgesteins ganz und das des Rotliegenden im sauberen Teil gemieden.

Eine weitere Einengung der Verbreitung zeigen *Pseudochantrasia chalybea*, *Ulothrix tenuissima*, *Sporotetras pyriformis*, *Phaeoplaca* (?) spec., *Scopulonema minus*. Bei den ersten beiden und in verstärkter Masse bei *Scopulonema minus* macht sich eine Bevorzugung höherer Wasserhärten bemerkbar. *P. chalybea* kommt bei durchschnittlichen Härtewerten unter $3,2^\circ$, *U. tenuissima* unter 1° und *S. minus* unter 16° dH nicht vor. Bei *Sporotetras pyriformis* und *Phaeoplaca* spec.(?) wird zusätzlich auch eine Begrenzung nach oben hin deutlich. So wird von *S. pyriformis* bereits das Lias-Gewässer mit Härtewerten von $23-25^\circ$ dH gemieden, während *Phaeoplaca* spec. erst den Kraichbach mit seiner Wasserhärte über 26° dH nicht mehr besiedelt.

Eine noch weitergehende Einengung der Besiedlungsgrenzen ist bei *Monostroma bullosum* und *Cladophora glomerata* zu beobachten. *M. bullosum* wird in auffälliger Weise nur in den Weissjura- und Muschelkalkgewässern angetroffen. *C. glomerata* erscheint auf dem künstlichen Substrat erst im relativ harten Gewässer des Keupers.

6. Eine grössere Zahl von Arten ist in ihrer regionalen Verbreitung mehr oder weniger auf einzelne Gewässertypen beschränkt. So sind *Oscillatoria angusta*, *Microthamnion kützingianum*, *Staurastrum punctulatum*, *Audouinella violacea*, *Closterium leibleinii*, *Hormidium subtile* nur im Buntsandsteingewässer gefunden worden. Ebenso sind *Tribonema affine*, *T. viride*, *Chaetopeltis orbicularis* f. *minor* und *Ulothrix zonata* nur im Weissjuragewässer in Erscheinung getreten. Im Muschelkalkgewässer fällt das isolierte Vorkommen von *Chaetopeltis orbicularis* auf. Im Keupergewässer ist auf die Beobachtung von *Pseudanabaena catenata* und *Closterium acerosum* hinzuweisen. Für den Kraichbach kann das räumlich streng begrenzte Auftreten von *Cloniophora macrocladia* im stark verunreinigten Unterlauf neben *Oscillatoria tenuis* var. *tergestina* und *Phormidium favosum* erwähnt werden. Allen diesen zuletzt genannten Arten ist gemeinsam, dass sie stets nur mit sehr niedrigen Abundanzwerten (bis maximal 2,5) in Erscheinung getreten sind.

Bei den nicht näher bestimmten Algen wie *Protoderma* spec. und *Phaeoplaca* (?) spec. handelt es sich um Formen, die bereits bei BACKHAUS (1968c) diskutiert und abgebildet wurden.

5. Diskussion

Von einer pflanzlichen Indikatorart wird verlangt, dass durch ihre vermehrten Wachstumsleistungen auf das Vorhandensein eines bestimmten Milieufaktors oder einer definierten Faktorenkombination geschlossen werden kann, so wie etwa ein Belag von *Gallionella ferruginea* auf ein hohes Eisenangebot hinweist. Auch unter den Algen gibt es eine Reihe von Indikatorformen, so z.B. viele Desmidiaceen für bestimmte pH-Verhältnisse (WEHRLE 1927), *Oscillatoria nigra* für hohes Nitrat-

angebot (BACKHAUS 1968c) oder bestimmte Diatomeen für erhöhten NaCl-Gehalt (BEGER 1966).

