

THOMAS GRETLER & WOLFGANG OSTENDORP

Die Zoobenthon-Besiedlung künstlicher Uferschutzsubstrate am Bodensee

Kurzfassung

Bei Uferschutzmaßnahmen an Seen des nördlichen Alpenraums werden oft künstliche Substrate, z. B. Wackenschüttungen, Geotextilien oder Spülsande eingesetzt. Über die Auswirkungen auf das litorale Zoobenthon war bisher wenig bekannt. In der vorliegenden Arbeit wurden drei jeweils 9 bis 12 Jahre alte Uferschutzsubstrate untersucht und hinsichtlich ihrer Zoobenthon-Besiedlung mit natürlichen Substraten verglichen. Die durchschnittliche Individuen-Dichte betrug im Mittel 8.600 m⁻² (davon 70 % Oligochaeta) für die natürlichen Substrate, 12.700 bis 14.900 m⁻² für künstlich aufgebraachte Sande (davon 60 bis 68 % Oligochaeta+Gastropoda), 11.800 bis 15.600 m⁻² (50 bis 61 % Diptera-Larven und Copepoda-Harpacticoida) für Kiesschüttungen, sowie 62.300 m⁻² (44 % Bivalvia+Ostracoda) für Geotextilien (in Klammern jeweils die Prozentanteile der dominanten Formen). Individuendichte und taxonomische Zusammensetzung werden offensichtlich wesentlich durch die Substratqualität (Größe des Lückenraumsystems) und Wellenbewegung beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, daß auch künstliche Substrate wie Kiesschüttungen und Geotextilien eine individuellen- und formenreiche Zoobenthon-Fauna beherbergen können.

Abstract

The macrobenthos fauna on artificial substrates used in shore protection works at Lake Constance (SW-Germany)

Many shore protection and reedbelt preservation works in prealpine lakes use artificial substrates like geotextiles, gravel dams or sand mixtures to fill up cliffs. In this paper the macrozoobenthos on substrates of three 9 to 12 years old shore protection measures was compared with natural substrates. The average density was 8,600 ind. m⁻² for the natural sand (dominated by Oligochaeta, 70 %), 12,700 to 14,900 for artificial sands (60 to 68 % Oligochaeta and Gastropoda), 11,800 to 15,600 (50 to 61 % Diptera larvae and Copepoda-Harpacticoida), and 62,300 (44 % Bivalvia and Ostracoda) for gravel beds, and geotextiles, respectively. It was assumed that individual numbers and taxonomic composition are mainly influenced by substrate quality (width of the interstitial space), and water movement (exposed to or sheltered from wave attack). Though being artificial on Lake Constance shores, gravel and (somewhat disintegrated) geotextiles seem to be suitable substrates to insure a rich and diverse macrozoobenthos.

Autoren

Dipl.-Biol. THOMAS GRETLER, Bregenzer Straße 33, D-88171 Weiler;

PD Dr. WOLFGANG OSTENDORP, Botanisches Institut, Universität Greifswald, D-17487 Greifswald.

1. Einleitung

Die Ufer vieler Alpenrandseen sind einem starken menschlichen Nutzungsdruck ausgesetzt, der in den letzten Jahrzehnten zu schweren Beeinträchtigungen der Uferzone geführt hat. Auch am Bodensee sind weite Bereiche des Ufers von Verbauung, Erosion und Röhrlichrückgang betroffen (OSTENDORP 1991, KRUMSCHEID-PLANKERT 1992, DITTRICH & WESTRICH 1988). Durch Uferrenaturierungsmaßnahmen versuchten die Wasserwirtschaftsbehörden, diese Schädigungen zumindest punktuell zu beseitigen, indem sie „das expositions-, substrat- und geländetypische naturnahe, langfristig stabile Ufer“ wiederherstellten (OSTENDORP & KRUMSCHEID-PLANKERT 1990). Während die Auswirkungen verschiedener Renaturierungsvarianten auf die Dynamik der Ufersedimente und auf die Entwicklung der Röhrlichbestände recht gut bekannt sind (OSTENDORP et al. 1995), gibt es kaum Untersuchungen über die Auswirkungen künstlich eingebrachter Uferschutzsubstrate auf die litorale Wirbellosenfauna (z. B. KNAUER 1993).

In dieser Arbeit werden einige Untersuchungsergebnisse geschildert, die anhand zweier Ufersicherungsmaßnahmen im Naturschutzgebiet „Bodensee-Bodman-Ludwigshafen“ am Nordwestende des Überlinger Sees gewonnen wurden. Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluß verschiedener Uferrenaturierungsvarianten auf die Zusammensetzung der Makrozoobenthon-Biozönosen zu klären. Die Arbeiten wurden im Rahmen einer Forschungskoooperation mit der Gewässerdirektion Donau-Bodensee, Ravensburg durchgeführt.

2. Untersuchungsgebiet, Material, Methoden

Der Überlinger See ist das nordwestliche Teilbecken des Bodensees und unterliegt als solches dem gleichen hydrologischen Regime wie das Hauptbecken, gekennzeichnet durch eine winterliche Niedrigwasserphase und ein sommerliches Hochwasser (Abb. 1, 2). Das Becken weist überwiegend steilscharfe Ufer auf; lediglich im Bereich der Flußmündungen sind Flachufer mit einer bis zu 300 m breiten Brandungsplattform ausgebildet. Die Untersuchungsflächen lagen an der Nordflanke des Stockacher Aach-Deltas am NW-Ende des Beckens (Abb. 1). Durch die canyonartige Beckenform ist der Überlinger See gut vor westlichen Starkwinden geschützt. Dies gilt insbesondere für das Untersuchungsgebiet, in dem ablandige oder uferparallele Winde vorherrschen. Der geologische Untergrund wird von nacheiszeitlichen Seeablagerungen

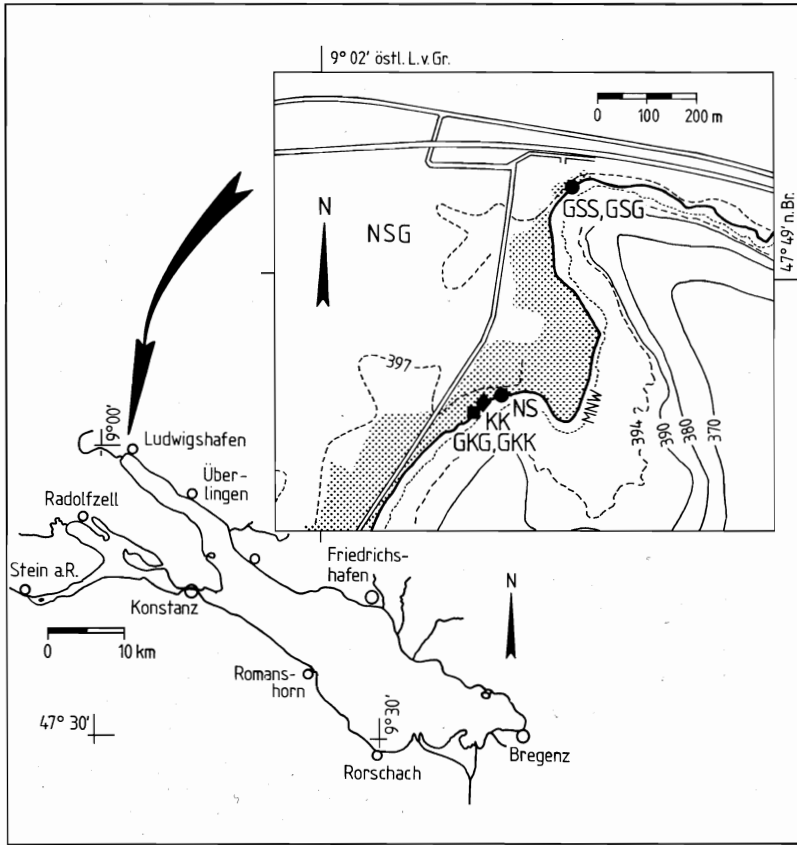


Abbildung 1. Lage der Untersuchungsflächen am NW-Ende des Überlinger Sees im Naturschutzgebiet „Bodenseeufer Bodman-Ludwigshafen“. GSS usw. = Untersuchungsflächen (Erläuterungen siehe Text), Höhen- bzw. Tiefenlinien in m ü.NN, MNW = 394,53 m ü.NN (Periode 1937-87), punktiert = Röhrichte (*Phragmites australis*)

