

Robert Sieland, Kerstin Tautenhahn, Henriette John, Katrin Meißner und Roland Achtziger

Zeitliche Entwicklung des Strandlings (*Littorella uniflora*) und der Gewässertrübung in vier Bergwerksteichen südlich von Freiberg im Jahre 2006

Zusammenfassung

An vier ausgewählten Bergwerksteichen südlich von Freiberg (Sachsen) wurden zwischen Ende Mai und Ende August 2006 die Entwicklung der Bestände des Strandlings (*Littorella uniflora*, Plantaginaceae) und gleichzeitig die Gewässertrübung dokumentiert und vergleichend analysiert. In Laborversuchen erfolgten ergänzende Tests zum Einfluss unterschiedlicher Trübung auf die Photosyntheseaktivität der Strandlingspflanzen. In Abhängigkeit von der Trübungsintensität der Gewässer wurden unterschiedlich große Strandlingsvorkommen registriert, außerdem nahm die Photosyntheseaktivität der Pflanzen mit zunehmender Trübung ab. Diese Ergebnisse lassen auf einen Zusammenhang zwischen der Gewässertrübung und dem Vorkommen, der Bestandsentwicklung und Vitalität von *Littorella uniflora* schließen.

Einleitung

Der Strandling, *Littorella uniflora* (L.) Ascherson, ist eine amphibisch lebende Gefäßpflanze aus der Familie der Wegerichgewächse (Plantaginaceae), die im ufernahen Sediment wurzelnd in Talsperren, Teichen und Seen in Europa vorkommt (CLAPHAM et al. 1981). Die Art besiedelt in überwiegend karbonatarmen (schwach gepufferten) und nährstoffarmen (oligotrophen) Gewässern vor allem sandige bis kiesige Substrate und ist in der Lage, sowohl unter Wasser als auch auf feuchtem Substrat ohne Überstauung zu existieren (ROBE & GRIFFITHS 1992).

Die unter Wasser auftretenden Bestände von *Littorella uniflora* können in größeren Gewässern die Vegetation im flachen, lichtdurchfluteten Bereich (Litoral) dominieren. Bei flachen Oberflächengewässern breiten sich die Pflanzen zum Teil über den gesamten Grund aus (HUTCHINSON 1975), indem sie durch Ausläufer weitläufige klonale Bestände bilden. Nur die Landform von *Littorella uniflora* kann Blüten ausbilden und damit die generative Vermehrung der Art gewährleisten.



Abbildung 1: Einzelpflanze des Strandlings (*Littorella uniflora*) (Foto: K. Tautenhahn)

Der Strandling zeichnet sich durch verschiedene Anpassungen aus, die es ihm ermöglichen, in amphibischen Lebensräumen zu wachsen. Dazu gehören unter anderem die Rosettenform, ein im Vergleich zum Stängel großer Wurzelanteil und stark ausgeprägte Gashohlräume, welche die Aufnahme von Kohlendioxid erleichtern (BOSTON & ADAMS 1987). Die Vorkommen von *Littorella uniflora* weisen – sowohl in Sachsen als auch bundesweit und darüber hinaus – eine „stark degressive Tendenz“ auf (NSI FREIBERG 2000: 22; vgl. auch ARTS et al. 1990, GRAHN 1977). In der Roten Liste Sachsens (SCHULZ 1999) gilt die Art in-

zwischen als „stark gefährdet“. „Oligo- bis mesotrophe, basenarme Stillgewässer der planaren bis subalpinen Stufe der kontinentalen und alpinen Region und der Gebirge mit Vegetation der Littorelletalia“ stellen außerdem einen Lebensraumtyp nach Anhang I der FFH-Richtlinie (RL 92/43/EWG, Natura-2000-Code: 3131) dar. Damit besitzen die Vorkommen der Art an den hier untersuchten Freiburger Bergwerksteichen eine europaweite naturschutzfachliche Bedeutung.

In seiner Arbeit zur Teichschlammflora des westsächsischen Berg- und Hügellandes beschreibt UHLIG (1939) den Strandling als „ursprünglich vorhandene Art“, die oft eine „herrschende Rolle“ spielt, so dass davon auszugehen ist, dass die Art bereits seit langem ein wichtiges Element der Flora der Freiburger Bergwerksteiche ist. Nach 1990 wurde *Littorella uniflora* an insgesamt 13 Gewässern im Raum Freiberg-Olbernhau bestätigt, die Größe der Bestände an den einzelnen Gewässern schwankt dabei zwischen wenigen Quadratmetern und mehreren Hektar (NSI FREIBERG 2000).

Die Strandlingsbestände der Freiburger Bergwerksteiche sind insbesondere seit dem Jahr 2000 von einem starken Rückgang geprägt (A. Günther, pers. Mitt.). Als ein Parameter, der möglicherweise die Entwicklung beeinflusst, wurde in mehreren Untersuchungen in unterschiedlichen Regionen Europas die Trübung der Gewässer ausgemacht (ROBE & GRIFFITHS 1992, ARTS 2002, ROELOFS 2002, SMOLDERS et al. 2002). Im Rahmen einer Studienarbeit an der TU Bergakademie Freiberg wurde daher in der Vegetationsperiode 2006 die zeitliche Entwicklung der Gewässertrübung

und parallel dazu die Entwicklung von *Littorella uniflora* an vier ausgewählten Bergwerksteichen südlich von Freiberg dokumentiert und vergleichend analysiert (SIELAND & TAUTENHAHN 2007). Ergänzt wurde diese Arbeit durch Kulturversuche mit *Littorella uniflora* unter standardisierten Bedingungen im Labor während eines ökophysiologischen Praktikums. Dabei wurde der Einfluss unterschiedlich hoher Wassertrübungen und Nitratgehalte auf die Photosyntheseaktivität des Strandlings untersucht.

Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden an folgenden vier Bergwerksteichen der Revierwasserlaufanstalt Freiberg durchgeführt, die sich hinsichtlich Gewässertrübung und Strandlingsvorkommen unterschieden (vgl. Tab. 1):

- Landteich bei Brand-Erbisdorf
- Großhartmannsdorfer Großteich
- Oberer Großhartmannsdorfer Teich
- Berthelsdorfer Hüttenteich

Die Teiche befinden sich südlich der Stadt Freiberg im Naturraum Osterzgebirge (MANNSFELD & RICHTER 1995). Sie wurden im 16. Jahrhundert angelegt, um dem damaligen Silbererzbergbau in der Region Freiberg Energie in Form von Wasserkraft zu liefern. Obwohl sich ihre Stauvolumen stark unterscheiden, weisen alle Gewässer sehr flache Uferlinien auf. Aus früheren Untersuchungen zur Teichbodenvegetation (z. B. NSI FREIBERG 2000) ist bekannt, dass sich die Bestandssituation von *Littorella uniflora* in den Teichen deutlich unterscheidet (Tab. 1).