Die oben (S. 159 Punkt 4) angesprochene Gruppe der in allen Gewässern gleichermaßen vorkommenden Algen (*Hydrurus foetidus*, *Chamaesiphon incrustans*, *Hydrococcus cesatii*, *Homoeothrix varians/janthina*, *Sphaerobotrys fluviatilis*, *Proto-derma* spec., *Stigeoclonium tenue*, *Chamaesiphon polymorphus*, *Chamaesiphon fuscus*, *Xenococcus minimus*, *Chlorococcum infusionum*) dürfte jedoch die genannten Anforderungen an gute Indikatoren kaum erfüllen. Auch wenn die gewünschte Anzeige weniger eng gefasst wird, sind keine brauchbaren Ansätze für ein ökologisches Spezialistentum bei ihnen zu erkennen. Arten, die wie diese fast den gesamten Bereich normalerweise in Freilandgewässern vorkommender geologisch und physiographisch bedingter Milieufaktoren überstreichen, sind als Ubiquisten einzustufen. Damit fällt auch ihre Verwendbarkeit für eine Erweiterung des FJERDINGSTAD-schen Saprobien-systems. Dass *Hydrurus foetidus* mit zu dieser Gruppe gehört, überrascht insofern, als diese Alge sonst nicht in allen geologischen Regionen zu einem ständigen Florenelement zu gehören scheint. So wird ihre Entdeckung im Spessart von BOCK (1952) noch als Besonderheit gemeldet.

Auch die durchgängige Verbreitung der fädigen Bakterien verdient Beachtung, da z.B. die *Sphaerotilus*-formen häufig als Indikatoren für starke Gewässerverunreinigungen herangezogen werden (LIEBMANN 1962). Ihr Vorkommen in den sauberen Oberläufen der hier untersuchten Gewässer ist meist gekoppelt mit dem Auftreten gallertiger Algenlager.

Auch bei der nächsten Gruppe von Algen, die zwar einzelne geologische Regionen meidet, in den übrigen aber ziemlich regellos verteilt ist (*Stigeoclonium farctum*, *Ulvella frequens*, *Hydrococcus rivularis*, *Pseudochantransia chalybea*, *Ulothrix tenuissima*) kann noch nicht von typischen Indikatoreigenschaften gesprochen werden. Bei *Ulvella frequens* kommt nicht einmal zum Ausdruck, dass die Zonen stärkerer Verunreinigung besonders gemieden würden. Das ist erst bei den höchsten Belastungsstufen der Schmiecha, des Kirbaches und des Kraichbaches der Fall. Das Verhalten von *Ulvella frequens* steht damit in krassem Widerspruch zu den Befunden von BUTCHER (1955), BACKHAUS (1968b), FRIEDRICH (1973), die diese Alge als ausgesprochene Indikatorform für das Fehlen organischer Verunreinigungen beschrieben haben. Auch ihr völliges Fehlen im Urgesteinsgewässer (Bühlot) ist schwer verständlich, da sie im Granitgebiet der Donauquellflüsse eine der Hauptbewuchskomponenten darstellt (BACKHAUS 1968a).

Die bei dieser Untersuchung als *Pseudochantransia chalybea* angesprochene Rotalge wächst vornehmlich auf felsigem bzw. steinigem Untergrund und ist auf den Trägerkörpern stark unterrepräsentiert. Trotzdem entspricht das Verteilungsbild in der Tabelle der realen Verbreitung in den Flüssen. Auf Urgesteinsuntergrund und in den sauberen Abschnitten des Selbaches (auf Rotliegendem) wurden niemals *Pseudochantransia*-Polster beobachtet. Es muss offenbleiben, ob diese Pseudochantransien auf den Ca-Gehalt, den pH-Wert oder die Leitfähigkeit ansprechen. Alle drei Faktoren stehen in gegenseitiger Abhängigkeit voneinander. Das schwerpunktmäßige Vorkommen im unteren Selbach dürfte gleichzeitig durch die dortige stärkere Beschattung durch den angrenzenden Wald besonders begünstigt werden. Die Chantransien sind, wie auch *Batrachospermum*, vornehmlich Schattenpflanzen (cf. WHITFORD 1968). Aufgrund ihres Vorkommens in der Gr. Enz bei mittleren pH-Werten von 6,7 und einer GH um 1,1 °dH kann *P. chalybea* nicht eindeutig als baso-

phile Alge eingestuft werden. Möglicherweise handelt es sich um verschiedene Formen.

