

Jens MÄHLMANN, Rolf ARNOLD, Lutz HERRMANN, Harald MORSCHEID & Frank MATTUKAT

Künstliche Wiederbesiedlung von submersen Makrophyten in Standgewässern mit Hilfe eines textilen Vegetationstragsystems

Artificial recolonization of submerged macrophytes in lotic systems by means of a textile vegetation carrier system

Abstract

Despite of measures for lake restoration ponds or shallow lakes often remain in a turbid, phytoplankton-dominated state free of submerged macrophytes. In such waters the potential usage is widely limited. Due to internal stabilizing mechanisms in a short range of the trophic state both turbid water (caused by algae and suspended matter) and clear water state with dominating submerged macrophytes is possible. One of the important stabilizing mechanisms is the high turbidity of algae blooms, which prevents a development of submerged macrophytes by causing bad light conditions at the bottom of the lakes. Often there are no (more) viable propagation units of submersed macrophytes available. In such a situation the planting of initial areas may accelerate the growth of macrophytes or allow the growth of them by increased transparency of the water (due to shading, increased sedimentation rates) in the neighborhood of well developed crop. Cultivated plants grown in optimal environmental conditions should be more competitive than young sprouts grown in turbid water. Finally the stock control of submerged macrophytes in conflicts of use due to high growing macrophytes is in the focus. The aim of the project presented here was to develop a degradable artificial textile carrier which allows the transfer and planting of initial areas with precultivated submerged macrophytes and the stabilization of suspending sediments. The usability of such a technical vegetation system was tested as well as investigations of the biodegradation in aquatic systems of selected materials were performed.

keywords: shallow lakes, restoration, characea, textile plant bedding system, , biodegradable materials, reestablishment of submerged macrophytes

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden eine Vielzahl an externen und internen Maßnahmen zur Sanierung und Restaurierung auch von flachen Seen und Teichen durchgeführt. Trotzdem bleiben diese nach einer Phase der Eutrophierung trotz inzwischen oft wieder moderater Nährstoffbelastung häufig trüb und/oder weisen eine starke Produktion planktischer Algenbiomasse auf. Der Grund für das Verharren in einem algentrüben Zustand sind seeinterne Stabilisierungsmechanismen, die dazu

führen, dass innerhalb eines bestimmten Trophiebereiches sowohl ein algenüber als auch ein makrophytendominierter klarer Zustand auftreten kann (Scheffer 1998).

Ursachen für den hohen Trübstoffanteil (anorganische und organische suspendierte Partikel) sind häufig neben einer starken Algenproduktion durch hohe Nährstoffkonzentration fehlende Bestände submerser Makrophyten. Diese stabilisieren das Gewässersediment mechanisch, führen zu einer erhöhten Sedimentation der suspendierten Partikel, legen Nährstoffe in ihrer Biomasse fest, erhöhen die innere Oberfläche eines Gewässers, erhöhen die Habitatsdiversität des Gewässers, bieten Laichmöglichkeiten und Rückzugsgebiete für Jungfische und sind Refugium für große Planktonorganismen (v.a. Wasserflöhe), die durch ihre Filtration das Wasser zusätzlich reinigen (Jeppesen *et al.* 1998).

Auf Grund der geringen mittleren Tiefe der algenüberen Gewässer (häufig < 2 m) und ihrer oftmals windexponierten Lage wird der mechanisch instabile schlammige Grund aufgewühlt und das Wasser dadurch getrübt. Im Sediment festgelegte Nährstoffe werden dabei freigesetzt und so die Produktion von Algen verstärkt. Damit sinkt die Eindringtiefe des Lichtes, so dass sich die vom Lichteinfall bis zum Grund abhängigen submersen Makrophyten nicht entwickeln können. Es entsteht ein Kreislauf: Die durch fehlende Makrophytenbestände bedingte Trübung des Wasserkörpers führt zu einer geringen Eindringtiefe des Lichtes, wodurch eine Etablierung von Makrophytenbeständen verhindert wird.

Externen Maßnahmen, die im Wesentlichen auf eine Reduktion der Nährstoffzufuhr (Phosphat) ins Gewässer abzielen, zeigen auf Grund der hohen Phosphor-Speicherkapazität von Sedimenten bei Flachseen häufig keine oder nur über einen sehr langen Zeitraum (> 9 Jahre) sichtbare Effekte (Chorus 1996; Petterson 1998)

Unter den internen Maßnahmen wird die Erhöhung der Klarheit des Wassers durch eine erhöhte Bestandsdichte der Unterwasserpflanzen explizit bei van Donk & Otte (1996) sowie Uhlmann & Horn (2001) genannt. Eine Besiedelung mit submersen Makrophyten wird weiterhin als Grundvoraussetzung für einen langfristigen Erfolg von Sanierungsmaßnahmen angesehen (Hilt *et al.* in prep.). In langjährig algen-dominierten Gewässern sind oft keine Vermehrungseinheiten von Makrophyten mehr vorhanden. Die Setzung einer Initialpflanzung kann in vielen Fällen das Wachstum weiterer Makrophyten ermöglichen, da bereits entwickelte Bestände die Sichttiefe im Umfeld erhöhen (Beschattung, Sedimentationserhöhung) und konkurrenzfähiger gegen Algen sind als völlig neu anwachsende Pflanzen. Andererseits treten bei Wiederbesiedelungen oft Massenentwicklungen von hochwüchsigen Makrophyten auf, die zu erheblichen Konflikten mit den Nutzern der Gewässer führen (Hilt *et al.* in prep.).

Auf der Grundlage eines verrottbaren (ca. 5 Jahre) textilen Vegetationstragsystems soll eine Möglichkeit geschaffen werden, diesen Kreislauf durch den gezielten Einsatz von Initialbeständen mit (z.T. vorkultivierten) fixierten submersen Makrophyten zu durchbrechen. In einem weiteren Schritt wurde versucht, mit Hilfe vorkultivierter Matten eine gezielte Veränderung eines vorhandenen hochwüchsigen Makrophytenbestandes in einem Gewässer herbeizuführen. Der textile Vegetationsträger übernimmt dabei die Funktion des Kultur- und Transportträgers. Es wird eine Verrottbarkeit innerhalb von 5 Jahren angestrebt.