Tabelle 1: Kenndaten der vier untersuchten Teiche (nach VOPPEL 1941, WAGENBRETH & WÄCHTLER 1986, FREYER 1988, NSI FREIBERG 2000), k. A. = keine Angabe

	Berthelsdorfer Hüttenteich	Landteich Brand-Erbisdorf	Großhartmannsdorfer Großteich	Oberer Großhartmannsdorfer Teich
Höhe über NN	446 m	507 m	483 m	503 m
Erbauungsjahr	1555–1560	um 1600	vor 1524	1591–1592
Stauhöhe	3,80 m	k. A.	4,17 m	8,04 m
Oberfläche	16 ha	3,8 ha	61 ha	21,2 ha
Volumen	0,35 Mio. m ³	18.810 m ³	1,7 Mio. m ³	0,94 Mio. m ³
Vorkommen von <i>L. uniflora</i> 2000	geschlossener Gürtel, Individuendichte aber geringer als am Oberen Großhartmannsdorfer Teich, 1,7 ha	Art vorhanden ohne Angabe zur Fläche	größere Teilflächen, mind. 1 ha	geschlossener Gürtel, hohe Individuendichte, 5,4 ha
Vorkommen von <i>L. uniflora</i> 2006	mittel	ohne	wenig/rückläufig	viel

Methodik

Erfassung der zeitlichen Entwicklung von *Littorella uniflora*

An den drei Teichen mit aktuellem Vorkommen von *Littorella uniflora* (Tab. 1) wurde jeweils eine Untersuchungsstelle für die Ermittlung der zeitlichen Entwicklung der Strandlingsbestände eingerichtet. An diesen Stellen wurden sowohl die trocken-gefallenen Ufer als auch die Unterwasserzone bis in etwa einen Meter Wassertiefe auf Einzelpflanzen oder lockere bis dichte Bestände von *Littorella uniflora* abgesehen. Die einzelnen Bestände wurden an 5–6 Terminen zwischen Mai und August 2006 mit einem Zollstock vermessen (Länge, Breite) und ihre Ausdehnung mittels Holzstöckchen abgesteckt. Außerdem wurden an mehreren Untersuchungsterminen maßstabsgetreue Skizzen angefertigt, anhand derer die Entwicklung der Ausdehnung der Bestände sowie die Lage von Einzelpflanzen verfolgt werden konnte.

Messung der Gewässertrübung

Unter der Trübung eines Gewässers versteht man die Abnahme der Durchsichtigkeit, die in Gegenwart ungelöster Substanzen verursacht wird, wobei das einfallende Licht gestreut und absorbiert wird. Aufgrund der dadurch verursachten Abnahme der Lichtintensität mit zunehmender Wassertiefe spricht man auch von Lichtabschwächung. Die Hauptverursacher der Gewässertrübung sind das Plankton sowie Detritusbestandteile. Unter dem Begriff Detritus versteht man jegliche Art toter organischer Biomasse einschließlich mineralischer Schweb- und Sinkstoffe (HÜTTER 1990).

Zur Messung der Gewässertrübung in den vier Teichen wurden an sechs Terminen von Ende Mai bis Ende August 2006 Messungen des Lichtklimas im Gewässerkörper mit Hilfe eines Lichtsensors (Luxmeter, Fa. Windaus) durchgeführt. Dabei wurde die Lichtintensität entlang einer Transektlinie senkrecht zur Uferlinie in unterschiedlichen Entfernungen (1, 2, 3 m usw.) gemessen. An jedem dieser Messpunkte wurden ein Referenzwert knapp über der Wasseroberfläche und die Lichtintensitätswerte im Wasserkörper von der Wasseroberfläche in 10-cm-Schritten bis zum Grund gemessen. Dazu war der Lichtsensor an ein Seil gebunden, das an einer 2 m langen, ausziehbaren Teleskopstange befestigt war (Abb. 2). Das Seil war in Abständen von jeweils 10 cm mit Markierungen versehen, um die Eintauchtiefe des Sensors ablesen zu können. Das Lichtmessgerät wurde mit einem Gewicht beschwert, so dass der Lichtsensor stets senkrecht zur Wasseroberfläche zeigte.

Aus den Lichtintensitäten in den jeweiligen Wassertiefen und den jeweiligen Referenzwerten (Lichtintensität über der Wasseroberfläche) wurden sog. Lichtabschwächungsquotienten gebildet. Aus diesen Werten wurde ein Trübungsindex berechnet, der als Maß für die Gewässertrübung in einem bestimmten Teich und Termin verwendet wurde (Details bei SIELAND & TAUTENHAHN 2007).

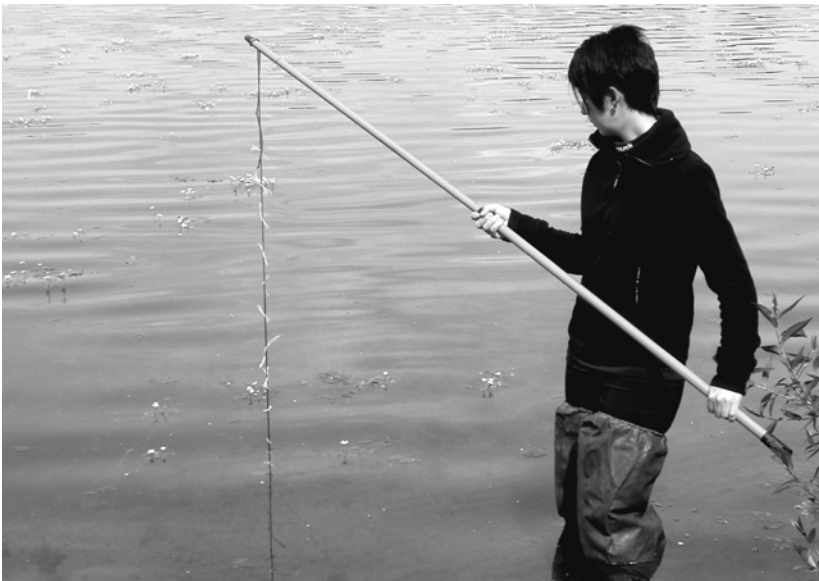


Abbildung 2: Messung der Gewässertrübung im Tiefenprofil mit Hilfe eines Lichtsensors am Großhartmannsdorfer Großteich (Foto: H. John, 09.06.2006)

Analyse der Trübungsbestandteile

Eine qualitative und halbquantitative Analyse der einzelnen Trübungsbestandteile (Plankton, Detritus) erfolgte mit Hilfe eines inversen Durchlichtmikroskops. Dazu wurden im Gelände Schöpfproben genommen, die mit jeweils drei Tropfen Lugol-scher Lösung fixiert wurden. Eine Konzentrierung der Partikel und Planktonorganismen in den Proben erfolgte nach der Methode der Planktonsedimentation nach Utermöhl (TÜMPLING & FRIEDRICH 1999). Hierzu wurden die Proben in Sedimentationskammern gefüllt und 24 Stunden stehen gelassen. Anschließend wurden die Anteile von Plankton, Detritus (tote organische Masse) und mineralischen Bestandteilen der absedimentierten Proben als flächenhafte Anteile in der Sedimentationskammer abgeschätzt. Weiterhin wurden die verschiedenen Planktongruppen bzw. -arten bestimmt, ausgezählt und auf ein einheitliches Bezugsvolumen (Zähleinheiten pro Liter Teichwasser) hochgerechnet.