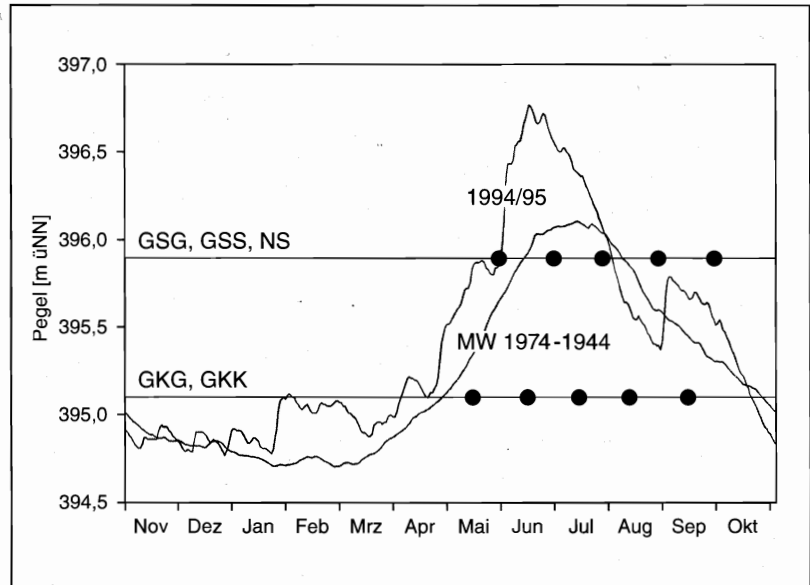
Tabelle 1. Eigenschaften der untersuchten Substrate (GKG = Variante 'Kies mit Geotextil', Geotextil über Kies; GKK = Variante 'Kies mit Geotextil', Kies unter Geotextil, KK = Variante 'Kies ohne Geotextil', GSS = Variante 'Sand mit Geotextil', Sand-Silt-Auflage, GSG = Variante 'Sand mit Geotextil', Geotextil incl. des darunterliegenden Sand-Silt-Substrats, NS =

natürliches Sandsubstrat). – Angegeben sind arithm. Mittelwerte (einf. Standardabweichungen aus n = 5 Monatsproben; bei den Korngrößen-Quartilen sind abweichend davon die delogarithmierten Schranken in mm angegeben, die den Werten $10 \exp(x - s_x)$ und $10 \exp(x + s_x)$ entsprechen, da die Korngrößen log-normalverteilt sind.

	Substrate					
	GKG	GKK	KK	GSS	GSG	NS
Fläche [m ²]	0,120 ± 0,003	0,0528	0,0528	0,0400	0,0400	0,0400
Masse [kg TS]	1,360 ± 0,243	6,197 ± 1,078	4,633 ± 0,832	0,485 ± 0,404	1,535 ± 0,218	1,179 ± 0,953
Schüttvolumen [L]	–	2,40 ± 0,42	3,20 ± 0,60	n.b.	n.b.	n.b.
Porenvolumen [%]	71,8 ± 4,7	35,8 ± 2,5	34,9 ± 2,3	n.b.	n.b.	n.b.
Korngröße: 25 %-Quartil	–	10,7 (7,1/16,2)	10,5 (3,6/12,8)	n.b.	< 0,063	0,24 (0,23/0,26)
Korngröße: Median	–	24,2 (17,7/33,3)	24,0 (20,5/28,0)	n.b.	< 0,063	0,35 (0,30/0,39)
Korngröße: 75 %-Quartil	–	40,3 (31,7/51,3)	46,2 (37,7/56,8)	n.b.	0,24	0,58 (0,49/0,69)
Org. Substanz [mg g ⁻¹ TS]	–*)	12,9 ± 6,4	10,6 ± 5,1	81,2 ± 42,9	60,4 (8,9)	172 ± 192
Pegelniveau [391,89 + m ü.NN]		3,21 ± 0,03			4,01 ± 0,05	
Überschwemmung		05.04. – 17.10. 1995			30.05. – 31.07.1995	

*) wegen des Gehaltes an Kunststoffgewebe und Bitumen nicht bestimmt.

Abbildung 2. Die Wasserstände des hydrologischen Jahres 1995, verglichen mit der Periode 1974/94 (Tagesmittelwerte); angegeben sind die mittleren Höhengniveaus der Untersuchungsflächen GSG usw. (Erläuterungen siehe Text), ● = Probenahmezeitpunkte.



und Deltasanden der Stockacher Aach gebildet. Während der Mündungstrichter der Aach in den See vorwächst, kommt es an den mündungsfernen Bereichen zu einer Ufererosion, die Mitte der achtziger Jahre der Anlaß für eine Ufersicherungsmaßnahme durch das damalige Wasserwirtschaftsamt Konstanz war. Hierzu wurde im ersten Falle 1985/86 eine Wacken-Schüttung mit einem Gefälle von ca. 1:3 eingebracht, die an einigen Stellen mit einer Geotextil-Matte gesichert wurde (Typ Enkammat® E20, werkseitig mit einem durch Bitumen gebundenen Splitgemisch gefüllt) (Abb. 3). Zum Zeitpunkt der Untersuchungen (Mai bis September 1995) waren die Geotextilien rund 9 Jahre lang Witterung und Wellenschlag ausgesetzt, so daß die Bitumen-Split-Füllung bereits weitgehend gelockert und ausgespült war (Abb. 4). An einem zweiten Uferabschnitt wurde 1982/83 in geringer Mächtigkeit mittelsandiges Ufersediment aufgebracht, und ebenfalls mit einer Enkammat® E20-Matte abgedeckt. Hier war die Geotextil-Abdeckung auch nach 12 Jahren noch weitgehend intakt.

Folgende Substratvarianten wurden beprobt und miteinander verglichen (Abb. 1 und Tab. 1):

- GKG – Geotextil-Kies-Variante: Geotextil-Gewebe auf Kies
- GKK – Geotextil-Kies-Variante: Kies-Substrat unter der Geotextil-Abdeckung
- KK – Kies-Variante: Kies-Substrat ohne Geotextil-Abdeckung
- GSG – Geotextil-Sand-Variante: Geotextil-Gewebe incl. des darunterliegenden siltig-sandigen Substrats
- GSS – Geotextil-Sand-Variante: Fein-Sediment-Abdeckung auf dem Geotextil
- NS – natürliches, siltig-sandiges Ufersubstrat

Die Kies-Varianten wurden in drei Tiefenstufen („seewärts“, „mitte“ und „landwärts“) untersucht, die Sand-Varianten nur in einer Tiefenstufe („mitte“). Die Kies-Varianten lagen unmittelbar seewärts eines ausgedehnten Schilfgürtels, die Sandvarianten lagen etwa 5 m (GSG, GSS) bzw. 10-15 m (NS) inner-

halb des Schilfgürtels. Die monatlichen Probenahmen erstreckten sich von Mai bis September 1995. In dieser Arbeit werden nur die Ergebnisse der Tiefenstufe „mitte“ vorgestellt; die Einzeldaten der Monatsproben sind zu einem arithmetischen Mittelwert zusammengefaßt.