2 Material und Methoden

2.1 Textiler Vegetationsträger

Als verrottbarer Vegetationsträger wurde ein grobes Kettengewirke mit Holzwolle-Seil (Fichte, Durchmesser ca. 20 mm) als Schussmaterial eingesetzt. Für das Grundfadensystem wurde Papierfaden (2 mm, $3.111 \text{ tex} = \text{g km}^{-1}$), verstärkt durch Hanfgarn ($\text{Nm } 0,45 = \text{m g}^{-1}$) verwendet. Der Vegetationsträger wurde in 2 Varianten hergestellt: als gitterartige Variante mit Rechteckmaschen von etwa $20 \times 50 \text{ mm}$ (aussetzender Umkehrschuss; Raport 1/0/0), die eine Belüftung des Bodens zulässt mit 38 Schuss/m und einer Flächenmasse von 3.300 g m^{-2} und als lichtdichte Matte (zur Bestandssteuerung) mit 55 Schuss/m (Vollschuss) und einer Flächenmasse von 4.500 g m^{-2} (Abb. 1). Die Aufmachung war $5 \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (gitterartig) bzw. $2 \times 1 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (lichtdicht). Die Wirkversuche fanden auf einer Rechts-Rechts Kettenwirkmaschine (GWM1200, Fa. Müller, Frick/CH) mit extrem groben Nadeln statt.



Abb. 1 Probemuster der textilen Vegetationsträger aus Holzwolle (maschenbildendes Grundfadensystem Papier- und Hanffaden). Links die gitterartige, rechts die lichtdichte Variante.

2.2 Untersuchungsgebiete

Als Experimentalgewässer wurden der Untere Inselsee und der Bachtelweiher bei Kempten und ein Vorstreckteich auf dem Gelände des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LUF) in Wielenbach ausgewählt. Für eine pelagische Exposition von Proben für Beständigkeitsuntersuchungen wurde eine eutrophe Kiesgrube bei Dresden ausgewählt.

Der „Untere Inselsee“ ist ein kalkreicher eutropher Voralpensee (mittlerer Gesamt-Phosphat-Gehalt: $60 \mu\text{g l}^{-1}$) mit zum Teil ausgedehnten Beständen submerser Makrophyten (vorwiegend *Potamogeton*-Arten). Der See ist auf Grund einer sommerlichen Schichtung kein Flachsee (Fläche: 16 ha; maximale Tiefe: 8 m), weist jedoch z.T. ausgedehnte Flachzonen auf. An einigen Stellen fehlt jedoch trotz Sichttiefen von bis zu 4 m jegliche Vegetation. Homogenisierte Sedimentproben aus dem Gewässer wurden in Substratkästen ($50 \times 50 \text{ cm}^2$) mit und ohne textilen Vegetationsträger gefüllt. Die Füllhöhe betrug 4 cm. Die Substratkästen wurden anschließend mit aus dem z.T. angrenzenden Gewässersystem entnommenen *Potamogeton perfoliatus* L. (46 Pflanzen m^{-2}), *P. lucens* L. (36 Pflanzen m^{-2}), und einer Mischung aus *Chara contraria* A. BR. und *C. fragilis* Desv. in Lois. (108 Pflanzen m^{-2}) bepflanzt. Die beschwerten Substratkästen wurden durch Taucher in 1,5 bis 2 m Tiefe an einem makrophytenfreien Standort im See im Juli 2004 exponiert.

In einem zweiten Versuchsansatz wurde ein weiteres makrophytenfreies Areal (Westufer) in 2 bis 2,5 m Tiefe unter Wasser mit Pflanzen direkt bepflanzt. Die Pflanzdichte und Pflanzenauswahl entsprach dem Versuchsansatz in den Substratkästen.

Beim „Bachtelweiher“ handelt es sich um ein Gewässer im Stadtgebiet Kempten mit einer mittleren Tiefe von 2,5 m, das nach einer erfolgreichen Bio-manipulation mit langanhaltender Klarwasserphase (bei weiterhin eutrophen Bedingungen) mit einer starken Makrophytenentwicklung dominiert von hochwachsenden Laichkräutern reagierte. Der Deckungsgrad mit submersen Makrophyten im gesamten Weiher betrug zu Versuchsbeginn ca. 20%, wobei etwa 10-15% der Pflanzen bis an Wasseroberfläche reichten. Die Sichttiefe war im Untersuchungs-jahr etwas geringer als im vorangegangenen Jahr. In Flachwasserbereichen wurden Grünalgen, ab 1,5-2 m benthische Cyanobakterien beobachtet. Durch seine Nutzung als Bade- und Angelgewässer bestand hier die Forderung nach einer Steuerung des Makrophytenbestands. Hier standen die Fragestellungen zur logistischen Machbarkeit und der Handhabung größerer Flächen (zwei Vegetationsträger-Module je 30 m^2) sowie die Steuerungsmöglichkeit des Pflanzenbestands von höherwüchsigen *Potamogeton*-Arten zu niederwüchsigen *Chara*-Beständen im Vordergrund der Untersuchungen. Die Entnahme der Pflanzen (*Chara contraria* und *C. fragilis*) erfolgte im Mai 2004 aus Teichen auf dem Gelände des LFU in Wielenbach mittels Rechen. Die Bepflanzung der Mattenfelder ($5 \times 1 \text{ m}^2$ bzw. $2 \times 3 \text{ m}^2$) erfolgte immer "sortenrein", auf den Mattenbahnen wechseln sich prinzipiell *C. contraria* und *C. fragilis* ab. Die Pflanzdichte betrug zwischen 4 bis 40 l m^{-2} . Die bepflanzten Matten wurden im Vorstreckteich des LFU bis zur Überführung in den Bachtelweiher am Folgetag zwischengehältet oder als Parallelansatz beobachtet. Zur Überführung ins Zielgewässer wurden die Matten zusammengerollt und abgedeckt auf Pritschewagen über ca. 2 h transportiert. Die Matten wurden im knietiefen Wasser entrollt und mit Netznadel und Sisal-Garn zu zwei etwa 30 m^2 großen Modulen zusammengeheftet.