Aufnahme weiterer Gewässerparameter

Neben der Trübungsmessung vor Ort (s. o.) wurden an jedem Termin mit Hilfe von Messgeräten (Fa. Windaus) die folgenden hydrochemischen und physikalischen Parameter gemessen: pH-Wert, Luft- und Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und -sättigung.

Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlich hoher Wassertrübung auf die Photosyntheseaktivität von *Littorella uniflora*

Zu diesem Zweck wurden Pflanzen mit Originalsubstrat aus einem teilentleerten Bergwerksteich entnommen und anschließend in Gläser eingepflanzt (Abb. 3). Da es sich um Landformen handelte, wurden die Pflanzen zur Gewährleistung einer Gewöhnungsphase schrittweise unter Wasser gesetzt, wobei folgende drei Ansätze

mit unterschiedlichem Nitratgehalt verwendet wurden: destilliertes Wasser, destilliertes Wasser mit 25 mg Nitrat/l und 50 mg Nitrat/l.

Die unterschiedlich hohen Trübungen (gering, mittel und hoch) wurden durch Rührfische im Zentrum der Gläser erreicht. Je höher die Umdrehungszahl der Rührfische eingestellt wurde, desto mehr Sediment wurde aufgewirbelt und desto höher war die Trübung.

Als Maß für die Photosyntheseaktivität wurde der Malatgehalt der Zellen (Äpfelsäure, ein Zwischenprodukt der Photosynthese) am Tag und in der Nacht analysiert. Je größer die Differenz zwischen Tag- und Nachtgehalt, desto höher ist die Photosyntheseaktivität und damit die Vitalität der Strandlingspflanzen.



Abbildung 3: Submerse Ansätze von *Littorella*-Pflanzen mit drei verschiedenen Nitratgehalten (jeweils 3 Gläser: links = 0, Mitte = 25, rechts = 50 mg Nitrat/l) und je Nitratgehalt mit drei verschiedenen Trübungsstufen (im Vordergrund = gering, im Hintergrund von links beginnend abwechselnd mittel und hoch)

Ergebnisse

Zeitliche Entwicklung der Bestände von *Littorella uniflora*

Mit Ausnahme des Landteiches wiesen alle untersuchten Teiche Vorkommen von *Littorella uniflora* auf. Die Entwicklung der Strandlingsbestände verlief an den einzelnen Teichen in den ersten Monaten des Untersuchungszeitraumes ähnlich (Abb. 4): So vergrößerten und verdichteten sich die Bestände von Mai bis Anfang Juli. Aufgrund unterschiedlicher äußerer Einflussfaktoren unterschied sich die Entwicklung jedoch im letzten Drittel des Untersuchungszeitraumes: Während am trockengefallenen Ufer des Berthelsdorfer Hüttenteiches *Littorella uniflora* zu dieser Zeit blühte, starb der gesamte Pflanzenbestand an der Untersuchungsstelle am Großhartmannsdorfer Großteich während einer mehrwöchigen Algenblüte ab (s. u.). Am Oberen Teich in Großhartmannsdorf änderten sich die Gewässerbedingungen (Wasserspiegelhöhe, Algenaufkommen) während des Untersuchungszeitraums kaum, so dass eine weitere Verdichtung der Strandlingsbestände bis zum Spätsommer beobachtet werden konnte.

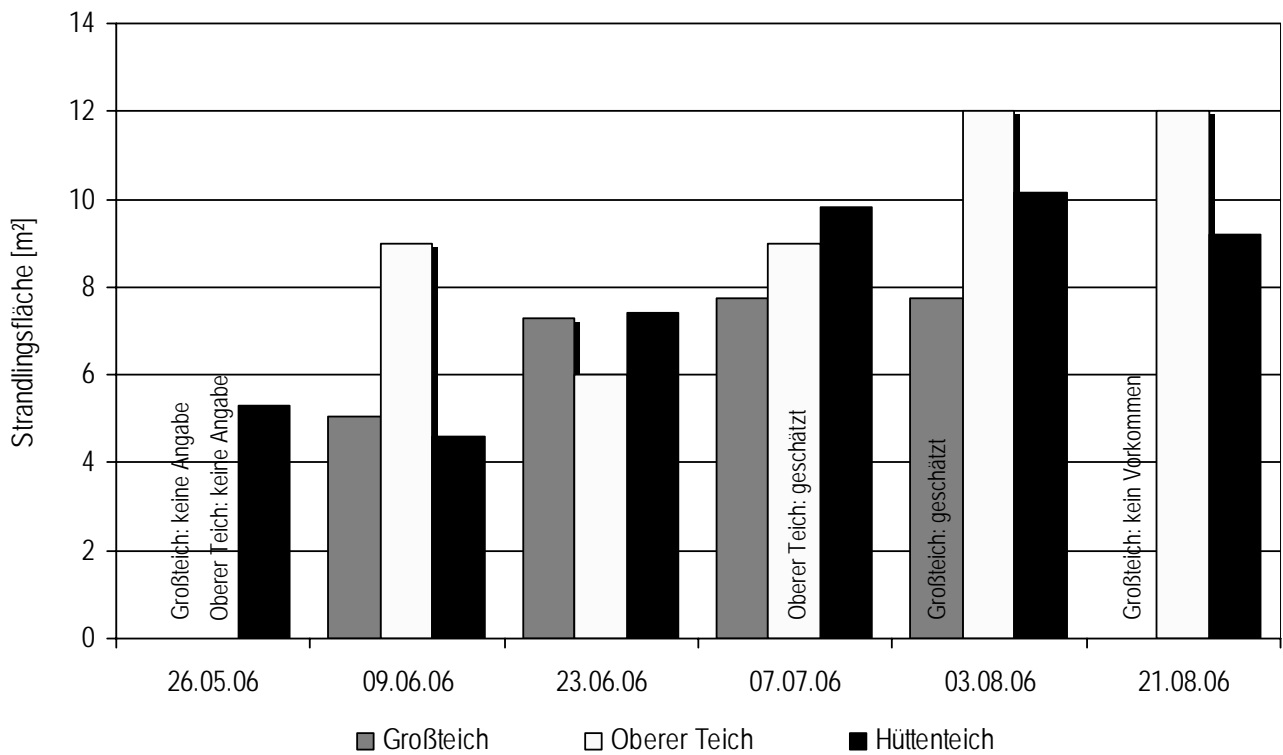


Abbildung 4: Ausdehnung der *Littorella*-Bestände an den Untersuchungsstellen der drei Teiche an sechs Untersuchungsterminen