Bei Niedrigwasserstand im Spätwinter 1995 wurden Kunststoff-Pflanzkörbe (ca. 24,5 x 21,5 x 6,5 cm) mit standörtlichem Kies-Material gefüllt und an Ort und Stelle wieder eingesetzt (Abb. 5). Im Falle des Geotextils wurden Mattenstücke von ca. 35 x 35 cm ausgeschnitten, in Aluminium-Klemmschienen eingespannt und *in situ* mit dem restlichen Geotextil verbunden (Abb. 6). Dadurch war in beiden Fällen eine rasche und nahezu störungsfreie Probenahme möglich, so daß Verluste an mobilen Zoobenthon-Organismen weitgehend vermieden wurden. Das Probenmaterial wurde unter Wasserbedeckung in Kunststoffwannen ins Labor transportiert, und dort unter dem Binokular quantitativ ausgelesen (Größenfraktion > 1 mm). Die Größenfraktion 0,3-1 mm wurde im Saccharose-Dichtegradienten getrennt und angereichert (KAJAK et al. 1968); hier wurde nur eine repräsentative Stichprobe quantitativ ausgelesen. Die Zählresultate wurden in „Anzahl Tiere pro Quadratmeter“ umgerechnet. Um das hohe Probenaufkommen bewältigen zu können, wurden die Organismen in leicht erkennbare taxonomische Gruppen, meist auf Ordnungsniveau, eingeteilt; lediglich in einigen Fällen wurde eine Artbestimmung durchgeführt. Einzelheiten zur Probenahme- und Aufbereitungstechnik finden sich bei GRETLER (1996).



Abbildung 3. Uferabschnitt im Untersuchungsgebiet mit Enkamat®-Matten (Vordergrund, Variante „Geotextil-Kies“) und Kies-Schüttung (Hintergrund, Variante „Kies-Substrat ohne Abdeckung“) (Foto am 13.3.1995, Pegel Konstanz 3,01 m).

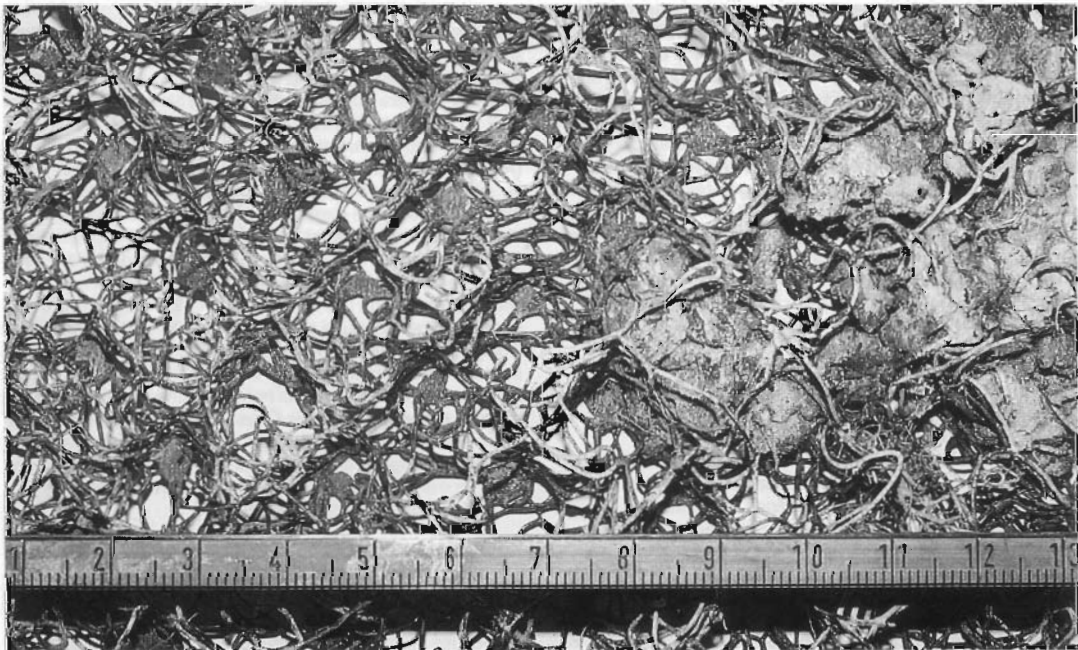


Abbildung 4. Ausschnitt einer ca. 10 Jahre alten Enkamat®-A20-Matte. Auf der linken Bildhälfte ist die Gitterstruktur aus Polyamid-filamenten freigelegt, auf der rechten Bildhälfte blieb ein Teil der Bitumenvergußmasse erhalten. Geotextilien mit Bitumenverguß werden heute am Bodensee nicht mehr eingebaut.



Abbildung 5. Mit Standortsubstrat gefüllter Kunststoffkorb der Variante KK am Expositionsort (Foto am 23.3.1995, Pegel Konstanz 3,07 m).

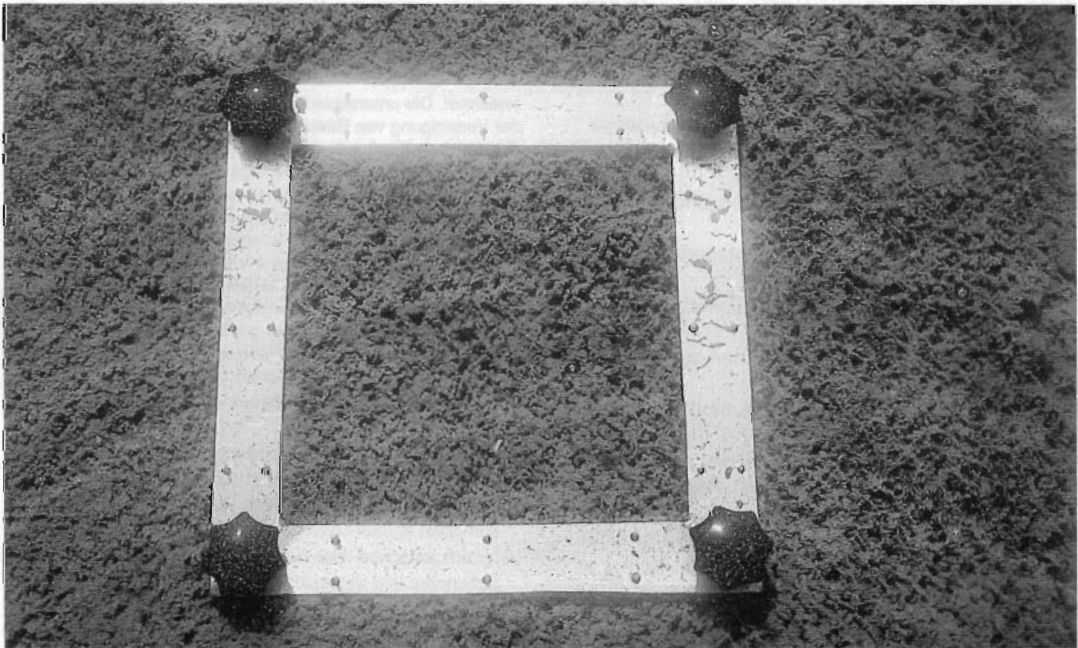


Abbildung 6. Ein vollständig im Aluminium-Rahmen fixiertes Geotextil-Stück der Variante „Geotextil-Kies“ am Expositionsort. Die Rahmen zeichnen sich durch vier große Schraubverschlüsse aus, die sich auch unter Wasser rasch öffnen lassen (Foto am 23.3.1995, Pegel Konstanz 3,07 m).