Im Vorstreckteich des LFU in Wielenbach, wurde die Pflanzenentwicklung auf 12 lichtdichten und 10 gitterartigen Vegetationsträgern parallel mit den für den Bachtelweiher ausgebrachten bepflanzten (*Chara contraria*) Einheiten beobachtet. In dem Vorstreckteich waren vor einer Winterung im vorangegangenen Jahr

Charabestände nachgewiesen worden, während zum Versuchsbeginn der ca. 80 cm tiefe, klare Teich von *Potamogeton pusillus* L., *P. lucens* und *P. pectinatus* L. sowie *Polygonum amphibium* L. dominiert wurde. Kontinuierlich wurde über Temperatur-Datenlogger (Tinytag, Fa. Geminiloggers/UK) die Wassertemperatur aufgezeichnet sowie in unregelmäßigen Abständen während des Versuchszeitraums die Gewässerparameter Ammonium-Stickstoff (NH₄-N), Nitrat-Stickstoff (NO₃-N), gelöster reaktiver Phosphat-Phosphor (PO₄-P), Gesamt Phosphor, nach DIN 38405 und DIN 38406 analysiert sowie pH-Wert und Leitfähigkeit mittels einer Kombisonde (Hydrolab H-20, Fa. eco-Tech Umweltmeßsysteme GmbH) erfasst.

2.3 Beständigkeitsuntersuchungen

Die Beständigkeit ausgewählter Werkstoffe unter aquatischen Bedingungen wurden im unteren Insee und im Vorstreckteich des LFU in Wielenbach durchgeführt. Für die Beständigkeitsuntersuchungen wurden Streifen (Breite 50 mm, Länge 360 mm) aus Baumwollgewebe (112 g m⁻²), einer biologisch abbaubaren Folie auf Maisstärkebasis mit synthetischen Stabilisatoren (Mater-Bi, 33 g m⁻², Novamont GmbH/I), aliphatisch-aromatische Copolyester-Vliesstoff (PTAT-Vlies, Eastar Bio(R) GP; 120g m⁻², Eastman Chemical B.V./USA), sowie Abschnitte von Papierfaden (Durchmesser 2 mm, 3.111 tex, extra Nassfest; Fa. Ecofil, Fernitz/A) und Sisal (2.263 tex) in Taschen aus Putzgittergewebe (Maschenweite 10 mm) bodennah exponiert. Als Kriterien zur Beurteilung der (biologischen) Beständigkeit wurden die visuelle Beurteilung sowie die Änderung der Reißkraft nach DIN EN 29073-3 und DIN EN ISO 2062 (unter Normklima 20°C, 65%relative Luftfeuchtigkeit, sowie als Nasszugversuch nach 24 h Lagerung in Leitungswasser) herangezogen.

3 Ergebnisse

3.1 Insee

Die Konstruktion des Holzwolle-Trägersubstrats erwies sich für die Bepflanzung mit submersen Makrophyten als zweckmäßig und gut handhabbar. Das Ausbringen der Substratkästen sowie der trägergebundenen submersen Makrophyten war im Gegensatz zu einer Direktbepflanzung durch Taucher gut durchführbar. Eine in situ-Bepflanzung (ohne Träger direkt ins Sediment) erwies sich auf Grund der geringen Bewurzelung der eingesetzten Pflanzen und der Konsistenz der Substrate als schwierig. Vielfach lösten sich schon unmittelbar nach der in situ-Bepflanzung einige Pflanzen vom Untergrund. Als ebenfalls problematisch erwies sich das Ausbringen der Substratkästen ohne Vegetationsträger mit direkt eingesteckten Pflanzen. Die Pflanzen lösten sich aus dem lockeren Substrat. Nach 4 Monaten zeigte sich ein Überwuchern der frisch eingesetzten Pflanzen(-Matten) mit fädigen Algen. Die Pflanzen selbst erschienen jedoch noch vital. Nach einem Jahr ließen sich weder in den Substratkästen ohne Vegetationsträger noch in den mit Vegetationsträgern bedeckten Substratkästen Pflanzen nachweisen. Jedoch zeigte sich, dass die mit Vegetationsträgern bedeckten Substratkästen noch mit Sediment befüllt waren, während die Substratkästen ohne Vegetationsträger völlig leer waren.

3.2 Bachtelweiher

Die für den Großversuch im Bachtelweiher durchgeführte Bepflanzung von jeweils 30 m² gitterartiger lichtdichter Pflanzenträgermatte mit *Chara fragilis* und *C. contraria* lies sich mit 6 Personen innerhalb von 2 Tagen gut durchführen. Dabei muss mit einem Aufwand ca. 15 min pro Matte gerechnet werden. Zwischengehälterte gitterartige Matten waren nach kurzer Abtropfdauer "tragbar" (2 Personen); die lichtdichten waren selbst nach längerer Abtropfdauer nur mit Mühe mit 4 Personen tragbar (geschätzte Masse ca. 100 kg). Das Einschwimmen der im knietiefen Wasser zusammengefügtten Mattenmodule sowie die Lagefixierung an den Steckstangen und das Versenken mittels einiger faustgroßer Steine erwies sich als unproblematisch. Hierbei zeigte sich die lichtdichte Variante auf Grund ihrer höheren Querstabilität als einfacher handhabbar. Die eingesetzten Characeen wuchsen auf den Matten an, wurden jedoch wie auch die Matten und das umgebende Sediment von fädigen Algen überwuchert. Characeen wurden anschließend noch sehr vereinzelt entdeckt (Deckungsgrad ca. < 5 %). Bei einer Kontrolle Mitte September konnten jedoch keine Characeen in den Versuchsarealen nachgewiesen werden. Im Gegensatz zum vorangehenden Jahr entwickelten sich bis zum Herbst im Versuchsjahr im gesamten Seeabschnitt, in dem das Versuchsareal lag, nur vereinzelt submerse Makrophyten zugunsten des bereits geschilderten Bewuchses mit fädigen Algen.