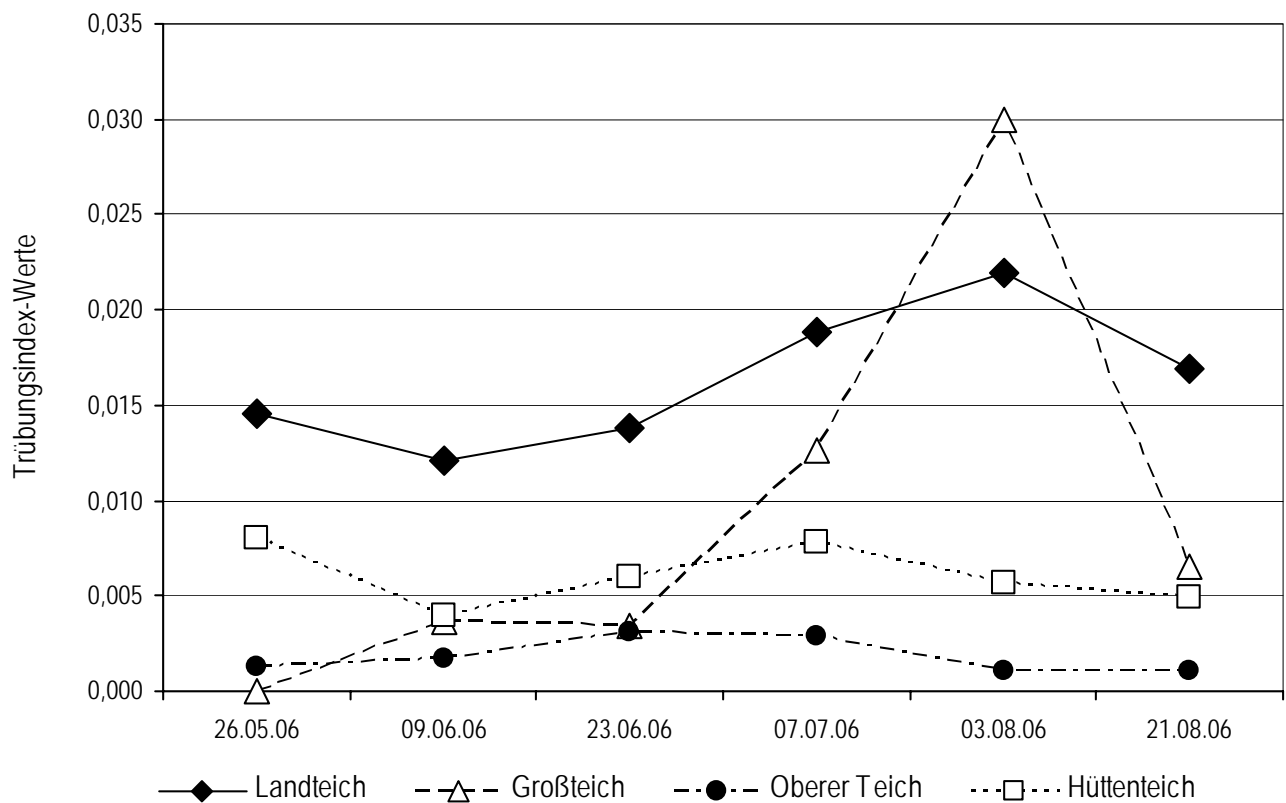


Abbildung 5: Vergleich der Trübungsindex-Werte der vier Teiche an sechs Untersuchungsterminen

Verlauf der Trübungssituation in den einzelnen Teichen

Beim Vergleich der Trübungsindex-Werte der einzelnen Teiche zeigt sich für den Oberen Großhartmannsdorfer Teich an allen Terminen die geringste Trübung (Abb. 5). Im Gegensatz dazu wurden am Landteich – mit Ausnahme des 5. Termins am 3. August – jeweils die höchsten Trübungswerte ermittelt. Dieser Teich wies somit im Untersuchungszeitraum 2006 im Mittel die höchste Gewässertrübung auf. Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs der Trübung konnten im Landteich, im Oberen Großhartmannsdorfer Teich und im Hüttenteich am 2. und 3. Termin (Juni 2006) leichte Erhöhungen beobachtet werden, die am Hüttenteich und am Landteich auch noch bis zum 4. Termin (7. Juli) andauerten. Während sich die Trübung daraufhin am Landteich weiter verstärkte, verringerte sie sich am Oberen Großhartmannsdorfer Teich und am Hüttenteich wieder, so dass davon ausgegangen wird, dass es sich hierbei um saisonale Schwankungen handelte. Eine starke Zunahme mit einem Maximum der Trübung am 3. August konnte im Großhartmannsdorfer Großteich beobachtet werden

Vergleicht man den mittleren Anteil des Lichts, der im jeweiligen Teich in 20 cm Wassertiefe ankam, dann zeigt sich ein ähnliches Bild hinsichtlich der Rangfolge in der Trübungssituation der vier Bergwerksteiche (hohe Werte deuten eine geringe Lichtabschwächung oder geringe Trübung an):

Landteich Brand- Erbisdorf (38 %)	<	Großhartmannsdor- fer Großteich (58 %)	<	Berthelsdorfer Hüttenteich (64 %)	<	Oberer Großhart- mannsdorfer Teich (75 %)
---	---	--	---	---	---	---

Die hohen Trübungswerte in Landteich und Großteich am 3. August gingen dabei mit einem deutlichen Absinken des pH-Wertes von vorher pH ~9 (Landteich) bzw. pH ~8 (Großhartmannsdorfer Großteich) auf pH 6 einher, und auch die Sauerstoffsättigung war an diesem Termin in beiden Teichen deutlich herabgesetzt: Landteich 70 %, Großhartmannsdorfer Großteich 20 % (SIELAND & TAUTENHAHN 2007).

Analyse der Trübungsbestandteile

Verhältnis Detritus zu Plankton

Die Untersuchungen der Wasserproben im Labor zeigten, dass der Detritusgehalt in allen untersuchten Bergwerksteichen eine wichtige Größe bei der Zusammensetzung der Trübungsbestandteile ist. Dabei wies der Landteich im Vergleich zu den anderen drei Teichen an fast allen Terminen die höchsten relativen und absoluten Detritusgehalte auf (Abb. 6). In allen Teichen war eine ähnliche saisonale Entwicklung des Detritusanteils festzustellen: Der größte Anteil des Detritus an der Gesamtrübung wurde bei allen Teichen am 21. Juni festgestellt, danach nahm der Anteil überall ab, d. h. das mengenmäßige Verhältnis von Detrituspartikeln zu Planktonorganismen wurde kleiner.