3. Ergebnisse

Insgesamt wurden auf den Testsubstraten 25 verschiedene Taxa unterschieden (Nomenklatur nach ILLIES 1978 und BROHMER 1992):

- Kl. Hydrozoa, Süßwasserpolypen: *Hydra* sp.
 Kl. Turbellaria, Strudelwürmer: *Polycelis* cf. *tenuis*, *Dugesia lugubris/polychroa*, *D. tigrina*
 St. Nemertini, Schnurwürmer: *Prostoma graecense*
 Kl. Nematoda, Fadenwürmer: keine Artbestimmung
 Kl. Gastropoda, Schnecken: (a) Wasserschnecken: *Bithynia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Valvata cristata*, *V. piscinalis alpestris*, *Galba truncatula*, *Radix peregra*, *Bathymphalus contortus*, *Gyraulus albus*, *G. crista*, *Hippeutis complanatus*, *Planorbis carinatus*, *P. planorbis*, *Segmentina nitida*, (b) Landschnecken: *Arion* sp., *Bradybaena fruticum*, *Cochlicopa* sp., *Carychium minimum*, *Vertigo antvertigo*, *Oxychilus* sp.
 Kl. Bivalvia, Muscheln: *Dreissena polymorpha*, *Pisidium* sp.
 UKI. Oligochaeta, Wenigborster: keine Artbestimmung
 UKI. Hirudinea, Egel: *Piscicola geometra*, *Glossiphonia complanata*, *G. heteroclita*, *Helobdella stagnalis*, *Theromyzon tessulatum*, *Dina lineata* (Erstfund für den Bodensee-Obersee), *Erpoidella octoculata*
 Ordn. Araneae, Webspinnen: keine Artbestimmung
 Ordn. Acari, Milben: sowohl Wassermilben (Hydracarina) als auch Hornmilben (Oribatei)
 Kl. Ostracoda, Muschelkrebse: keine Artbestimmung
 Ordn. Harpacticoidea (Ruderfußkrebse p.p.): keine Artbestimmung
 UOrdn. Amphipoda, Flohkrebse: *Gammarus roeselii*
 Ordn. Isopoda, Asseln: *Asellus aquaticus* sowie Landsasseln der UOrdn. Oniscidea
 Ordn. Collembola, Springschwänze: keine Artbestimmung
 Ordn. Ephemeroptera (Larven), Eintagsfliegen: *Caenis* spp., *Cloeon dipterum*
 Ordn. Odonata (Larven), Libellen: *Somatochlora metallica*
 Ordn. Rhynchota, Schnabelkerfe: Arten der Fam. Corixidae, Ruderwanzen
 Ordn. Megaloptera (Larven), Schlammfliegen: *Sialis lutaria*
 Ordn. Plannipennia (Larven), Netzflügler: *Sysira* sp.
 Ordn. Coleoptera (Larven, Imagines), Käfer: keine Artbestimmung
 Ordn. Hymenoptera (Imago), Hautflügler: keine Artbestimmung
 Ordn. Trichoptera (Larven), Köcherfliegen: *Ecnomus tenellus*, *Agraylea multipunctata*, *Orthotrichia* spp., *Hydroptila* spp., *Arthripsodes cinereus*, *Ceraclea* cf. *dissimilis*, *Mystacides azurea*, *M. longicornis*, *M. nigra*, *Oecetis lacustris*, *O. ochracea*, *Polycentropus flavomaculatus*

Ordn. Lepidoptera (Larve), Schmetterlinge: *Nymphula* sp.

Ordn. Diptera (Larven), Zweiflügler: überwiegend Arten der Fam. Chironomidae, einige Tabanidae

Von den 25 gefundenen Gruppen traten 18 mit größeren Häufigkeiten (> 0,1 % aller Tiere) auf (Tab. 2).

Die meisten der taxonomischen Großgruppen wurden in dieser Untersuchung (nahezu) ausschließlich durch aquatische Formen repräsentiert (Hydrozoa, Turbellaria, Nemertini, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Ostracoda, Harpacticoidea, Amphipoda, Ephemeroptera, Odonata, Rhynchota, Megaloptera, Plannipennia, Trichoptera, Lepidoptera), während andere vorwiegend amphibisch oder rein terrestrisch lebende Formen enthielten (Araneae, Collembola, Coleoptera, Hymenoptera). In den Gruppen Nematoda, Gastropoda, Acari, Isopoda, Diptera kamen zu vergleichbaren Anteilen sowohl terrestrische als auch submers lebende Formen vor. Bei den Schnecken und Asseln konnten die terrestrischen und aquatischen Taxa pauschal unterschieden werden.

Die Summenwerte der Abundanzen der einzelnen Monate wurden mit einem χ^2 -Test auf Normalverteilung geprüft; dabei ergab sich ein Wert von

$$\chi^2 = 53,76 > \chi^2_{(5; 0,05, \text{beidseitig})} = 11,07.$$

Für die logarithmierten Abundanzen wurde hingegen

$$\chi^2 = 6,22 < \chi^2_{(3; 0,05, \text{beidseitig})} = 7,81$$

errechnet. Die unterschiedlichen Freiheitsgrade resultieren aus der Vereinigung von Randklassen. Die Abundanzwerte als solche weichen demnach sehr stark von einer Normalverteilung ab, während die Verteilung der logarithmierten Abundanzen einer Normalverteilung wesentlich näher kommt. Daher wurde bei den folgenden statistischen Berechnungen von einer log-Normalverteilung der Daten ausgegangen. Für die Abundanzen der einzelnen Tiergruppen wurde eine $[\log(x+1)]$ -Transformation gewählt. Sowohl beim Mittelwertvergleich zwischen den Standorten als auch beim Vergleich der Abundanzen der einzelnen Tiergruppen wurde ein gepaarter t-Test durchgeführt (n=5, Anzahl der Monatsprobenahmen). Folgende Paarungen wurden miteinander verglichen:

Vergleich zwischen Geotextilien und Kies als Substrat: GKG vs. KK

Vergleich zwischen dem aufliegenden Geotextil und dem darunterliegenden Kiessubstrat: GKG vs. GKK

Vergleich zwischen dem Kiessubstrat unter dem Geotextil und dem nicht abgedeckten Kiessubstrat: GKK vs. KK

Vergleich zwischen dem Geotextil-bedeckten siltig-sandigen Substraten und dem natürlichen Sandsubstrat: GSS vs. NS und GSG vs. NS

Vergleich zwischen der Sandauflage und dem unterliegenden Geotextil incl. des darunterliegenden Sand-Substrat: GSS vs. GSG

Tabelle 2. Abundanz- und Dominanzwerte, sowie Dominanz-Rangzahlen der auf den Substraten gefundenen Taxa (Abundanzen: arithm. Mittelwerte aus n = 5 Monatsproben); Bezeichnung der Substratvarianten vgl. Tabelle 1.