Bei einem Umlagerungsversuch im Juli 2005 konnte beobachtet werden, dass die offenporige Struktur der Matten einen Gastransport aus dem Sediment in das Wasser durch die Matten zulässt. Jedoch war unter den lichtdichten Matten eine Faulschlamm- und H₂S-Bildung beobachtbar. Für eine Bergung der Matten bereits nach drei Monaten Expositionsdauer reichte die Nassfestigkeit des eingesetzten maschenbildenden Grundfadensystems (Papier- und Hanffaden) nicht mehr aus. Bei den eingesetzten Holzwollefäden konnte keine Veränderung festgestellt werden.

3.3 Wielenbach

Bei den Matten, die parallel mit den für den Bachtelweiher vorgesehenen Matten bepflanzt wurden und im Vorstreckteich des LFU, Wielenbach beobachtet wurden, zeigte sich nach anfänglich deutlichem Rückgang, bereits nach 2 Monaten ein guter bis sehr guter Anwuchserfolg der Characeen auf den Matten. Die lichtdichten Matten ermöglichten den Characeen einen Konkurrenzvorteil gegenüber im Teich wachsenden Potamogeton-Arten. Insbesondere an den Mattenrändern zeigte sich eine scharfe Abgrenzung der niederwüchsigen gut entwickelten Characeen von höherwüchsigen Potamogeton-Arten. Weiterhin konnte ein Ausbreiten der Characeen auf den Matten beobachtet werden. Ein Überwuchern mit fädigen Algen wurde im gesamten Versuchszeitraum nicht beobachtet. Ende Juni entsprach die Gesamtdeckung der Makrophyten und deren Artenverteilung auf den gitterartigen Matten weitgehend der Vegetation außerhalb der Matten. Die Characeen wurden von den durch die Matten wachsenden Blütenpflanzen überwachsen. Auf den lichtdichten Matten waren die Characeen größtenteils abgestorben. Die Characeen, die angewachsen waren, blühten größtenteils und waren niederwüchsig; sie erreichten eine Höhe von nur 5 -10 cm. Die lichtdichten Matten unterdrückten die vorherrschende Vegetation zu fast 100 %.

1. Bonitur im Juni: Alle Matten wurden nach Aufnahme der ersten Bonitur im Juni von höherwüchsigen Blütenpflanzen befreit. Die Ergebnisse der Untersuchung für Juni und September 2004 sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 1 Boniturergebnisse zweier Varianten (gitterartige und lichtdichte) von textilen Vegetationstragsystemen auf Holzwollebasis im Vorstreckteich des Landesamts für Umwelt, Wielenbach (G = gitterartige, D = dichte, V = vereinzelt).

Deckungsgrad in %	Mai		Juni		September	
	G	D	G	D	G	D
<i>Chara fragilis</i> Desv. in Lois.	10-15	10-15	1	1-5	50	60-80
<i>Chara contraria</i> A. Br.	10-15	10-15	5	10-15	50	0
<i>Potamogeton pusillus</i> L.	0	0	10	0		
<i>Potamogeton lucens</i> L.	0	0	20	<1		0
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	0	0	50	<1		0
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	V	V	2	1	V	5-20

Mitte September konnte trotz einer Überschwemmung des Versuchsteiches ein gutes Wachstum der Pflanzen auf den Matten beobachtet werden. Auf den gitterartigen Matten betrug der Deckungsgrad mit Characeen etwa 50 % (große vitale blühende Büschel), der übrige Anteil wurde von *Potamogeton* spp. gestellt. Auf den lichtdichten Matten betrug der Deckungsgrad mit Characeen 60-80 % und 5-20 % *Elodea* (mit Characeen eingebracht). Hier wurden keine *Potamogeton*-Arten beobachtet. Auf den lichtdichten Matten war eindeutig erkennbar, dass die eingesetzten Characeen angewachsen waren. Die Ausbreitung erfolgte z.T. exakt bis zum Rand der Matten, während neben den Matten *Potamogeton*-Arten dominierten.

3.4 Beständigkeit ausgewählter Werkstoffe unter aquatischen Bedingungen

Nach einer anfänglich fünffachen feinheitsbezogenen Reißfestigkeit des Sisalfadens mit 26 cN tex^{-1} im Vergleich zum Papierfaden mit 7 cN tex^{-1} wurde bereits nach 56 Tagen Exposition ein hoher Reißkraftverlust auf unter 60 % der Ausgangsreißkraft beobachtet. Im weiteren Versuchsverlauf nahm die Reißfestigkeit beider Fäden schnell auf Festigkeiten von unter 5 cN tex^{-1} ab. Nach 168 Tagen Exposition war kaum mehr ein Unterschied feststellbar. Nach 391 Tagen konnten in der Kiesgrube bei Dresden pelagisch exponierten Papierfäden nach nicht mehr wiedergefunden werden. Der in Wielenbach parallel exponierte Polypropylenfaden wies nach 168 Tagen noch immer eine Reißfestigkeit von 19 cN tex^{-1} auf, was einer Abnahme der Reißfestigkeit auf 72 % der Ausgangsfestigkeit 26 cN tex^{-1} entsprach (Abb. 2).