Auch bei *Ulothrix tenuissima* ist das Grundmuster ihrer ökologischen Ansprüche, was Härte, pH und Leitfähigkeit anbetrifft, aus den hier vorhandenen chemischen Daten nicht deutlich erkennbar. Dagegen zeichnet sich eine Bevorzugung der nährstoffreichen, eutrophen Gewässerstrecken ab, wobei hier offenbar jedoch weit höhere Abwasserbelastungen ertragen werden, als es z.B. für diese Alge in der oberen Donau (BACKHAUS 1968a) oder in der Erft (FRIEDRICH 1973) beobachtet wurde. Obwohl damit der Zeigerwert dieser Alge etwas verschwommener erscheint, könnte vielleicht ihre Einbeziehung in das FJERDINGSTADsche Saprobiensystem noch möglich sein.

Sporotetras pyriformis und *Phaeoplaca* spec. sind gegenüber den bisher genannten Taxa als ausgesprochene basophile Algen einzustufen. Ihre Verbreitungsgrenze nach oben in der Skala der Härtewerte dürfte real sein, da es sich bei den beiden Arten um Formen handelt, die besonders schnell und gut auf dem gebotenen künstlichen Substrat wachsen. Ihre Anwesenheit in den übrigen Gewässern wurde auch auf natürlichem Substrat nicht beobachtet. Bei *Sporotetras pyriformis* ist die Klärung der systematisch-taxonomischen Einordnung noch nicht abgeschlossen. Da es sich bei ihr möglicherweise um das Palmellenstadium einer Chlamydomonalen handelt (BOURRELLY 1966), ist aus Gründen der Bestimmungsunsicherheit ihre Brauchbarkeit als Indikatorform vorerst nur sehr gering zu bewerten.

Die gleiche systematisch-taxonomische Unsicherheit gilt zunächst auch für *Phaeoplaca* (?) spec. Vermutlich handelt es sich bei dieser Chrysophycee um eine neue, noch nicht beschriebene species. Ihr Vorkommen in den relativ sauberen, aber \pm eutrophen Bereichen der Muschelkalk- und Juragewässer ist so typisch und auch an anderer Stelle bereits beobachtet worden (BACKHAUS 1968 a, c), so dass ihr eine gewisse Zeigerfunktion zugesprochen werden kann. Auf welche Milieufaktoren diese Alge speziell anspricht, bedarf noch einer gesonderten Prüfung.

Scopulonema minus und *Cladophora glomerata* präsentieren sich in dieser Untersuchung als basophile Arten mit engbegrenztem Verbreitungsareal. Bei *S. minus* zeigt dieses Verbreitungsbild gewisse Ähnlichkeiten mit den Ergebnissen von Aufwuchsuntersuchungen aus anderen Gebieten (BACKHAUS 1968a), GOLUBIĆ (1967), KANN (1963), KAWECKA (1965), wo diese Art ebenfalls weitgehend Urgesteinsbereiche mit niedrigem pH meidet. Seitdem jedoch FRIEDRICH (1973) festgestellt hat, dass *S. minus* im Oberlaufbereich der Erft nicht auf künstlichem Substrat erscheint, obwohl eine relativ hohe GH mit hohen pH-Werten gegeben ist, müssen auch andere Faktoren als der Gewässerchemismus stärker in Betracht gezogen werden.

Da ferner die Verteilung von *S. minus* im Spektrum ansteigender Belastung mit organischen Substanzen und anderer Milieufaktoren keine deutlichen Abhängigkeiten zeigt, ist sein Indikationswert mit Ausnahme der Bevorzugung von Kalkgewässern als relativ gering anzusetzen.

