

## Hydrochorie ausgewählter Arten der Strandlings- und Zwergbinsengesellschaften (*Littorelletea*, *Isoëto-Nanojuncetea*) im Erzgebirge

– Henriette John und Elke Richert –

### Zusammenfassung

Das Landschaftsbild des Erzgebirges südlich von Freiberg (Sachsen) wird durch ein im Zuge des Bergbaus entstandenes System aus Teichen und Kunstgräben geprägt. Diese Bergwerksteiche beherbergen eine europaweit naturschutzfachlich bedeutsame Teichbodenvegetation, für die *Coleanthus subtilis*, *Limosella aquatica* und *Littorella uniflora* charakteristische Vertreter sind. Zur Ausbreitungsstrategie dieser Arten liegen bisher nur relativ wenige Informationen vor. Insbesondere die Verbreitung von *Coleanthus subtilis* zeigt im Erzgebirge eine enge Bindung an die über das Kunstgrabensystem verbundenen Bergwerksteiche, was eine hydrochore Ausbreitung vermuten lässt. Die durchgeführten Laborexperimente belegen für Diasporen von *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* ein Schwimmvermögen von bis zu einem Jahr, wohingegen Diasporen von *Littorella uniflora* nach diesen Analysen nur kurze Zeit schwimmen bzw. bei Überstauung nicht an die Wasseroberfläche aufsteigen. Kescherproben im Wasserkörper und in den oberen Wasserschichten nach Wiederanstau eines mit Arten der Teichbodenvegetation besiedelten Bergwerksteiches erbrachten insbesondere in den ersten 7 Wochen nach Beginn des Anstaus zahlreiche Diasporennachweise. Der Nachweis von Diasporen von *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* in Sedimenten aus dem Kunstgrabensystem, welche nachweislich mindestens 14 km transportiert wurden, deutet auf ein hohes Potenzial für die hydrochore Ausbreitung dieser Arten im Erzgebirge hin. Dies gilt auch für eine Reihe weiterer Charakterarten und hochstete Begleiter der Zwergbinsengesellschaften, von denen ebenfalls zahlreiche Diasporen im Teichwasser und im Kunstgrabensystem nachgewiesen wurden. Auch wenn die Ergebnisse für *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* ein ausdauerndes Schwimmvermögen belegen, kann das aktuelle überregionale Verbreitungsmuster dieser Arten und die Besiedlung von flussaufwärts liegenden Gewässern durch Hydrochorie allein nicht befriedigend erklärt werden. Die eingeschränkte Schwimmfähigkeit der Diasporen von *Littorella uniflora* und die fehlenden Nachweise von Früchten im Kunstgrabensystem deuten darauf hin, dass Hydrochorie für diese Art, zumindest für die Überwindung größerer Entfernungen, keine Bedeutung hat.

### Abstract: Hydrochory of *Littorelletea* and *Isoëto-Nanojuncetea* species in the Erzgebirge (Germany)

The landscape of the Erzgebirge south of Freiberg (Saxony, Germany) is characterised by an artificial water system consisting of ponds, ditches, and trenches that has been constructed for mining and metallurgy purposes. The mining ponds harbour a unique pond-bottom vegetation of high importance for nature conservation in Europe. *Coleanthus subtilis*, *Limosella aquatica* and *Littorella uniflora* are character species of this vegetation. Little is known about the dispersal mechanisms of these species. Especially *Coleanthus subtilis* is closely linked to the mining ponds that are connected via ditches and subterranean trenches, leading to the hypothesis of hydrochory as a major dispersal mechanism for seeds of this species. Laboratory experiments showed a buoyancy of about one year for the seeds of *Coleanthus subtilis* and *Limosella aquatica*, whereas fruits of *Littorella uniflora* were buoyant for a few days only and were not able to rise to the water surface when water level was rising. After flooding of a pond with established vegetation at the pond bottom, many seeds could be sampled by scooping the water body and water surface, especially during the first 7 weeks after flooding started. In addition, seeds of *Coleanthus subtilis* and *Limosella aquatica* were found in sediments of ditches and trenches. They were transported for about 14 km, indicating a high potential for hydrochory within the Erzgebirge region. This is also the case for a set of other character species and satellite species of dwarf rush vegetation for which many seeds could be found in the sediments of the trenches.

Overall the results document a high buoyancy ability for seeds of *Coleanthus subtilis* and *Limosella aquatica*. Thus, both species are able to disperse over long distances via the water system. However, hydrochory alone cannot explain the supra-regional distribution pattern.

In contrast to these two species *Littorella uniflora* has fruits with very limited buoyancy, which could not be detected in the sediments of the trenches. This suggests that hydrochory as generative dispersal mechanism is not important for this species, especially for long-distance dispersal.

**Keywords:** pond-bottom vegetation, *Coleanthus subtilis*, *Limosella aquatica*, *Littorella uniflora*, seed bank, buoyancy.