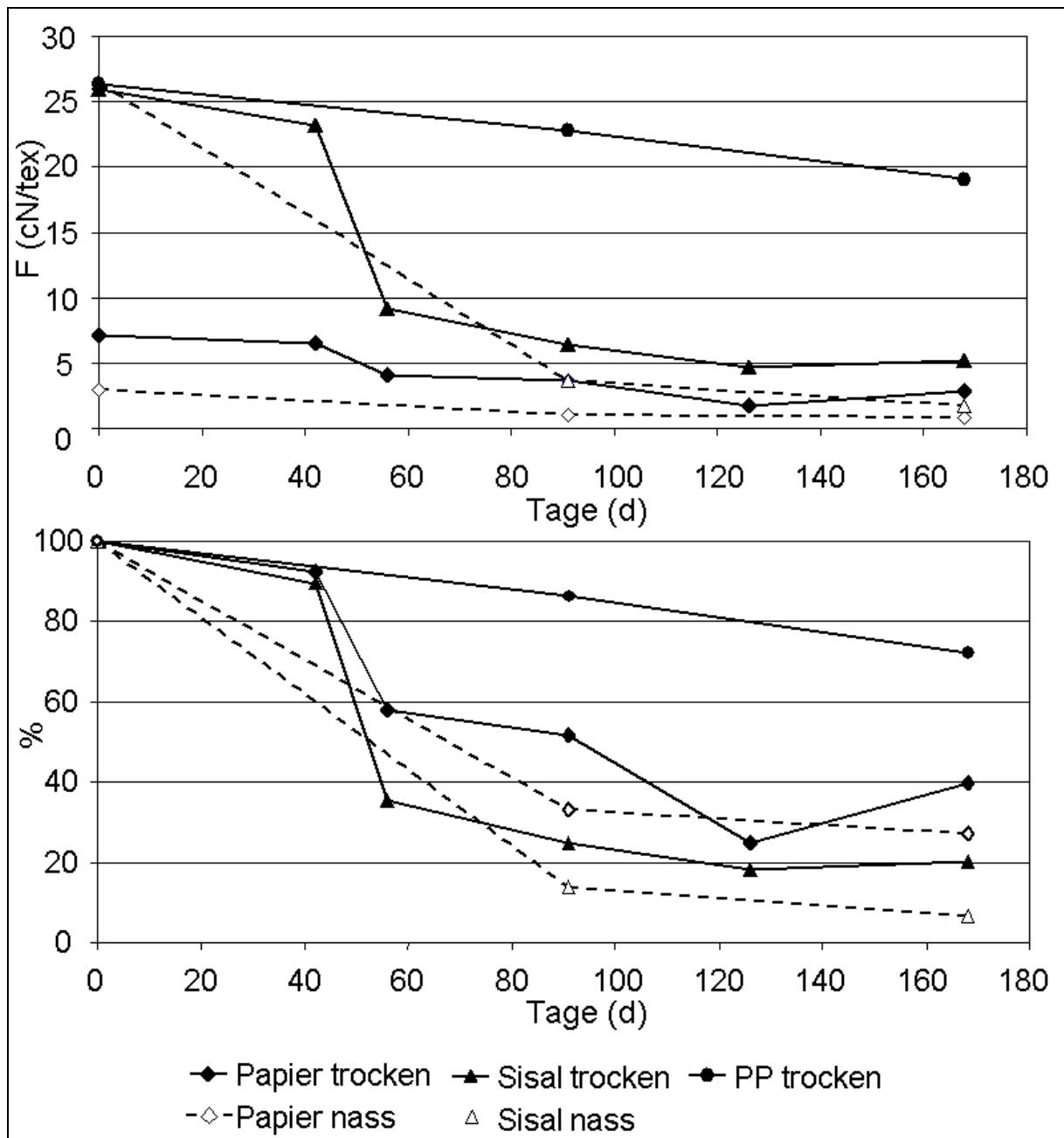


Abb. 2 Abnahme der Feinheitsbezogene Höchstzugkraft bei bodennaher Exposition von Papier-, Sisal und Polypropylen(PP)-Fäden in einem Oberflächengewässer

Nach 120 Tagen Expositionsdauer wurde bei dem eingesetzten PTAT-Vliesstoff eine Zunahme der Reißkraft bis auf 150 % festgestellt. Nach 168 Tagen wurde immer noch eine auf die Ausgangsreißkraft bezogene unveränderte Festigkeit ermittelt. Zum Vergleich in einer Kiesgrube bei Dresden pelagisch exponierte Vliesstoffstreifen bestätigten den geringen Festigkeitsverlust. Bodennah exponierte Proben aus dem Unteren Inselfsee wiesen nach 365 Tagen Expositionsdauer immer noch eine Restfestigkeit von über 60 % auf, während die in der Kiesgrube bei Dresden pelagisch exponierten Proben nach 391 Tagen nicht mehr wieder gefunden

wurden. Wie auch bei den fädigen Materialien zeigte sich bei den Steifen aus Baumwollgewebe nach etwa 46 Tagen ein erheblicher Festigkeitsverlust bis auf 50 % Restfestigkeit. Nach 91 Tagen wies die biologisch abbaubare Folie eine Restfestigkeit von 40 % gegenüber dem Baumwollgewebe mit 20 % auf. Nach 168 Tagen lagen von der biologisch abbaubaren Folie nur noch Fragmente vor, während bei dem Baumwollgewebe eine leichte Zunahme auf 30 % Restfestigkeit beobachtbar war (Abb. 3). Die Wassertemperatur im Vorstreckteich lag während der Versuchsdurchführung zwischen 8 und 26°C mit einem Mittelwert von 18,3°C (Standardabweichung: 3,96°C). Die Nährstoffsituation stellte sich im Versuchszeitraum wie folgt dar (Angaben als Minimum, Median, Maximum) NO₃-N <0,05-(0,12)-0,14 mg l⁻¹; NH₄-N <25-(<25)-30 µg l⁻¹; gelöster reaktiver Phosphor unter der Nachweisgrenze von 5 µg l⁻¹; Gesamtphosphor (filtriert) <5-(<5)-7 µg l⁻¹; (unfiltriert) <5-(5)-8 µg l⁻¹; pH 8,9-(9,9)-10,2; Leitfähigkeit 188-(238,5)-265 µS cm⁻¹; Sauerstoff 11,1-(11,85)-15 mg l⁻¹ bei einer Sättigung von 120-(127,5)-190 %.