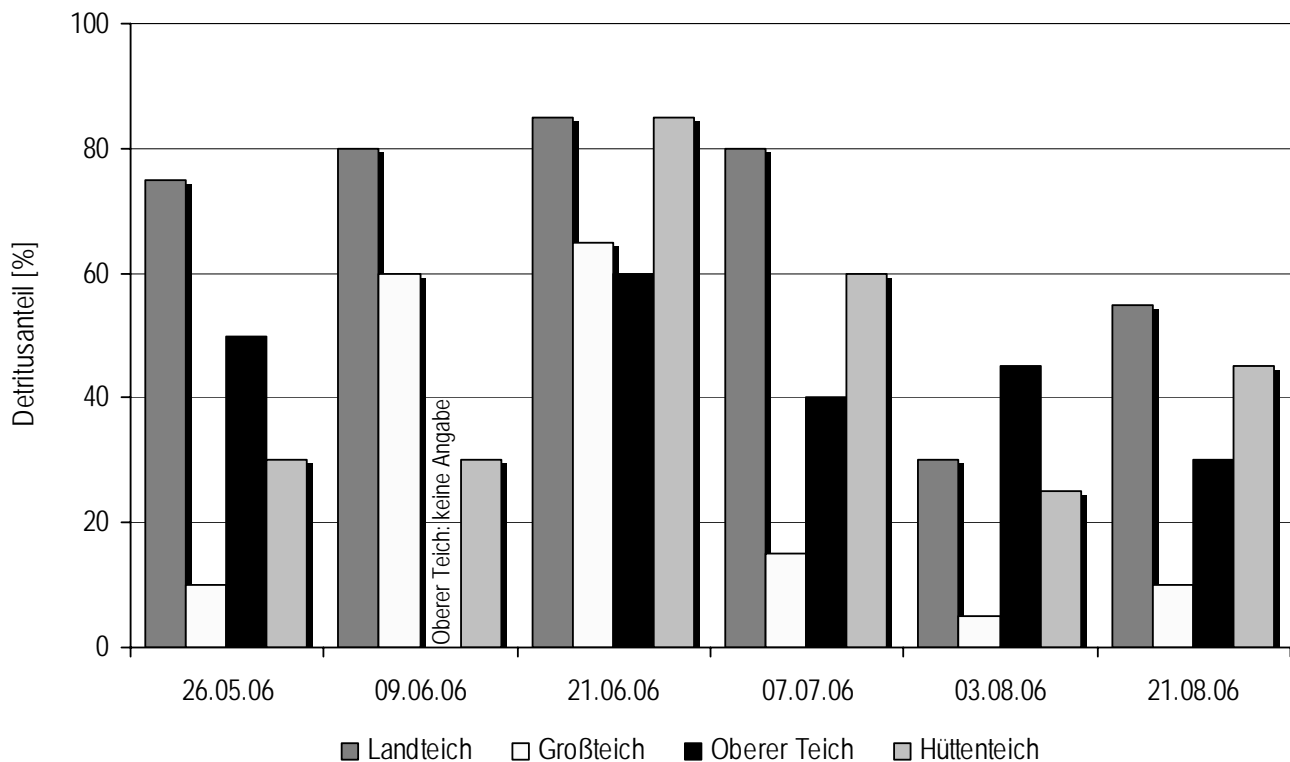


Abbildung 6: Abgeschätzter Detritusanteil an der Gesamtheit aller trübungsverursachenden Partikel in den vier Teichen an sechs Untersuchungsterminen

Im Großhartmannsdorfer Großteich bildete hingegen das Plankton den Hauptbestandteil der Trübstoffe. Zwar machte an den Terminen, an denen kaum Planktonorganismen vorhanden waren (09. und 21. Juni), Detritus mehr als die Hälfte aller Trübstoffbestandteile aus (Abb. 6), jedoch war das Wasser insgesamt sehr klar, d. h. die Gesamtmenge an Trübstoffen war sehr gering. Im Oberen Großhartmannsdorfer Teich war das Verhältnis zwischen Plankton und Detritus während des gesamten Untersuchungszeitraumes relativ ausgeglichen. Dagegen kam es im Berthelsdorfer Hüttenteich zu starken Veränderungen im prozentualen Verhältnis von Plankton und Detritus, insbesondere aufgrund großer Schwankungen im Planktongehalt. Dabei konnte dort zum 21. Juni ein sehr starker Einbruch der Planktonpopulation beobachtet werden (Abb. 6). Der absolute Detritusgehalt blieb hingegen während der Untersuchungszeit nahezu konstant.

Zeitliche Entwicklung des Planktons

An einigen Teichen konnte im Untersuchungszeitraum ein mehr oder weniger stark ausgeprägter zweigipfliger Verlauf der Planktonentwicklung im Untersuchungszeitraum festgestellt werden (Abb. 7): Zu Beginn der Untersuchungen war im Oberen Großhartmannsdorfer Teich und im Hüttenteich ein besonders stark ausgeprägtes Frühjahrsmaximum des Phytoplanktons zu beobachten, während im Landteich und Großhartmannsdorfer Großteich ein Sommermaximum, gebildet von Blau- und

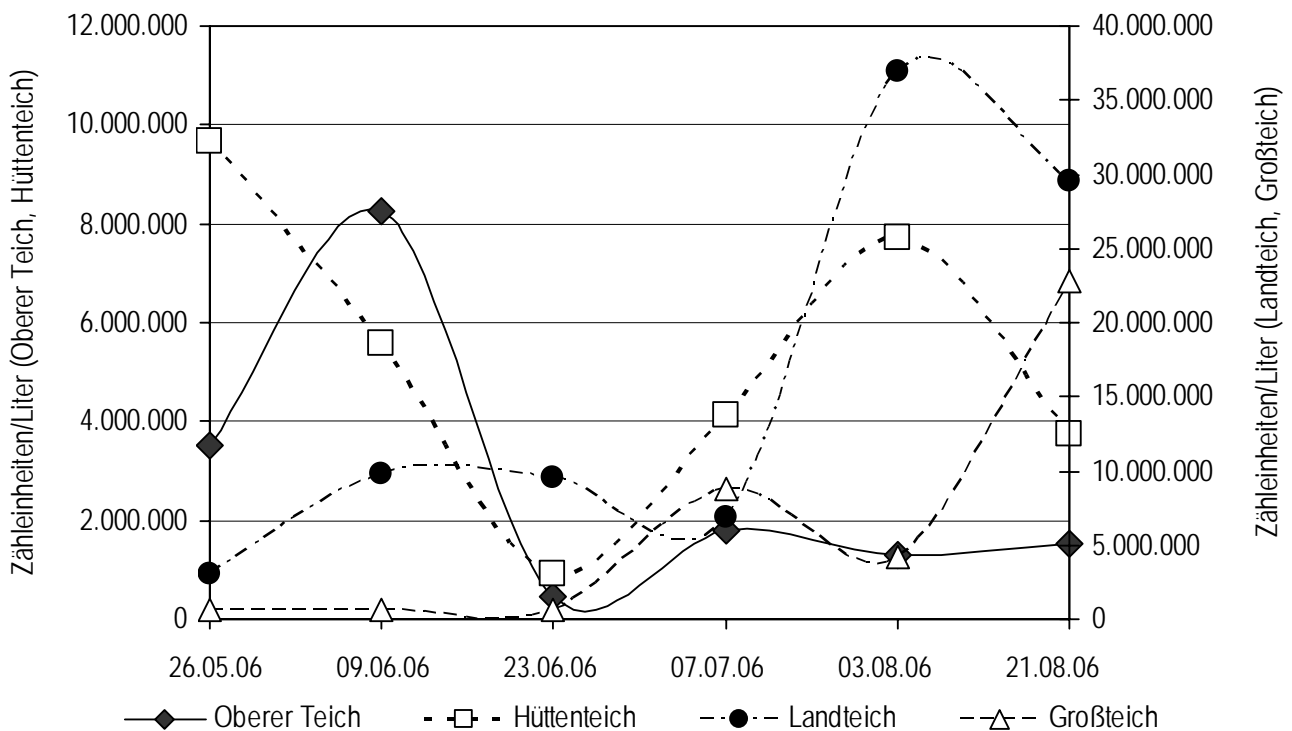


Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung des Phytoplanktons in den vier Bergwerksteichen (geglättete Kurven)

Grünalgen, ausgeprägt war. In der zweiten Junihälfte kam es im Berthelsdorfer Hüttenteich und im Oberen Großhartmannsdorfer Teich zu einem deutlichen Rückgang des Phytoplanktons. Dieses „Klarwasserstadium“ wurde vermutlich durch die Fraßtätigkeit des Zooplanktons verursacht, welches sich zeitversetzt zum Phytoplankton entwickelt hatte (vgl. SCHWOERBEL & BRENDENBERGER 2005).