Über *Cladophora glomerata* existiert bereits eine sehr umfangreiche Literatur hinsichtlich ihres ökologischen Verhaltens (Übersicht z.B. bei FJERDINGSTAD 1965). Die Angaben sind zum Teil sehr widersprüchlich und decken sich keineswegs mit dem hier angetroffenen Verteilungsbild. Die bekanntgewordenen Daten (vergl. auch WHITTON 1970) lassen erkennen, dass *C. glomerata* mit Ausnahme kalkarmer und \pm saurer Gewässer ein sehr breitgefächertes Besiedlungsmuster zeigt. Diese Tatsache

beeinträchtigt den hier angedeuteten Indikatorwert sehr. Einer der Gründe für die Einengung des Beobachtungsareals bei dieser Untersuchung dürfte sein, dass die Expositionsdauer der Substrate für *Cladophora* zu kurz war. *C.glomerata* wächst zwar auf künstlichen Substraten wie Kunststoffen und Objektträgern an, erfahrungsgemäss jedoch in weit geringerem Umfang als auf Steinuntergrund (vergl. auch FRIEDRICH 1973). Da *C.glomerata* auf natürlichem Substrat in sämtlichen hier untersuchten Kalkgewässern zu beobachten war, dürften die hier in Tab. 5 eingetragenen Beobachtungswerte (nur künstliches Substrat) eine Verzerrung des natürlichen Verbreitungsbildes darstellen. Derartige gravierende Bewuchsunterschiede zwischen natürlichem und künstlichem Substrat sind Ausnahmefälle (wie z.B. auch bei *Pseudochantransia chalybea* u. *Scopulonema minus*) und treffen für den Grossteil der hier vorgefundenen Algen nicht zu (vergl. BACKHAUS 1967).

Als besonders hervorzuhebende Aufwuchsalgen mit engem, gut definiertem Verbreitungsareal innerhalb der hier berücksichtigten Gewässer und damit relativ guten Indikatoreigenschaften, die z.T. auch aus der Literatur belegt werden können, haben sich nur *Staurastrum punctulatum* und *Monostroma bullosum* gezeigt. *S.punctulatum* (Befestigung am Substrat mittels Gallertbildung) ist typisch für Mittellaufregionen von Buntsandsteingewässern, wo physiographische Charakteristika des Meta- und Hyporhithrons vorherrschen, mit Härtewerten um 1 °dH, einem pH-Bereich von 6,7–7,1, el. Leitfähigkeitswerten zwischen 30–40 µS und weitgehendem Fehlen von Verunreinigungen. Die Standortfaktoren von *S.punctulatum* in der Gr. Enz sind fast identisch mit denen, die für diese Alge z.B. in der oberen Donau gefunden wurden (BACKHAUS 1968b). Im Saprobiensystem von FJERDINGSTAD (1964) könnte *S.punctulatum* zu den Algen der oligosaprogenen Zone gerechnet werden.

Monostroma bullosum ist bei dieser Untersuchung in auffälliger Weise auf Muschelkalk- und Weissjuragebiete und dort ebenfalls auf die Regionen des Meta- und Hyporhithrons beschränkt. Sie tritt an diesen Stellen in beträchtlichen Individuendichten auf. Dass sie in den hydrochemisch nahe verwandten Gewässern von Keuper und Lias nicht gefunden wurde, könnte in der unterschiedlichen physiographischen Situation begründet sein. Nach den Untersuchungen von WHITFORD (1968) sprechen viele Algen z.B. auf den Strömungsfaktor unterschiedlich an (vergl. auch ZIMMERMANN 1961). Die sauberen Abschnitte dieser Bäche gehören dem Epirhithron an. Die an den Fundorten von *M.bullosum* vorherrschenden Standortfaktoren können aufgrund der eigenen Erhebungen in folgender Weise umgrenzt werden (Jahresmittelwerte): el. Leitfähigkeit: 500–690 µS, pH: 7,7–7,8, GH: 16,5–22,5 °dH, SBV: 5,3–5,7, o-PO₄³⁻: 0,2–2,7 mg P/l, NO₃⁻: 22,2–4,1 mg N/l, NH₄⁺: 0,2–1,0 mg N/l, Na⁺: 4,6–7,1 mg/l, K⁺: 1,5–5,0 mg/l, Cl⁻: 10,5–18,5 mg/l, BSB₂: 1,4–2,5 mg/l, O₂-Sätt.: 90–100%, gel. organ. C: 0,7–2,5 mg/l.