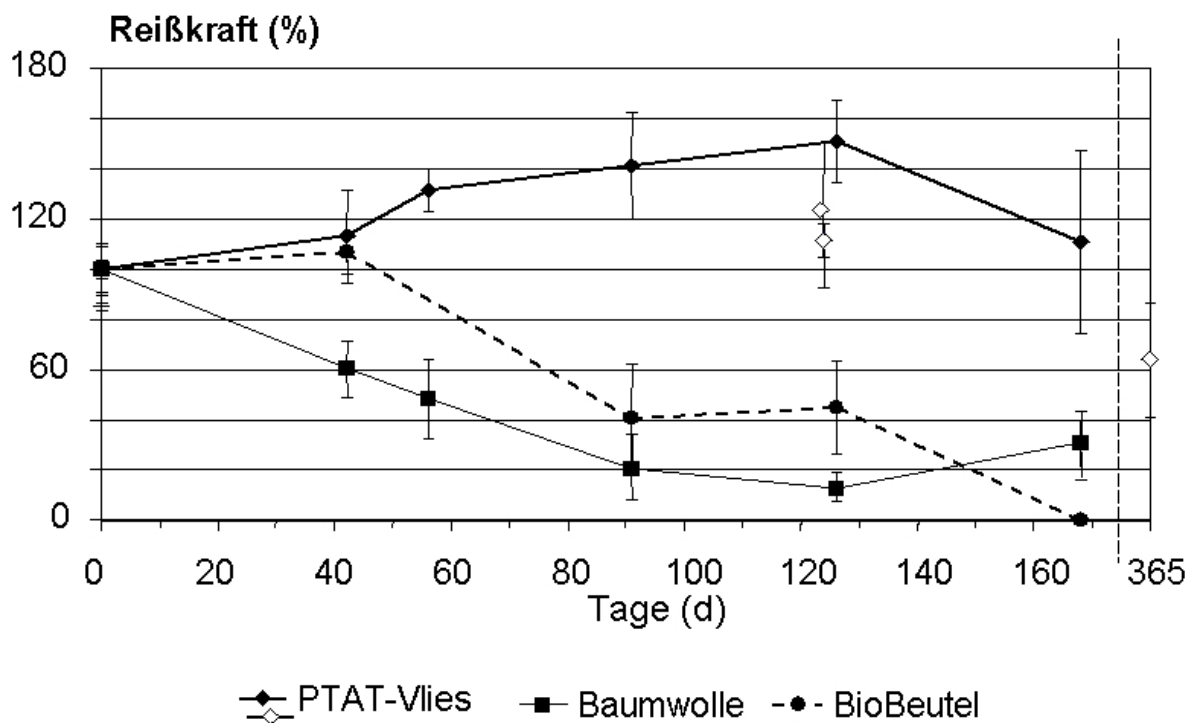


Abb. 3 Veränderung der Reißfestigkeit (bezogen auf die Ausgangsreißkraft) bei Streifen von PTAT-Vlies, Baumwollgewebe und einer biologisch abbaubaren Folie „BioBeutel“ im Vorstreckteich Wielenbach (Mittelwerte und Standardabweichung). Zum Vergleich sind für den PTAT-Vliesstoff zusätzlich (leere Symbole) Daten aus dem Unteren Inselfee (365 Tage) und pelagisch exponierten Proben aus einer Kiesgrube bei Dresden (120 Tage) dargestellt.

4 Diskussion

Ein verstärktes Auftreten von fädigen Algen und Cyanobakterien wird häufig bei Sanierungsmaßnahmen beobachtet, bei deren Abschluss vor allem geringe Stickstoffkonzentrationen bei höheren Phosphatkonzentrationen vorlagen (Rott 2004). In wie weit der Einsatz von Holzwollematten zu einem ungünstigen N:P-Verhältnis führt ist noch nicht untersucht, jedoch spricht das Ausbleiben von fädigen Algen im Vorstreckteich Wielenbach gegen einen negativen Einfluss der Holzwollematten auf den Nährstoffhaushalt. Weiterhin wurde das Überwuchern von submersen Makrophyten im Unteren Inselfee ebenfalls an Stellen beobachtet, die nicht in unmittelbarer Nähe zu den Expositionsstandorten lagen. Daher ist eine Beeinflussung des Nährstoffhaushalts durch die vergleichsweise kleine Mattenflächen, insbesondere bei dem durchflossenen Inselfee, auszuschließen. Für den Bachtelweiher konnte im Versuchsjahr 2005 im Gegensatz zum Vorjahr keine Stickstofflimitation festgestellt werden.

Während der Bepflanzung erwies sich die dichte, steife Struktur der lichtdichten Holzwollematten als sehr hinderlich, um die filigranen Pflanzenabschnitte der Characeen einzusetzen. Hier mussten mittels Pflanzhölzern zuvor Löcher vorgebohrt werden oder es wurden die Pflanzen mittels der Pflanzhölzer in die Maschenstruktur der Matten eingesteckt. Bei den brüchigen und fragilen Characeen ist bei einer solch rauhen Behandlungsweise eine starke Schädigung der Pflanze zu befürchten. Die guten Wuchserfolge unter offenbar optimalen Bedingungen, mit einer geringen Pflanztiefe und hoher Transparenz des Wasserkörpers in Wielenbach, deuten jedoch darauf hin, dass genügend ungeschädigtes Material zur Verfügung stand, so dass sich die Pflanzen etablieren konnten. Somit wird die eingeschränkte Vitalität der Characeen im Bachtelweiher auf den Überzug mit Grünalgen und die insgesamt verringerte Sichttiefe zurückgeführt, da auch die wenig geschädigten Characeen auf den dort eingesetzten gitterartigen Matten nicht überlebt haben.

Dennoch gestaltete sich die Bepflanzung der gitterartigen Matten durch ihre lockere Grundstruktur wesentlich effektiver. Möglicherweise kann die lichtdichte Struktur in hinreichender Weise erhalten bleiben, wenn der vorhandenen Maschenstäbchenabstand bei diesen Matten vergrößert wird, um zumindest das Bepflanzen durch die sich dadurch ergebenden größeren Pflanzschlitze zu erleichtern.