Entwicklung der einzelnen Planktongruppen

Bei der Planktonuntersuchung konnten Organismen aus den folgenden großen Planktongruppen nachgewiesen werden: Blaualgen (Cyanophyta), Grünalgen (Chlorophyta), Gelbalgen (Chrysophyta) sowie Dinoflagellaten (Dinophyta) und Kryptomonaden (Cryptophyceae). Im Folgenden wird kurz die zeitliche Entwicklung an den vier Teichen beschrieben (Details bei SIELAND & TAUTENHAHN 2007):

Der Landteich wies an allen Untersuchungsterminen die höchste Zahl an Planktonorganismen in den Wasserproben auf. An den ersten drei Terminen bis Ende Juni dominierten vor allem Grün- und Gelbalgen (Einzelzeller). Nach einem leichten Rückgang der Organismenzahl Anfang Juli kam es Anfang August zu einer starken Algenblüte, die insbesondere auf die fadenförmige Blaualge *Anabaena* zurückging. Danach war ein leichter Rückgang der Planktonmenge zu beobachten, wobei die Blaualgen verstärkt durch Grünalgen, insbesondere der Gattung *Scenedesmus*, abgelöst wurden.

Im Großhartmannsdorfer Großteich wurden an den ersten drei Terminen nur sehr wenige Planktonorganismen gefunden. Erst ab Anfang Juli war ein starker Anstieg der Grünalgenentwicklung zu verzeichnen. Nach einem deutlichen Rückgang der Planktondichte bis Anfang August baute sich gegen Ende des Untersuchungszeitraums eine sehr starke Algenblüte auf, die hauptsächlich von fadenförmigen Blaualgen (*Aphanizomenon flos-aquae*) und Grünalgen (*Spirogyra*) bestimmt wurde. Am Messpunkt bildeten sich dabei dicke Algenmatten, die nur noch wenig Licht auf den Grund ließen.

Im Vergleich zu den anderen Teichen wies der Obere Großhartmannsdorfer Teich im Jahresgang die geringsten Planktonzahlen auf. Charakteristisch für diesen Teich war ein deutliches Frühjahrsmaximum der Gelbalgen am 1. und 2. Termin, dominiert von der Kieselalge *Asterionella formosa* und Goldalgen der Gattung *Dinobryon*. Bis Ende Juni war die Menge der Planktonorganismen auf ein Minimum zurückgegangen. Zugleich wurden zahlreiche Vertreter des Zooplanktons beobachtet. Danach stieg die Zahl der Grün- und Gelbalgen wieder leicht an, blieb aber bis Ende des Untersuchungszeitraums auf geringem Niveau.

Auch das Plankton des Berthelsdorfer Hüttenteiches war an den ersten beiden Terminen durch sehr hohe Zahlen an Gelbalgen (z. B. *Asterionella formosa*) gekennzeichnet, wobei am ersten Termin noch die Grünalgen (Gattungen *Fragillaria*, *Pediastrum* und *Scenedesmus*) dominierten. Ähnlich wie am Oberen Großhartmannsdorfer Teich ging das Planktonaufkommen bis Ende Juni wieder stark zurück. Anfang August war ein zweites Planktonmaximum insbesondere aus Dinoflagellaten und Kryptomonaden zu beobachten.

Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlich hoher Wassertrübung auf die Photosyntheseaktivität des Strandlings

Im Rahmen des Versuchs zum Einfluss unterschiedlicher Trübungstufen und Nitratgehalte im Wasser wurde die Nacht-Tag-Differenz des Malatgehalts im Pflanzenextrakt der *Littorella*-Versuchspflanzen innerhalb jeweils gleicher Nitratzugaben verglichen (Abb. 8). Mit Ausnahme des Ansatzes „kein Nitrat/geringe Trübung“ war jeweils eine Abnahme von geringer zu hoher Trübung feststellbar, was bedeutet, dass *Littorella uniflora* bei erhöhter Trübung deutlich geringere Photosyntheseaktivitäten aufwies.

Der Effekt unterschiedlich hoher Nitratzugaben bei jeweils gleicher Trübung war weniger eindeutig: So war zunächst eine Abnahme der Nacht-Tag-Differenz des Malatgehalts von 0 mg Nitrat/l auf 25 mg Nitrat/l zu beobachten. Bei weiterer Erhöhung auf 50 mg Nitrat/l nahmen die Nacht-Tag-Differenzen jedoch erneut zu und überstiegen sogar die Ausgangswerte bei 0 mg Nitrat/l. Somit kann man schlussfolgern, dass *Littorella uniflora* unter den gegebenen Laborbedingungen in gewissem Maße von den erhöhten Nitratgehalten sogar profitierte.