Ob ein einzelner Faktor, ein bestimmtes Zusammenspiel einiger weniger Faktoren oder die hier gebotene Gesamt-Faktorenkombination das Wachstum von *M.bullosum* begünstigt, kann aus den hier vorhandenen Untersuchungsdaten nicht geklärt werden. Vergleichbare Werte sind aus der Literatur bisher nicht bekanntgeworden. Da über *M.bullosum* überhaupt nur sehr wenige mitteleuropäische Fundortangaben vorliegen, handelt es sich bei dieser Alge entweder in der Tat um einen sehr seltenen Mikrophyten, wie KORNMANN (1964) betont, oder seine Thalli werden mit anderen Algen verwechselt. Die Jugendstadien gleichen *Ulvella frequens* oder *Protoderma spec.*, der erwachsene Thallus könnte mit *Tetraspora* oder eventuell mit jungen

*Enteromorpha*pflänzchen verwechselt werden.

Eine Einstufung von *M. bullosum* in das FJERDINGSTADsche Saprobiensystem wäre aufgrund der relativ niedrigen BSB_2 - und Chloridwerte vielleicht ebenfalls in der oligosaprobien Zone möglich.

Bei den restlichen, hier nicht mehr näher diskutierten Algen der Tab. 5 handelt es sich entweder um einmalige Funde mit einer zur sicheren Beurteilung nicht ausreichenden Individuendichte, um nicht typische Aufwuchsformen (Metaphyton, epipelische Formen u.a.) oder um isolierte Funde an ökologisch stark voneinander abweichenden Standorten, so dass eine Interpretation ihrer Indikatoreigenschaften nicht möglich erscheint.

Nach den hier dargestellten Befunden kann die von BEHRE (1966) propagierte Charakterisierung der Algen als besonders gute Indikatoren für unterschiedliche Milieuverhältnisse ("Die Algen sind nicht nur keine Ubiquisten, sondern sie reagieren sogar ungleich schneller als die stets mehrjährigen und dadurch schwerfälligeren höheren Wasserpflanzen auf Änderungen im Chemismus des Wassers.") nur in beschränktem Umfang für die Fliesswasser-Aufwuchsformen gelten. Von den rund 60 Algengattungen der Tab. 5 können nur *Ulothrix tenuissima*, *Phaeoplaca* spec. bedingt gute und *Staurastrum punctulatum* u. *Monostroma bullosum* sehr gute Indikatoreigenschaften zugesprochen werden.

Für die kalkkrustentragenden "Krustenalgen" liegen noch zu wenige vergleichende Untersuchungen auf experimentell-ökologischer Basis vor, um sie vollwertig beurteilen zu können.

Die Ursachen für die ubiquistischen Tendenzen bei den Fliesswasser-algen dürften vermutlich in den beträchtlichen Schwankungen der meisten chemischen Fliesswasserkomponenten zu suchen sein, die in jedem Fliessgewässer stark ausgeprägt sind. Algen, die, auf ihrem Substrat festgewachsen, alle Schwankungen, Unregelmäßigkeiten und Extremsituationen ertragen müssen, können sich keine so diffizilen Standortansprüche leisten, wie etwa Planktonalgen mit ihrem weit ausgeglicheneren Wohnumfeld.