Taxon	GKG			GKK			KK			GSS			GSG			NS		
	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang	Ind · m ⁻²	% Rang
Turbellaria	950	1,53	8	19	0,16	15	144	0,92	13	0	0,00	0	0,00	0	0,00	20	0,24	12
Nematoda	10	0,02	16	251	2,12	8	205	1,32	12	125	0,98	11	67	0,45	13	885	10,28	2
Gastropoda	2067	3,32	5	1223	10,33	3	881	5,65	5	4567	36,00	1	4642	31,10	2	499	5,80	3
Bivalvia	39404	63,28	1	1101	9,30	4	2058	13,19	3	139	1,09	10	369	2,47	6	104	1,21	7
Oligochaeta	240	0,39	12	767	6,48	5	1796	11,51	4	3081	24,29	2	4827	32,34	1	6186	71,90	1
Hirudinea	47	0,08	14	61	0,51	13	338	2,17	10	281	2,22	8	591	3,96	5	276	3,21	4
Araneae	0	0,00		0	0,00		0	0,00		99	0,78	12	143	0,96	10	43	0,50	11
Acari	516	0,83	10	106	0,90	11	311	2,00	11	409	3,22	6	200	1,34	9	53	0,62	9
Ostracoda	5712	9,17	2	383	3,24	6	642	4,11	8	2109	16,62	3	640	4,29	4	43	0,50	10
Harpacticoida	351	0,56	11	3611	30,51	1	3546	22,73	1	28	0,22	14	0	0,00		0	0,00	
Amphipoda	2044	3,28	6	239	2,02	9	471	3,02	9	6	0,04	15	15	0,10	14	0	0,00	
Isopoda	3706	5,95	4	42	0,35	14	27	0,17	14	357	2,81	7	113	0,76	11	16	0,18	13
Collembola	0	0,00		4	0,03	17	4	0,02	17	677	5,34	4	287	1,92	8	85	0,99	8
Ephemeroptera	4583	7,36	3	330	2,79	7	839	5,38	6	70	0,55	13	97	0,65	12	5	0,06	14
Rhynchofa	54	0,09	13	68	0,58	12	23	0,15	15	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Coleoptera	25	0,04	15	11	0,10	16	15	0,10	16	252	1,99	9	360	2,41	7	224	2,60	5
Trichoptera	672	1,08	9	152	1,28	10	755	4,84	7	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
Diptera	1858	2,98	7	3463	29,26	2	3539	22,68	2	471	3,71	5	2572	17,24	3	154	1,79	6
Summe	62272	100		11835	100		15601	100		12686	100		14925	100		8603	100	

weiterhin in jeder Gruppe < 0,1 %: Hydrozoa, Nemeritini, Odonata, Lepidoptera, Hymenoptera, Planipennis, sowie unbestimmbare Tiere (max. 0,13 %).

Tabelle 3. Paarweiser Vergleich der Abundanzen in den einzelnen Substratvarianten ¹⁾ (vgl. Legende zu Tab. 1); gepaarter t-Test der log(n+1)-transformierten Abundanzen für n=5

Monatsproben; Signifikanzniveaus: n.s. = nicht signifikant, (*) = $\leq 0,1$, * = $\leq 0,05$, ** = $\leq 0,01$; n.b. = das Taxon wurde in der betr. Paarung nicht gefunden.

Taxon	Substratvergleiche (a vs. b)					
	a: GKG vs. b: KK	GKG vs. GKK	GKK vs. KK	GSS vs. NS	GSG vs. NS	GSS vs. GSG
Turbellaria	a > b **	a > b **	a < b (*)	n.s.	n.s.	n.b.
Nematoda	a < b **	a < b **	n.s.	a < b (**)	a < b **	n.s.
Gastropoda	a > b (*)	n.s.	n.s.	a > b *	a > b *	n.s.
Bivalvia	a > b *	a > b *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Oligochaeta	a < b *	n.s.	n.s.	a < b *	n.s.	a < b (*)
Hirudinea	a < b (*)	n.s.	a < b (*)	n.s.	n.s.	n.s.
Acari	n.s.	a > b (*)	a < b (*)	a > b *	n.s.	n.s.
Ostracoda	a > b (*)	a > b **	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Harpacticoid.	a < b *	a < b *	n.s.	n.s.	n.b.	n.s.
Amphipoda	a > b (*)	a > b *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Isopoda	a > b **	a > b **	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trichoptera	n.s.	a > b (*)	a < b (*)	n.b.	n.b.	n.b.
Diptera	n.s.	n.s.	n.s.	a > b (*)	a > b *	n.s.
Summe	a > b (*)	a > b *	n.s.	a > b (*)	a > b (*)	n.s.

¹⁾ für Rhynchota, Collembola, Coleoptera, Araneae und Ephemeroptera wurden bei keiner Paarung signifikante Unterschiede festgestellt

Die Testergebnisse sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Die Gesamt-Abundanzen schwankten generell zwischen etwa 10^4 und 10^5 Individuen pro Quadratmeter (Tab. 2). Die Besiedlungsdichte der Geotextil-/Kiesvarianten ist dabei nicht generell höher als die der Geotextil-/Sandvarianten. Signifikante bzw. schwach signifikante Unterschiede ergaben sich zwischen den Varianten GKG und KK, GKG und GKK, GSS und NS, sowie zwischen GSG und NS, während sich die Kiessubstrate GKK und KK, und die siltigen Sandsubstrate GSS und GSG nicht signifikant voneinander unterschieden (Tab. 3). Bei den Kiesvarianten ist die Besiedlungsdichte auf den Geotextilien im Mittel rd. 4- bis 5-mal größer als auf dem Kies (Vergleiche GKG vs. GKK und GKG vs. KK), wogegen die Unterschiede zwischen den durch Geotextilien befestigten siltigen Sandsubstraten und dem natürlichen Sandsubstrat weit weniger stark ausgeprägt sind (Faktor 1,5 bis 1,7). Die Unterschiede zwischen den Besiedlungsdichten von Geotextil und Kies sind vornehmlich auf die konstant hohe Besiedlung des Geotextils mit der Dreikant-Muschel *Dreissena polymorpha* zurückzuführen, die erst 1966 im Bodensee nachgewiesen wurde und um 1970 eine Massenpopulation erreichte (WALZ 1974, 1978). Auf der Variante GKG wurde im September ein Spitzenwert von rd. 109.000 Muscheln m⁻² ermittelt. Hinsichtlich der einzelnen Taxa ist das Geotextil durch signifikant höhere Abundanzen von Strudelwürmern, Muscheln, Muschelkrebse, Flohkrebse und Asseln gekennzeichnet, während sich

das Kiessubstrat durch signifikant höhere Dichten an Fadenwürmern und Ruderfußkrebse der Ordnung Harpacticoida auszeichnet. Das Geotextil-bedeckte Kiessubstrat (GKK) unterscheidet sich nicht signifikant von dem unbedeckten Kiessubstrat (KK); immerhin werden Tendenzen zu geringeren Individuendichten von Strudelwürmern, Egel, Milben und Köcherfliegen-Larven sichtbar (Tab. 3).

Beim Vergleich der Sandsubstrate muß man sich vergegenwärtigen, daß die Untersuchungsstellen nur in den Monaten Juni und Juli überschwemmt waren, ansonsten aber terrestrischen Bedingungen ausgesetzt waren. Der Substrateffekt zwischen Geotextil-/Kiesvarianten und der Geotextil-/Sand-Variante wird also durch ihre unterschiedliche Lage zum Mittelwasserspiegel überdeckt. Ein direkter statistischer Vergleich erschien daher nicht zielführend.