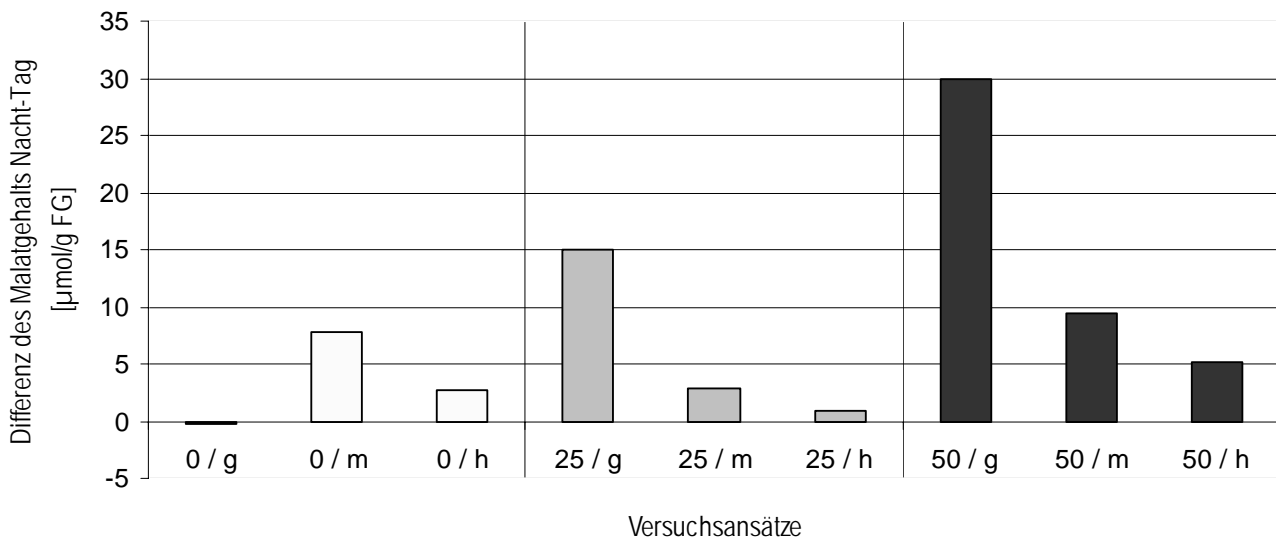


Abbildung 8: Nacht-Tag-Differenz des Malatgehalts im Pflanzenextrakt von *Littorella uniflora* in submersen Versuchsansätzen mit drei Nitratgehaltsstufen (0, 25, 50 mg/l) und drei Trübungsstufen (g = gering, m = mittel, h = hoch)

Diskussion

Obwohl in dieser Arbeit nur die Entwicklung des Strandlings und der Trübung innerhalb eines Jahres (2006) an vier ausgewählten Teichen dokumentiert und analysiert werden konnten, ergaben sich zusammen mit den Ergebnissen aus dem Laborexperiment erste Antworten auf die Frage eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Entwicklung von *Littorella uniflora* und der Trübungssituation in den Bergwerksteichen:

(1) Die Ergebnisse zeigen, dass an dem Teich mit der stärksten Trübung (Landteich) kein Strandling vorkam, während an dem Teich mit der geringsten Trübung (Oberer Großhartmannsdorfer Teich) die flächenmäßig größten Bestände vorgefunden wurden (Abb. 4, 5). Der Berthelsdorfer Hüttenteich und der Großhartmannsdorfer Großteich, in denen kleinere bis mittlere *Littorella*-Bestände vorkamen, zeigten über die meiste Zeit eine deutlich geringere Trübung als der Landteich, aber eine höhere als der Obere Großhartmannsdorfer Teich (Abb. 5). Am Großhartmannsdorfer Großteich brachen die Bestände nach einer mehrwöchigen Beschattungsphase (Mitte Juli bis Mitte August 2006) infolge von auf der Wasseroberfläche schwimmenden *Spirogyra*-Matten (21.08.2006) ein. Messungen mit dem Luxmeter zeigten dabei, dass in der Beschattungszone im Durchschnitt nur 6 % (max. 17 %, min. 0 %) des auf die Wasseroberfläche auftreffenden Lichtes am Gewässergrund bei den Strandlingspflanzen ankam. Umfangreiche Untersuchungen von SAND-JENSEN & SØNDERGAARD (1981) bestätigen, dass die durch Algenblüten verursachte Abnahme der zur Verfügung stehenden Lichtmenge dazu führt, dass sich die Bestände von Makrophyten – beispielsweise des Strandlings – verkleinern oder ganz verschwinden.

(2) Neben dieser sicherlich außergewöhnlich starken Verringerung der zur Verfügung stehenden Lichtmenge, die schließlich zum Absterben und Verschwinden von *Littorella uniflora* führte, konnten jedoch auch an den anderen drei Teichen Zusammenhänge zwischen der Trübungsintensität und dem *Littorella*-Vorkommen festgestellt werden. PEDERSON et al. (2006) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass eine geringe Trübung und geringe Chlorophyllgehalte im Wasser (wenig Phytoplankton) das Vorkommen von *Littorella uniflora* positiv beeinflussten. Im Gegenzug lässt sich daher sagen, dass hohe Trübungswerte, wie sie beispielsweise im Landteich festgestellt wurden (Abb. 5, 6, 7), dem Wachstum der Strandlingspflanzen und damit der entsprechenden Rasen entgegenstehen. Weitere Untersuchungen von SØNDERGAARD & BONDE (1988) zeigten außerdem, dass sich der Strandling durch einen verringerten Lichtkompensationspunkt, höhere Chlorophyllgehalte und ein geringeres Chlorophyll-a : b-Verhältnis an geringere Lichtintensitäten – wie sie beispielsweise in größeren Wassertiefen oder durch eine verstärkte Trübung auftreten – in gewissen Grenzen anpassen kann.

(3) Auch die durchgeführten Laborversuche zeigten einen deutlichen Einfluss der Wassertrübung auf die Photosyntheseleistung der *Littorella*-Pflanzen: Je höher die Wassertrübung, desto geringer war auch die zu beobachtende Photosyntheseaktivität (Abb. 8). Der zusätzlich getestete Einfluss eines erhöhten Nitratgehalts zeigte hingegen einen tendenziell positiven Effekt. Diese Ergebnisse lassen sich aber nicht ohne weiteres auf die mögliche Reaktion der Art am Standort übertragen. Dort führt ein erhöhter Nitratgehalt nämlich primär zur Förderung der Phytoplanktonproduktion und damit zu einer zusätzlichen Trübung. Somit würde also der im Laborexperiment beobachtete negative Trübungseffekt vor Ort sogar noch verstärkt werden und vermutlich noch schneller zu Vitalitätseinbußen bei *Littorella uniflora* führen.

Die bislang veröffentlichten Untersuchungen und auch die Ergebnisse unserer Messungen belegen somit einen nachweisbaren Einfluss der Trübung im Gewässer auf das Vorkommen von *Littorella uniflora*. Ungeklärt ist jedoch weiterhin, ab welcher Intensität die Art in ihrer Entwicklung negativ beeinflusst bzw. letal geschädigt werden kann und welche Ursachen für die auftretende Trübung in den untersuchten Gewässern vorhanden sind.

Resümee und Ausblick

Aufgrund des offensichtlichen Zusammenhangs zwischen der Trübung eines Gewässers und dem Vorkommen von *Littorella uniflora* kann geschlussfolgert werden, dass es für das langfristige Überleben der Strandlingspopulationen in den Freiburger Bergwerksteichen entscheidend ist, die Trübungswerte gering zu halten bzw. zu reduzieren. Da die Aufwirbelung von Detritus durch Wellenschlag kaum verhindert werden kann, sollte ein verstärktes Augenmerk auf die Planktonentwicklung gelegt werden. Der entscheidendste Faktor ist die Höhe des Eintrags von Nährstoffen wie

Phosphat und Nitrat, welche die Phytoplanktonproduktion fördern und damit die Trübung erhöhen.

Darüber hinaus sind vermutlich noch weitere Faktoren für das langfristige Überleben der Strandlingspopulationen in den Freiburger Bergwerksteichen entscheidend. Genannt seien hier das Vorhandensein von Ausbreitungswegen und damit ein geringes Maß an Isolation der Teilpopulationen sowie das Bewirtschaftungsregime der Gewässer, insbesondere Umfang und Häufigkeit von Stauspiegelschwankungen. Um konkrete Handlungsableitungen für die Naturschutzpraxis zum Erhalt und zur Förderung der Strandlingsbestände sowie der gefährdeten Teichbodenvegetation insgesamt geben zu können, wurde das Projekt „GehVege“ (http://www.ioez.tu-freiberg.de/arbeitsgruppen/ag_bio/gehvege/) initiiert. In diesem Rahmen werden u. a. der direkte Einfluss verschiedener Standortparameter auf ausgewählte Arten der Teichbodenvegetation und die mögliche Ausbreitung der Samen über den Wasserweg untersucht (MEISSNER 2008).