LITERATUR

- BACKHAUS, D. (1967): Ökologische Untersuchungen an den Aufwuchs-algen der obersten Donau und ihrer Quellflüsse. I. Voruntersuchungen. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 30: 364–399.
- BACKHAUS, D. (1968a): Ökologische Untersuchungen an den Aufwuchs-algen der obersten Donau und ihrer Quellflüsse. II. Die räumliche und zeitliche Verteilung der Algen. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 34: 24–73.
- BACKHAUS, D. (1968b): Ökologische Untersuchungen an den Aufwuchs-algen der obersten Donau und ihrer Quellflüsse, III. Die Algenverteilung und ihre Beziehung zur Milieuoferre. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 34: 130–149.
- BACKHAUS, D. (1968c): Ökologische Untersuchungen an den Aufwuchs-algen der obersten Donau und ihrer Quellflüsse. IV. Systematisch-autökologischer Teil. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 34 (Donauforschung 3): 251–320.
- BEGER, K. (1966): Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. 2. Aufl. Stuttgart. 360 pp.
- BEHRE, K. (1966): Zur Algensoziologie des Süßwassers (unter besonderer Berücksichtigung der Litoralalgen). *Arch. Hydrobiol.* 62: 125–164.
- BESCH, W., HOFMANN, W. & ELLENBERGER, W. (1967): Das Makrobenthos auf Polyäthylensubstraten in Fliessgewässern. 1. Kinzig - Ein Fluss der unteren Salmoniden- und oberen Barbenregion. *Ann. Limnologie* 3: 331–367.
- BESCH, W., RICARD, M. & CANTIN, R. (1972): Benthic Diatoms as indicators of mining

- pollution in the Northwest Miramichi River System, New Brunswick, Canada. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 57: 39–74.
- BOCK, O. (1952): Eine algologische Seltenheit aus dem Spessart. *Nachr.naturw.Mus.Aschaffenburg* Jg. 1952: 37–40.
- BOURRELLY, P. (1966): *Les algues d'eau douce, algues vertes*. Paris 1966, 511 pp.
- BUTCHER, R.W. (1931): An apparatus for studying the growth of epiphytic algae with special reference to the River Tees. *Trans.North.Naturalists' Union* 1: 1–15.
- BUTCHER, R.W. (1932a): Notes on new and little-known algae from the beds of rivers. *New Phytologist* 31: 289–309.
- BUTCHER, R.W. (1932b): Studies in the ecology of rivers. II. The microflora of rivers with special reference to the algae on the river bed. *Ann.Bot.* 46: 813–861.
- BUTCHER, R.W. (1946): Studies in the ecology of rivers. VI. Algal growth in certain highly calcareous streams. - *J.Ecology* 33: 268–283.
- BUTCHER, R.W. (1947): Studies in the ecology of rivers. VII. The algae of organically enriched water. *J.Ecology* 35: 186–191.
- BUTCHER, R.W. (1949): Problems of distribution of sessile algae in running water. *Verh. internat. Ver. Limnol.* 10: 98–103.
- BUTCHER, R.W. (1955): Relation between the biology and the polluted conditions of the Trent *Verh.Int. Verein. Limnol.* 12: 823–827.
- CHOLNOKY, B.J. (1968): Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. J. Cramer, Lehre, 699 pp.
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 3. Aufl., Weinheim/Bergstr. 1960.
- DOUGLAS, B. (1958): The ecology of attached diatoms and other algae in a small stony stream. *J.Ecology* 46: 295–322.
- FJERDINGSTAD, E. (1964): Pollution of streams estimated by benthic phytomicro-organisms. I. A saprobic system based on communities of organisms and ecological factors. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 49: 63–131.
- FJERDINGSTAD, E. (1965): Taxonomy and saprobic valency of benthic phytomicro-organisms. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 50: 475–604.
- FRIEDRICH, G. (1973): Ökologische Untersuchungen an einem thermisch anomalen Fließgewässer (Erft/Niederrhein). *Schriftenreihe d.Landesanst.f.Gewässerkunde u. Gewässerschutz Nordrhein-Westfalen*, H. 33: 1–125.
- GOLUBIĆ, S. (1967): Die litorale Algenvegetation des Titisees. *Arch.Hydrobiol./Suppl.* 33: 172–205.
- HOHN, M.H. (1963): The taxonomy and structure of diatom populations from three eastern North American rivers using three sampling methods. *Trans.Amer.Microsc.Soc.* 82: 250–329.
- HOHN, M.H. (1964): Artificial substrate for benthic diatoms-collection, analysis, and interpretation. Sp. Publ. No. 4, Univ. of Pittsburg, Pittsburg, Pa.
- Innenministerium Baden-Württemberg, Hrsg. (1969): Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg (Stand Anfang 1968), Maßstab 1:200.000, 1. u. 2. Teil und Erläuterungen zu den Karten, Karlsruhe.
- KANN, E. (1963): Oekologische Untersuchungen des eulitoraligen Algenaufwuchses im Lago Maggiore, Lago di Mergozzo und Lago d'Orta. *Mem.Ist.Ital.Idrobiol.* 16: 153–187.
- KAWECKA, B. (1965): Communities of benthic algae in the River Bialka and in its tributaries the Rybi Potok and Rostoka. *Limnol.Invest. in the Tatra Mts. and Dunajec River Basin*, 11: 113–127, Krakow.
- KORNMAN, P. (1964): Über *Monostroma bullosum* (Roth) Thuret und *M.oxyspermum* (Kütz.) Doty. *Helgol.Wiss.Meeresunters.* 11: 13–21.
- LIEBMANN, H. (1962): *Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie* Bd. I. 2. Aufl. München, 588 pp.
- PATRICK, R. (1949): A proposed biological measure of stream conditions, based on a survey of the Conestoga Basin, Lancaster Country, Penna. *Proc.Acad.Nat.Sci.Philadelphia* 101: 271–344.
- PATRICK, R. (1951): A proposed biological measure of stream conditions. *Verh.Int. Ver. Limnol.* 11: 299–307.
- PATRICK, R. (1954): Diatoms as an indication of river change. Proc. 9th industr.waste conference 87: 325–330, Lafayette.