Dennoch sei auf die vergleichsweise hohen Abundanzmittelwerte der überwiegend amphibischen oder rein terrestrischen Formen wie Oligochaeta, Acari, Collembola und Coleoptera, gegenüber den niedrigeren Abundanzen rein aquatischer Formen wie Bivalvia, Harpacticoida, Amphipoda, Ephemeroptera-Larven, Rhynchota und Trichoptera-Larven hingewiesen (Tab. 2). Bei Gruppen, die sowohl submerse als auch terrestrische Formen enthalten wie Nematoda, Gastropoda, Acari, Isopoda und Diptera sind die Unterschiede zwischen den nur kurzzeitig überschwemmten Sandvarianten und den mehr als sechs Monate lang überfluteten Kiesvarianten (Abb. 2) weit weniger

Tabelle 4. Dominanzverteilungen der Zoobenthon-Fauna der Substratvarianten. D - Dominanzprozentwerte (arithm. Mittelwerte der Prozentwerte aus n = 5 Monatsprobenahmen), K_D - Dominanzklassen n. ENGELMANN 1978 (6 - 'eudominant', 5 - 'dominant', 4 - 'subdominant', 3 - 'rezedent').

GKG			GKK			KK			GSS			GSG			NS		
Taxon	D	K _D	Taxon	D	K _D	Taxon	D	K _D	Taxon	D	K _D	Taxon	D	K _D	Taxon	D	K _D
Bivalvia	32,7	6	Harpactic.	36,9	6	Diptera	27,4	5	Gastropoda	35,8	6	Oligochaeta	33,9	6	Oligochaeta	70,1	6
Ostracoda	11,5	5	Diptera	23,6	5	Harpactic.	24,0	5	Oligochaeta	23,8	5	Gastropoda	33,6	6	Nematoda	8,3	4
Isopoda	11,1	5	Gastropoda	8,1	4	Oligochaeta	16,3	5	Ostracoda	17,9	5	Diptera	14,0	5	Gastropoda	7,2	4
Diptera	9,4	4	Bivalvia	8,0	4	Bivalvia	6,7	4	Collembola	5,2	4	Ostracoda	3,4	4	Hirudinea	3,9	4
Ephemeropt.	9,1	4	Oligochaeta	6,5	4	Ephemeropt.	4,4	4	Diptera	4,1	4	Hirudinea	3,3	4	Coleoptera	2,8	3
Amphipoda	8,7	4	Ephemeropt.	2,8	3	Gastropoda	4,2	4	Acari	3,1	3	Coleoptera	2,8	3	Diptera	2,0	3
Harpactic.	3,8	4	Nematoda	2,8	3	Ostracoda	3,6	4	Isopoda	2,6	3	Collembola	2,2	3	Bivalvia	1,8	3
Acari	3,8	4	Ostracoda	2,7	3	Trichoptera	3,4	4	Coleoptera	1,9	3	Bivalvia	2,1	3	Collembola	1,3	3
Gastropoda	3,3	4	Amphipoda	2,4	3	Acari	2,7	3	Hirudinea	1,6	3	Acari	1,4	3			
Turbellaria	2,9	3	Rhynchota	2,1	3	Amphipoda	2,4	3	Bivalvia	1,2	3	Araneae	1,2	3			
Trichoptera	1,5	3	Acari	1,7	3	Nematoda	2,1	3									
Oligochaeta	1,2	3	Trichoptera	1,0	3	Hirudinea	1,6	3									
sonst. Be-gleitformen	1,0		sonst. Be-gleitformen	1,5		sonst. Be-gleitformen	1,1		sonst. Be-gleitformen	2,7		sonst. Be-gleitformen	2,1		sonst. Be-gleitformen	2,6	

stark ausgeprägt. Innerhalb der Sandsubstrate fällt auf, daß die Geotextil-Variante, die mit siltig-sandigem Feinsediment überdeckt und unterlagert ist (GSS, GSG), signifikant niedrigere Dichten an Nematoden, dafür aber höhere Abundanzen von Gastropoden und Diptera-Larven aufweist als das größere natürliche Substrat (NS). Außerdem sind in dem auflagernden Feinsediment (GSS) signifikant mehr Milben und weniger Oligochaeten vertreten als in NS.

Die durchschnittliche Dominanz der höheren Taxa in den 5 Monatsproben stellte sich bei den einzelnen Substratvarianten sehr unterschiedlich dar (Tab. 4). Das Geotextil der Geotextil-Kies-Variante (GKG) fiel durch die Dominanz von Muscheln (hier ausschließlich *Dreissena polymorpha*), Ostracoden und Asseln (hier ausschließlich *Asellus aquaticus*) auf, die zusammen im Mittel rd. 55 % der Individuen ausmachten. Hingegen herrschten auf den Kiessubstraten GKK und KK mit 60 % bzw. 51 % Harpacticoida und Diptera-Larven vor. Die siltig-sandigen Substrate der Varianten GSS und GSG wurden von Schnecken und Oligochaeten beherrscht (zusammen im Mittel 60 % bzw. 68 %). Auf dem natürlichen Substrat NS dominierten allein die Oligochaeten mit 70 % aller Individuen. Der Anteil subzedenter und sporadischer Formen war bei den Geotextil-Sand-Varianten etwa doppelt so hoch wie bei den Geotextil-Kies-Varianten.

4. Diskussion

Das vorrangige Ziel der Untersuchungen war es herauszufinden, welche Zoobenthon-Gemeinschaften sich auf künstlichen Uferschutzsubstraten einstellen, um eine Basis für eine ökologische Eignungsbeurteilung zu erhalten. Die vier untersuchten Substrate der sechs Varianten lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen, Kiessubstrate mit oder ohne Geotextilbedeckung (GKG u. GKK bzw. KK), und siltig-sandige Substrate mit oder ohne Geotextilbedeckung (GSS u. GSG bzw. NS). Aufgrund der Geländegegebenheiten war es nicht möglich, die Zoobenthonbesiedlung dieser beiden Gruppen direkt miteinander zu vergleichen, da sie sich außer durch ihre Substrateigenschaften durch ihre unterschiedliche Höhenlage und durch ihre Lage zum Röhrichtgürtel unterschieden.

Bei den Sandsubstraten handelt es sich um hochgelegene Stillwasserbereiche, die nur in den Monaten Juni und Juli überschwemmt waren, bei den Kiessubstraten um Brandungsbereiche, die im Untersuchungs-jahr knapp 7 Monate lang überschwemmt waren. Auf den Sandsubstraten werden folglich grabende, sediment-fressende Tiergruppen bevorzugt, die starke Strömungen meiden, und sich bei oberflächlicher Abtrocknung ins wassergesättigte Lückensystem des Substrats zurückziehen können. Es sind dies v. a. die Oligochaeten, die zwischen 24 % und 70 % der Individuen ausma-

chen. Ob und inwieweit hier und bei den ebenfalls sehr häufig auftretenden Gastropoda eine Artumschichtung erfolgt, wenn die Standorte wasserfrei werden, bzw. von der terrestrischen Phase in die limnische Phase übergehen, wurde nicht eigens verfolgt. Demgegenüber stellen die Kiessubstrate der Brandungszone einen Lebensraum mit ständig hoher Sauerstoffversorgung und starken Wasserbewegungen dar, so daß ihre Zoobenthon-Gemeinschaften gewisse Ähnlichkeiten mit Fließwasserbiozönosen aufweisen (KNAUER 1993). Im vorliegenden Fall wird das innerhalb der Trichoptera durch *Agraylea multipunctata*, *Arthripsodes cinereus* und *Ceraclea dissimilis* belegt (vgl. Artenliste). Im Gegensatz zu den Kiessubstraten zeichneten sich die Sandsubstrate durch einen Wechsel von Überschwemmungs- und Trockenphasen aus. Als unmittelbare Folge davon wies die Fauna phasenweise zahlreiche terrestrische Gruppen auf, etwa terrestrische Araneae, Isopoda und Collembola, die den Kiesvarianten weitgehend fehlten.