Die Versuche in der Wielenbacher Anlage deuten darauf hin, dass zumindest frisch „eingepflanzte“ Characeen ähnlich den Landpflanzen einen „Pflanzschock“ erleiden und sich erst wieder an die neuen Bedingungen anpassen müssen. Dies führt in der Zeit von etwa einem Monat zu einem anfänglichen Verlust an Pflanzen. Hier scheinen optimale Bedingungen für das Anwachsen und weiteres Aufkommen entscheidend zu sein. In wie weit sich dieser Pflanzschock durch die Verwendung von bereits gut auf den Trägern angewachsenen Pflanzen verringern lässt, konnte noch nicht geklärt werden.

Der als maschenbildendes Grundfadensystem eingesetzte Papierfaden erwies sich als ungeeignet über längere Zeitdauer eine hinreichende Festigkeit für die textile Trägerstruktur bei einem Einsatz unter Wasser zu garantieren, zumal die Nassfestigkeit des unbehandelten Materials ebenfalls sehr gering ist. Sisalfaden stellt hier jedoch keine Alternative dar. Der Vergleich der synthetisch hergestellten biologisch

abbaubaren Werkstoffe (BAW) zum Baumwollgewebe zeigte, dass bei den BAW mit einer verlangsamter Abnahme der Festigkeit gerechnet werden kann. Da es mit der eingesetzten Wirktechnologie ebenfalls möglich ist, statt Fäden und Garne auch Foliebändchen oder streifenförmiges Material im maschenbildenden Grundfadensystem einzusetzen, eröffnet sich mit diesen Materialien eine Möglichkeit eine weitaus längere Stabilität zu garantieren, bei gleichzeitiger (verlangsamter) Abbaubarkeit des eingesetzten Materials. Nicht zu erklären ist die beobachtete leichte Zunahme der Reißfestigkeit des Baumwollgewebes nach 168 Tagen. Eine anfängliche Zunahme der Reißfestigkeit, insbesondere bei Vliesstoffen, wird auch bei Geotextilien beobachtet. Möglicherweise führen mineralische Ein- oder Ablagerungen, wie z.B. Diatomeenschalen, durch eine Klemmwirkung der Einzelfasern zu einer Zunahme der Festigkeit des Faserverbunds, bis schließlich die Schädigung der Fasern selber zu einem raschen Festigkeitsverlust der Gesamtstruktur führt. Der Festigkeitsverlust im aquatischen System vollzieht sich jedoch langsamer als im terrestrischen System. Für Baumwollgewebe wird im Erdeingrabungstest nach DIN EN ISO 12225 eine Verrottungsdauer von 8 bis 13 Tagen angegeben (Mägel & Fuchs 1994). Für den PTAT-Vliesstoff geben Blechschmidt *et al.* (2004) 28 Tage (Kompost, 26°C) bis zur vollständigen Strukturauflösung durch Verrottung an. Biologisch abbaubare Folien auf Stärkebasis waren nach 40-80 Tagen zu über 90 % abgebaut (dp 2002). Im Respirometertest nach DIN 54900-2 (1998) erfolgte bei Baumwollgewebe nach 27 Tagen eine 30 %ige, nach 42 Tagen eine 48 %ige und nach 83 Tagen eine 75 %ige Mineralisation; der PTAT-Vliesstoff (120 g m⁻²) war in den selben Zeiträumen zu 33 %, 44% bzw zu 60 % zu CO₂ mineralisiert (Blechschmidt *et al.* 2004; Blechschmidt & Schilde 2004). Rutkowska *et al.* (2003) finden vergleichbare Ergebnisse für den Masseverlust von BAW: Folien auf Basis natürlicher Polyhydroxy-Buttersäuren (PHB) sind nach 45 Tagen Exposition im Seewasser (18,6°C, pH 8,1) noch zu knapp 50 % vorhanden, während im Kompost (18,5°C, pH 5,5) die 50 %-Marke bereits nach 14 Tagen unterschritten wird. Bei Copolymeren aus 60 % PHB und 40 % synthetischen Anteilen hat im Seewasser die Masse nach 45 Tagen erst um 20 % abgenommen, während im Kompost die Abnahme im gleichen Zeitraum 45 % betrug. Die niedrigeren Abbau-geschwindigkeiten in Oberflächengewässern sind durch die im Vergleich zum Kompost geringere Bakteriendichten bei i.d.R. weitaus niedrigeren Temperaturen, soweit es sich hier um einen biologischen Prozess handelt, erklärbar. Bei pelagisch exponierten Proben überwiegen vermutlich oxidative Prozesse sowie photochemischer Abbau durch UV-Strahlung und überdecken einen langsameren biologischen Abbau.

Eine Trübungssteuerung über das Einbringen von submersen Makrophyten kann nur erfolgreich sein, wenn das Gewässer einen für die Entwicklung von submersen Wasserpflanzen geeigneten Trophiegrad aufweist, wühlende benthische Fische weitgehend reduziert sind und zumindest nach Einbringen der Pflanzen in deren Umfeld geeignete Aufwuchsbedingungen herrschen. Daher kann die Maßnahme oft erst nach einer vorhergehenden weitgehenden Senkung der externen und u. U. internen Belastungsquellen erfolgreich sein.

Ein erheblicher Forschungsbedarf besteht noch in der Beständigkeit der eingesetzten Materialien. Zum einen müssen die Vegetationsträger nach 1 bis 2 Jahren Vorkultur hinreichende Stabilität für Transport und Ausbringung aufweisen

und sollen bis zur Etablierung des Makrophytenbestandes noch weitere 2 Jahre eine (Sediment-)stabilisierende und strukturbildende Funktion übernehmen. Zum anderen sollen die Materialien nach etwa 5 Jahren vollständig verrotten.