- PATRICK, R. (1963): The structure of diatom communities under varying ecological conditions. *Ann.N.Y.Acad.Sci.* 108: 359–365.
- PATRICK, R. (1968): The structure of diatom communities in similar ecological conditions. *The Amer.Naturalist* 102: 173–183.
- WEHRLE, E. (1927): Studien über Wasserstoffkonzentration und Algen in der Umgebung von Freiburg im Breisgau. *Zeitschr.f.Botanik* 19: 209–287.
- WEHRLE, E. (1942): Algen in Gebirgsbächen am Südostrande des Schwarzwaldes. *Beitr.naturk. Forschung Oberrheingebiet* 7: 128–286.
- WHITFORD, L.A. (1968): Notes on the ecology of some species of fresh-water algae. *Hydrobiologia* (Den Haag) 32: 225–236.
- WHITTON, B.A. (1970): Biology of *Cladophora* in fresh-waters. *Water Research* (Pergamon Press) 4: 457–476.
- SCHEELE, M. (1952): Systematisch-ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora der Fulda. *Arch.Hydrobiol.* 46: 305–432.
- SCHENK, G. (1973): Vergleichende Untersuchungen des Diatomeenaufwuchses auf natürlichen und künstlichen Substraten in der Schlitz. *Beitr.Naturkunde in Ostbessen* H. 5/6: 105–120.
- SCHMITZ, W. (1955): Grundlagen der deskriptiven und kausalanalytischen Fließgewässer-coenotik. - Diss.Univ.Kiel, 482 pp. .
- SCHMITZ, W. (1965): Die Soziologie aquatischer Mikrophyten. *Biozoologie – Bericht über das Internationale Symposion in Stolzenau/Weser 1960*, Junk, Den Haag, 120–139.
- SCHWOERBEL, J. (1966): Methoden der Hydrobiologie, Stuttgart, 207 pp.
- ZIMMERMANN, P. (1961): Experimentelle Untersuchungen über die ökologische Wirkung der Strömungsgeschwindigkeit auf die Lebensgemeinschaften des fließenden Wassers. *Schweiz.Z. Hydrol.* 23: 1–81.

Anschrift des Verfassers:

Dr. DIEDRICH BACKHAUS, Landesstelle für Gewässerkunde und Wasserwirtschaftliche Planung, Baden-Württemberg, D-75 Karlsruhe, Hebelstr. 2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1974

Band/Volume: [3_1974](#)

Autor(en)/Author(s): Backhaus Diedrich

Artikel/Article: [Fließwasseralgen und ihre Verwendbarkeit als Bioindikatoren 149-168](#)