Beim Vergleich der Kiessubstrate fallen folgende Punkte auf:

(1) Die Gesamtbesiedlungsdichte der Geotextilien (GKG) ist signifikant höher als die der Kiessubstrate (GKK, KK). Beim Vergleich einzelner Tiergruppen zeigt sich, daß die Geotextilien von signifikant mehr Muscheln, Wasserschnecken, (limnischen) Asseln, Flohkrebse und Strudelwürmern besiedelt werden (Tab. 3). Andererseits sind die Abundanzen der Oligochaeten, Harpacticoida, und Nematoda signifikant geringer. Diese unterschiedlichen Besiedlungspräferenzen gehen mit Unterschieden der Substratqualität einher.

(2) Die Besiedlung des Kiessubstrats unter den Matten weist keine signifikanten Unterschiede zur Besiedlung der nicht-geotextilbedeckten Kiese auf, während andererseits die Vergleiche GKG vs. KK und GKG vs. GKK fast identische Muster der Signifikanzverteilung zeigen. Dieses Ergebnis ist ein weiterer Beleg für einen ausgeprägten Substrateffekt, selbst bei räumlich unmittelbar miteinander verbundenen Substrattypen (GKG und GKK). Allerdings sind nicht alle Taxa von den Unterschieden zwischen Geotextil- und Kiessubstraten gleichermaßen betroffen: Für die Besiedlung mit Diptera-, Ephemeroptera-, und Trichoptera-Larven, sowie Acari, Rhynchota, Collembola und Coleoptera scheinen die Unterschiede von untergeordneter Bedeutung zu sein. Für die höhere Gesamtbesiedlung der Enkamat®-Matten und die signifikant höhere Individuendichte bei einzelnen Taxa dürften im wesentlichen folgende Faktoren verantwortlich sein:

Da aus den etwa 9 Jahre alten Matten ein beträchtlicher Teil der Bitumenvergußmasse herausgespült worden ist, bietet das freigelegte, dreidimensionale Kunststoffgewebe eine große innere Oberfläche, die vor allem von *Dreissena polymorpha* als Anheftungsfläche genutzt werden kann (*Dreissena* besitzt

als einzige Muschelart des Bodensees Byssusfäden). Überdies stellt die freigelegte, dreidimensionale Struktur der Matten ein Lückenraumsystem bereit, das auch von größeren Formen (z. B. *Asellus aquaticus*, *Gammarus roeselii*) besiedelt werden kann.

Die fest verankerten Matten werden durch Sturmereignisse und Wellenbewegungen weniger beeinflusst als die Kiessubstrate, deren Einzelkörner sich im Bereich der Brandungszone als Folge des Wellenangriffs verschieben und umlagern. Außerdem könnten in den Porenräumen der Wackeln beim Durchgang von Wellenrücken und Wellental höhere Druckdifferenzen und infolgedessen höhere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten als im viel größeren Lückensystem der Geotextil-Matten.

Ein Nachteil der Mattensubstrate gegenüber den Kiessubstraten ist der wesentlich geringere Anteil an feinkörnigem Material, so daß die Besiedlungsdichte durch kleinere Formen mit schlängelnder oder kriechender Fortbewegungsweise geringer ist (v. a. Oligochaeta, Nematoda, Harpacticoida).

KOTHÉ (1967, 1982) (s. auch BANNING et al. 1989) untersuchte mit ähnlicher Zielsetzung die Zoobenthon-Besiedlung unterschiedlich ausgebauter Uferstrecken an einem Schiffahrtskanal. Er kam zu dem Ergebnis, daß mehr oder minder relieflose Oberflächen, z. B. Asphaltmatten, Betonplatten, Spundwände die geringsten Artenzahlen und Individuendichten aufweisen. Die höchsten Besiedlungsdichten ermittelte er auf Steinschüttungen mit gepflanztem Schilf im Böschungswinkel 1:3. Als wichtigster Faktor für die tierische Besiedlung stellte sich die große innere Oberfläche (Lückenräume) des Substrats heraus. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Wackensubstrate dürften mit den Steinschüttungen in den Untersuchungen KOTHÉs vergleichbar sein. Umso bemerkenswerter sind die noch höheren Besiedlungsdichten der mit Bitumenausguß versehenen Enkamat®-Matten im Bodensee. Sie sind wohl überwiegend auf den Verwitterungseffekt, die Lockerung und teilweise Ausspülung der Vergußmasse zurückzuführen. Leider wird in den Arbeiten KOTHÉs nicht näher ausgeführt, ob es sich bei den 'Asphaltmatten' um ein den Enkamat®-Matten vergleichbares Substrat handelt.

Betrachtet man zusammenfassend die Zoobenthon-Besiedlung der Sandvarianten, so fällt die tendenziell höhere Gesamt-Besiedlung der Varianten GSS und GSG gegenüber dem natürlichen Substrat (NS) auf. Insbesondere Diptera-Larven und Gastropoda sind hier häufiger als auf dem natürlichen Substrat, das dafür eine höhere Nematoden-Besiedlung aufweist. Insgesamt findet man im Gegensatz zu den Kiesvarianten nur bei wenigen Tiergruppen signifikante Besiedlungsunterschiede zwischen dem Geotextil (GSG) und dem natürlichen Substrat (NS). Dies dürfte im wesentlichen darauf zurückzuführen sein, daß die Matten großflächig mit feinsandig-siltigem Substrat bedeckt

waren, und der Bitumenverguß noch weitgehend intakt war. Die Besiedlungsunterschiede lassen sich also nicht mit Sicherheit als „Matteneffekt“ und damit als Substratabhängigkeit interpretieren.

5. Ausblick: Die Eignung von Geotextilien als ökologisch verträgliche künstliche Uferschutzsubstrate

Die höchsten Individuendichten wurden auf den visuell am stärksten naturfern wirkenden Enkamat[®]-Matten auf Kiesuntergrund ermittelt. Allerdings zeigen die Geotextilien nur dann eine positive Wirkung auf die tierische Besiedlungsdichte, wenn zumindest ein Teil der dreidimensionalen Struktur freiliegt, also eine möglichst große innere Oberfläche besiedelt werden kann. Bestätigt wird dies durch die Enkamat[®]-Matten der Sandvarianten, die durch den weitgehend intakten Bitumenverguß und die Feinsubstratüberdeckung kein umfangreiches Lückenraumsystem zur Verfügung stellen können. Die positiven Wirkungen beruhen auf der wasserbaulich nicht unbedingt erwünschten „Verwitterung“ der Matten, die allerdings erst nach etwa 5-10 jähriger Expositionszeit wirksam werden dürfte. Hinsichtlich der Eignung für eine hohe Zoobenthon-Besiedlung sollte in der wasserbaulichen Praxis darauf geachtet werden, daß neu ausgebrachte Matten nicht mit Substrat überdeckt werden. Außerdem wäre es überlegenswert, eine weniger dichte Vergußmasse zu verwenden bzw. die Vergußmasse nicht haltbarer zu machen als für den Uferschutzzweck unbedingt notwendig, um so bereits nach kürzeren Zeiträumen einen günstigen Einfluß auf die Besiedlungsdichte zu erreichen. Bitumen als Vergußmasse dürfte jedoch heute aus Gewässerschutzgründen i.a. nicht mehr in Frage kommen.