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Wagner von der Bereichsstaumeisterei Revierwasserlaufanstalt Freiberg für die Gewährung des Zugangs zu den Gewässern und für die Übermittlung von Informationen zur aktuellen Nutzung und Historie des Kunstgraben- und Teichsystems. Dr. André Günther und den Mitarbeitern des Naturschutzes Freiberg sei für die Informationen zur Bestandsentwicklung des Strandlings sowie die methodischen Anregungen zu den Freilanduntersuchungen und den Laborexperimenten gedankt.

Ein herzliches Dankeschön für ihr Engagement und ihre sorgfältige Arbeit beim Laborversuch im Praktikum „Ökologie 3“ im Sommersemester 2007 gebührt weiteren Studenten des Studiengangs Geoökologie, Schwerpunkt Ökologie: Ulrike Bonitz, Silke Höfle, Susanne Jobst, Hendrik Lamert, Michael Richter und Michael Stärz.

Literatur

- ARTS, G. H. P. (2002): Deterioration of Atlantic softwater macrophyte lakes communities by acidification, eutrophication and alkalisation. – *Aquatic Botany* 73: 373–393
- ARTS, G. H. P., G. VAN DER VELDE, J. G. M. ROELOFS & C. A. M. VAN SWAAY (1990): Successional changes in the soft-water macrophyte vegetation of (sub)Atlantic, sandy, lowland regions during this century. – *Freshwater Biology* 24: 287–294
- BOSTON, H. L. & M. S. ADAMS (1987): Productivity, growth and photosynthesis of two small 'isoetid' plants, *Littorella uniflora* and *Isoetes macrospora*. – *Journal of Ecology* 75: 333–350

- FREYER, G. (Hrsg.) (1988): Freiberger Land – Ergebnisse der heimatkundlichen Bestandsaufnahme im Gebiet um Langhennersdorf, Freiberg, Oederan, Brand-Erbisdorf und Weißenborn. – Werte unserer Heimat, Bd. 47, Akademie Verlag, Berlin
- GRAHN, O. (1977): Macrophyte succession in Swedish lakes caused by deposition of airborne acid substances. – *Water, Air, and Soil Pollution* 7: 295–305
- HÜTTER, L. A. (1990): Wasser und Wasseruntersuchung. – 4. Aufl., Otto Salle Verlag, Frankfurt a. M.; Verlag Sauerländer, Aarau
- HUTCHINSON, G. E. (1975): A Treatise on limnology, Vol. III: Limnological Botany. – Wiley, New York
- MANNSFELD, K. & H. RICHTER, (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen. – Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 238, Zentralaussschuß für deutsche Landeskunde, Trier
- MEISSNER, K. (2008): Analyse zum Potenzial der hydrochoren Diasporenausbreitung bei ausgewählten Arten der Teichbodenvegetation. – unveröff. Studienarbeit, TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie
- MOESLUND, B., B. LØJTANT, H. MATHIESEN, L. MATHIESEN, A. PEDERSON, & N. THYSSEN (1990): Danske vandplanter. Vejledning i bestemmelse af planter i søer og vandløb. – The Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen
- NSI FREIBERG (2000): Untersuchungen zu Vorkommen und Ausbildungsformen der Zwergbinsen- und Strandlingsgesellschaften an den Bergbauteichen zwischen Freiberg und Olbernhau unter besonderer Berücksichtigung des Scheidenblütgrases (*Coleanthus subtilis*). – unveröff. Gutachten im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie
- PEDERSON, O., T. ANDERSEN, K. IKEJIMA, Z. HOSSAIN, & F. Ø. ANDERSEN (2006): A multidisciplinary approach to understanding the recent and historical occurrence of the freshwater plant, *Littorella uniflora*. – *Freshwater Biology* 51: 865–877
- ROBE, W. E. & H. GRIFFITHS (1992): Seasonal variation in the ecophysiology of *Littorella uniflora* (L.) Ascherson in acidic and eutrophic habitats. – *New Phytologist* 120: 289–304
- ROELOFS, J. G. M. (2002): Soft-water macrophytes and ecosystems: why are they so vulnerable to environmental changes? Introduction. – *Aquatic Botany* 73: 285–286
- SAND-JENSEN, K. & M. SØNDERGAARD (1981): Phytoplankton and epiphyte development and their shading effect on submerged macrophytes in lakes of different nutrient status. – *Hydrobiologia* 66: 529–552
- SCHULZ, D. (1999): Rote Liste Farn- und Samenpflanzen. – Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden

- SCHWOERBEL, J. & H. BRENDELBERGER (2005): Einführung in die Limnologie. – Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, München
- SIELAND, R. & K. TAUTENHAHN (2007): Methodische Untersuchungen zum Lichtklima in flachen Gewässern: Die Trübung als potenzieller Einflussfaktor für die Ausbildung von Strandringsbeständen (*Littorella uniflora*). – unveröff. Studienarbeit, TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie
- SMOLDERS, A. J. P., E. C. H. E. T. LUCASSEN & J. G. M. ROELOFS (2002): The isoetid environment: biogeochemistry and threats. – *Aquatic Botany* 73: 325–350
- SØNDERGAARD, M. & G. BONDE (1988): Photosynthetic characteristics and pigment content and composition in *Littorella uniflora* in a depth gradient. – *Aquatic Botany* 32: 307–319
- TÜMPLING, W. & G. VON FRIEDRICH (Hrsg.) (1999): Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung. Bd. 2: Biologische Gewässeruntersuchung. – Gustav Fischer Verlag, Jena
- UHLIG, J. (1939): Die Gesellschaft des nackten Teichschlammes. In: KÄSTNER, M., W. FLÖSSNER, & J. UHLIG: Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes, I. Teil. – Landesverein Sächsischer Heimatschutz, Dresden
- VOPPEL, K. (1941): Das Landschaftsbild des Erzgebirges unter dem Einflusse des Erzbergbaues. – Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen Museums für Länderkunde, N. F. 9
- WAGENBRETH, O. & E. WÄCHTLER (Hrsg.) (1986): Der Freiburger Bergbau: Technische Denkmale und Geschichte. – VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig

Anschrift der Verfasser:

Robert Sieland
Wohnpark Gentilly 50 d, 09599 Freiberg
rosieland@web.de

Kerstin Tautenhahn
Am Forstamt 6, 83486 Ramsau bei Berchtesgaden
kerstin.tautenhahn@student.tu-freiberg.de

Henriette John*, Katrin Meißner und Dr. Roland Achtziger
TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie
Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg
henriette.john@ioez.tu-freiberg.de, achtzig@ioez.tu-freiberg.de

* korrespondierende Autorin