Mit der direkten Kultivierung von submersen Makrophyten aus anderen Seen sollte die mögliche Übertragung von (Fisch-) Krankheitserregern in das Zielgewässer bedacht werden. Die Übertragung von Fischkrankheiten via Gerät oder eingebrachte Schlamm- und Bodenreste an Gummistiefeln wird bei Baur & Rapp (2002) diskutiert. In Verbindung mit der Biomanipulation (Nahrungsnetzsteuerung) hat die Ansiedlung von nutzungskonformen, makrophytenreichen Bereichen im Gewässer insbesondere aus fischereiwirtschaftlicher Sicht eine hohe Bedeutung, da die Pflanzengürtel wertvolle Habitate sind und eine wichtige Aufzuchtstätte für Fischbrut darstellen.

Darüber hinaus stellt sich (bei natürlichen Gewässern) die Frage, in wie weit für Sanierungszwecke das Einbringen von (standorttypischen aber kultivierten) Pflanzen zulässig ist. Hier könnte man auch an eine gezielte, fragwürdige Einflussnahme denken, um durch eine Auswahl von ggf. sogar nicht standorttypischen Pflanzen die aber einen „guten Index“ aufweisen den ökologischen Wert eines Gewässers zu steigern.

Danksagung

Wir danken der Euronorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovationsmanagement mbH für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens (BMWA-Reg-Nr. 165/04), die aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) innerhalb des Förderprogramms „Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen und externen Industrieforschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern“ erfolgte.

Weiterhin danken wir dem Bayerischen Landesamt für Umwelt für die Einbindung in das Vorhaben „Seenrestaurierung durch Nahrungskettensteuerung (Biomanipulation).

Unser Dank für wertvolle Diskussionen und Anregungen gilt Alexandra Hoesch, Fa. Aquarius und dem Arbeitskreis Flachseen der Deutschen Gesellschaft für Limnologie e.V. (DGL).

Literatur

- Baur WH, Rapp J (2002) Gesunde Fische - Praktische Anleitung zum Vorbeugen, Erkennen und Behandeln von Fischkrankheiten. Parey bei MVS, Stuttgart. 238S
- Blebschmidt D, Fuchs H, Geus HG, Kunze B (2004) Biologisch abbaubare Spinnvliesstoffe für technische Anwendungen. avr - Allgemeiner Vliesstoff-Report 5: 21-23
- Blebschmidt D, Schilde W (2004) Biologically degradable spunbonded nonwovens – process engineering and product parameters. Edana's 2004 International Nonwovens Symposium
- DIN 38405 Deutsche Einheitsverfahren zu Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen
– D 19 Nitrat, D 11-1 Ortho Phosphat, D 11-4 Gesamt-Phosphat,
– DIN-Norm
- DIN 38406 Deutsche Einheitsverfahren zu Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen
–E 5-1 Ammonium – DIN-Norm

- DIN EN 12225 (2000) Geoextilien und geotextilverwandte Produkte; Prüfverfahren zur Bestimmung der mikrobiologischen Beständigkeit durch einen Erdeingrabungversuch, Deutsche und Europäische Normen
- DIN EN 29073-3 (1992) Textilien; Prüfverfahren für Vliesstoffe; Teil 3: Bestimmung der Höchstzugkraft und der Höchstzugkraftdehnung, Deutsche und Europäische Normen
- DIN EN ISO 2062 (1995) Textilien - Garne von Aufmachungseinheiten - Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung von Garnabschnitten, Deutsche Normen
- DIN 54900-2 (1998) Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen; Teil 2: Prüfung auf vollständigen biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen in Laborversuchen; Verfahren 3: Prüfung auf vollständige biologische Abbaubarkeit und Disintegration in Kompost durch Bestimmung der Entwicklung von Kohlendioxid. Deutsche Normen
- dp (2002) Nach Gebrauch auf den Kompost; Biologisch abbaubare Werkstoffe ersetzen herkömmliche Kunststoffe. Verpackungs-Rundschau 2: 68-71
- Chorus I (1996) Seensanierung in Berlin - Beispiele. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Tagungsband 1995 (Berlin), Krefeld: 177-181
- Hilt S, Gross EM, Hupfer M, Morscheid H, Mählmann J, Melzer A, Sandrock S, Scharf E-M, Schneider S, van de Weyer K. (in prep.) Restoration of a submerged vegetation in eutrophied shallow lakes– a guideline and state of the art in Germany
- Jeppesen E, Sondergaard M, Christoffersen K (1998) The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes. Ecological Studies, Vol. 131, Springer, New York, 423 p
- Mägel M, Fuchs H (1994) Grundlegende Untersuchungen zum Einfluß der makroskopischen Struktur von technischen Textilien auf das Verrottungsverhalten. (BMW/Projekt-Nr. 188/93). Forschungsbericht STFI e.V., Chemnitz: 11
- Petterson K (1998) Mechanisms for internal loading of phosphorus in lakes. Hydrobiologia 373/374: 21-25
- Rott T (2004) Gewässerbelastung durch Cyanobakterien. Makrophyten in der Gewässerrestaurierung, Poster, DGL/SIL-Jahrestagung in Potsdam 20. September – 24. September 2004
- Rutkowska M, Krasowska K, Heimowska A, Klwalczuk M (2003) Degradation of the blends of natural and synthetic copolyesters in different natural environments. Macromolecular. Symposium 197: 421-429
- Scheffer M (1998) Ecology of Shallow Lakes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 357p
- Uhlmann D, Horn W (2001) Hydrobiologie der Binnengewässer, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- van Donk E, Otte A (1996) Effects of grazing by fish and waterfowl on the biomass and species composition of submerged macrophytes. Hydrobiologia 340: 285-290

Autoren:

Jens Mählmann
Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.
PF 1325
09072 Chemnitz

Rolf Arnold
Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.
PF 1325
09072 Chemnitz

Email: jens.maehlmann@stfi.de

Lutz Herrmann
Ökon Vegetationstechnik GmbH
Mützdorf 10d, 14827 Wiesenburg

Dr. Harald Morscheid
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Demollstr. 31
82407 Wielenbach

Frank Mattukat
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Demollstr. 31
82407 Wielenbach