Auch die Kiesschüttungen sind ein durchaus geeignetes Substrat für das Zoobenthon. Die Besiedlungsdichten liegen zwar etwas niedriger als auf den Geotextilien, entsprechen aber in ihrer Größenordnung den Werten, die für die natürlichen Brandungszonen verschiedener anderer Seen ermittelt wurden (EHRENBERG 1957, DALL et al. 1984).

Andererseits stellt jede Ufersicherungsmaßnahme einen Eingriff in die bereits etablierte Zoobenthon-Biozönose dar. Wollte man etwa das natürliche Sandsubstrat mit Kies abdecken, müßte man mit einer deutlichen Verschiebung der Dominanzverhältnisse rechnen, gekennzeichnet durch einen Wechsel von Oligochaeten/Nematoden/Gastropoden zu Diptera/Harpacticoida. Bei der Verwendung standortfremder Substrate kann es auch zu komplexen Folgewirkungen kommen. So stellen beispielsweise die verwitterten Enkamat[®]-Matten ein hervorragendes Substrat für die erst 1966/67 in den Bodensee eingeschleppte Wandermuschel *Dreissena polymorpha* dar. Eine Massenvermehrung von *Dreissena* kann zu einer erheblichen Dominanzverschiebung innerhalb der Avifauna führen: Unter den Überwinterungsgästen nahm die Abundanz der Tauchenten und Bläßhühner stark zu, da sie, im Gegensatz zu den Gründelenten auch die *Dreissena*-Bestände in größerer Wassertiefe als Nahrungsquelle nutzen können (LEUZINGER & SCHUSTER 1970, JACOBY & LEUZINGER 1972). Dieses Beispiel verdeutlicht, daß die hier dargestellten Untersuchungsergebnisse, die sich lediglich auf die pauschalen Individuendichten der höheren Taxa stützen, aber nur einen begrenzten Einblick in die biozönotische Struktur erlauben, weiter vertieft werden müssen, da die möglichen Konsequenzen für die gesamte Litoralbiozönose zu wenig bekannt sind.

Unter den Überwinterungsgästen nahm die Abundanz der Tauchenten und Bläßhühner stark zu, da sie, im Gegensatz zu den Gründelenten auch die *Dreissena*-Bestände in größerer Wassertiefe als Nahrungsquelle nutzen können (LEUZINGER & SCHUSTER 1970, JACOBY & LEUZINGER 1972). Dieses Beispiel verdeutlicht, daß die hier dargestellten Untersuchungsergebnisse, die sich lediglich auf die pauschalen Individuendichten der höheren Taxa stützen, aber nur einen begrenzten Einblick in die biozönotische Struktur erlauben, weiter vertieft werden müssen, da die möglichen Konsequenzen für die gesamte Litoralbiozönose zu wenig bekannt sind.

Danksagung

Dem Amt für Wasserwirtschaft und Boden, Konstanz (jetzt: Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Ravensburg) sei für seine finanzielle Unterstützung gedankt. Frau A. SEIFRIED half uns bei der Bestimmung einiger schwieriger Taxa.

6. Literatur

- BANNING, M., LEUCHS, H., RÜTTEN, M., SCHLEUTER, M., SCHÖLL, F. & TITTIZER, T. (1989): Die Bundeswasserstraßen als Lebensraum für Tiere. – Jber. Bundesanst. f. Gewässerkd. 1-25; Koblenz.
- BROHMER, P. (1992): Fauna von Deutschland. – 18. Aufl.; 704 S.; Heidelberg (Quelle & Meyer).
- DALL, P.D., LINDEGAARD, C., JONSSON, E., JONSSON, G. & JONASSON, P.M. (1984): Invertebrate communities and their environment in the exposed littoral zone of Lake Esrom, Denmark. – Arch. Hydrobiol. Suppl., 69: 477-524; Stuttgart.
- DITTRICH, A. & WESTRICH, B. (1988): Bodenseeufererosion: Bestandsaufnahme und Bewertung. – Mitt. Inst. f. Wasserbau, Univ. Stuttgart, 68, 167 S.; Stuttgart.
- EHRENBERG, H. (1957): Die Steinfaua der Brandungsufer ostholsteinischer Seen. – Arch. Hydrobiol., 53: 87-159; Stuttgart.
- ENGELMANN, H.-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. – Pedobiologia, 18: 378-380; Jena.
- GRETLER, Th. (1996): Zoobenthon-Besiedlung künstlicher Uferschutzsubstrate. – 129 S.; Diplomarbeit Univ. Konstanz.
- ILLIES, J. (1978): Limnofauna Europaea. – 2. Aufl.; Stuttgart (G. Fischer).
- JACOBY, H. & LEUZINGER, H. (1972): Die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) als Nahrung der Wasservögel am Bodensee. – Anz. om. Ges. Bayern, 11: 26-35; München.
- KAJAK, Z., DUSOGE, K. & PREJS, A. (1968): Application of the flotation technique to assessment of absolute numbers of benthos. – Ekol. Polska, Ser. A, 29: 607-620; Warszawa.
- KNAUER, K. (1993): Natural and artificial shores at Lake Constance – a comparison of littoral biocoenosis in front of natural reed shores and man-made walls at the lakeside. – Limnologie aktuell, 5: 189-195; Stuttgart.
- KOTHE, P. (1967): Die Biologie als Hilfsmittel bei der Erforschung morphologisch-quantitativer Vorgänge in den Gewässern. – Dt. Gewässerkd. Mitt., Sonderheft: 220-226; Koblenz.

- KOTHÉ, P. (1982): Ufergestaltung bei Ausbau und Unterhaltung der Bundeswasserstraßen. I. Limnologische Aspekte. – Jber. Bundesanst. f. Gewässerkde: 1-18; Koblenz.
- KRUMSCHEID-PLANKERT, P. (1992): Abschlußbericht zum Entwicklungs- und Erprobungsvorhaben „Wiederansiedlung von Schilfbeständen am Bodensee“. – Ber. d. Limnolog. Instituts, Univers. Konstanz, 2 Bde., 117 S.
- LEUZINGER, H. & SCHUSTER, S. (1970): Auswirkungen der Massenvermehrung der Wandermuschel *Dreissena polymorpha* auf die Wasservögel des Bodensees. – Orn. Beob., 67: 269-274; Bern.
- OSTENDORP, W. & KRUMSCHEID-PLANKERT, P. (1990): Röhrichtschutz und Uferrenaturierung am Bodensee. – gwf-wasser/abwasser, 131: 78-84; München, Berlin.
- OSTENDORP, W. (1991): Zur Geschichte der Uferöhrichte am Bodensee-Untersee. – Schriften VG Bodensee, 109: 215-233; Friedrichshafen.
- OSTENDORP, W., ISELI, Chr., KRAUSS, M., KRUMSCHEID-PLANKERT, P., MORET, J.-L., ROLLIER, M. & SCHANZ, F. (1995): Lake shore deterioration, reed management and bank restoration in some Central European lakes. – Ecological Engineering, 5: 51-75; Amsterdam.
- WALZ, N. (1974): Rückgang der *Dreissena polymorpha*-Populationen im Bodensee. – gwf-wasser/abwasser, 115: 20-24; München, Berlin.
- WALZ, N. (1978) Die Produktion der *Dreissena*-Populationen und deren Bedeutung im Stoffkreislauf des Bodensees. – Arch. Hydrobiol., 82: 482-499; Stuttgart.