## 1. Einleitung

Strandlings- und Zwergbinsengesellschaften (*Littorelletea* und *Isoëto-Nanojuncetea*) kommen im Erzgebirge (Sachsen) insbesondere in Bergwerksteichen vor, die ab dem 16. Jh. für die Wasserversorgung der Bergwerke und Hütten angelegt wurden und über ein Kunstgraben- und Röschensystem miteinander verbunden sind. Die Teichbodenvegetation, welche europaweit naturschutzfachlich bedeutsam ist, weist in allen verbundenen Teichen eine ähnliche Artenzusammensetzung auf. Die Teiche lassen sich dem FFH-Lebensraumtyp „Oligobis mesotrophe, basenarme Stillgewässer der planaren bis subalpinen Stufe mit Vegetation der Littorelletalia und Isoëto-Nanojuncetea“ zuordnen (FFH-Code 3130, SSYMANEK et al. 1998). Eine Besonderheit der Teichbodenvegetation im Erzgebirgsraum stellt das weltweit seltene Scheidenblütgras (*Coleanthus subtilis*) dar (Abb. 1a), welches europaweit gefährdet und durch die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Anhänge II und IV) geschützt ist (PETERSEN et al. 2003). *Coleanthus subtilis* kommt in den erzgebirgischen Bergwerksteichen häufig gemeinsam mit weiteren, zum Teil gefährdeten Charakterarten der Zwergbinsengesellschaften wie *Limosella aquatica* (Schlammling; Abb. 1b), *Elatine hydropiper* (Wasserpfeffer-Tännel), *Gnaphalium uliginosum* (Sumpf-Ruhrkraut) und *Eleocharis acicularis* (Nadel-Sumpfbirse) vor (vgl. LUDWIG & SCHNITTLER 1996). Ebenfalls eine in den erzgebirgischen Bergwerksteichen häufige Art ist die gefährdete *Littorella uniflora* (Strandling; Abb. 1c), die in den ufernahen Bereichen anzutreffen ist.

Weitestgehend ungeklärt ist, ob und wie Diasporen dieser drei Arten zwischen den Populationen der verschiedenen Gewässer ausgetauscht werden. Insbesondere *Coleanthus subtilis* zeigt im Erzgebirge eine sehr enge Bindung an die über das Kunstgrabensystem miteinander verbundenen Bergwerksteiche. Daher vermutet IRMSCHER (1994), dass die Diasporen dieser Art hydrochor verbreitet werden (s. auch HEJNÝ 1969, KRIECHBAUM & KOCH 2001), wobei entsprechende Freilanduntersuchungen für *Coleanthus subtilis* bisher nicht vorliegen. Auch ist nicht bekannt, welche Entfernungen von den Diasporen möglicherweise hydrochor zurück gelegt werden können (vgl. VITTOZ & ENGLER 2007).

Aus diesem Grund, und um die Bedeutung des Kunstgrabensystems für den Erhalt und Schutz der Arten abschätzen zu können, sollen in der vorliegenden Arbeit Analysen zum hydrochoren Ausbreitungspotenzial ausgewählter Arten der Teichbodenvegetation vorgenommen werden. Da für eine hydrochore Ausbreitung das Schwimmvermögen der Diasporen von großer Bedeutung ist (MELCHER et al. 2000, BOEDELTEJE et al. 2003, 2004), wurden entsprechende Laborexperimente und Freilanduntersuchungen durchgeführt. Ergänzend wurden Diasporenbankanalysen im Sediment der Röschen vorgenommen um zu klären, ob ein Diasporentransport über die Kunstgräben und Röschen stattfindet, und um Informationen zu potenziellen Transportdistanzen der Diasporen zu gewinnen. Folgende Fragestellungen werden in der vorliegenden Publikation bearbeitet:

- 1) Ist das hydrochore Ausbreitungspotenzial im Sinne einer guten Schwimmfähigkeit der Diasporen der ausgewählten Arten gegeben?
- 2) Gelangen mit dem Wiederanstau der Gewässer Diasporen der Arten der Teichbodenvegetation an die Wasseroberfläche bzw. in den Wasserkörper und über welchen Zeitraum können sie darin nachgewiesen werden?
- 3) Können Diasporen von Arten der Teichbodenvegetation im Sediment des Kunstgraben- und Röschensystems nachgewiesen werden, und welche Distanzen haben diese hydrochor zurückgelegt?
- 4) Welche Rückschlüsse lassen die Ergebnisse auf die Ausbreitungsstrategie der Arten der Teichbodenvegetation zu?

5) Welche Bedeutung kommt dem Kunstgraben- und Röschensystem als Ausbreitungsweg zum Erhalt und Schutz der Arten zu?

Aufgrund des hohen Schutzstatus und/oder der Seltenheit der Arten, wird der Schwerpunkt bei diesen Untersuchungen auf *Coleanthus subtilis*, *Limosella aquatica* und *Littorella uniflora* gelegt. Zahlreiche der hier dargestellten Untersuchungen entstammen einer in Arbeit befindlichen Dissertation von H. JOHN zur Ökologie von *Coleanthus subtilis*.

## 2. Kurzcharakterisierung der ausgewählten Arten

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden *Limosella aquatica* und *Coleanthus subtilis* als typische Vertreter der Zwergbinsengesellschaften der Bergwerksteiche des Freiburger Raumes und *Littorella uniflora* als Vertreter der Strandlingsgesellschaften ausgewählt. Alle drei Arten kommen regelmäßig in den Freiburger Bergwerksteichen vor (BALDAUF 2001).

Die beiden Arten der Zwergbinsengesellschaften besiedeln die tiefer gelegenen, schlammigen Substrate, die i. d. R. nur trocken fallen, wenn der Wasserstand in größerem Maße absinkt. Sie können dann in wenigen Wochen ihren Lebenszyklus von der Keimung bis zur Samenreife durchlaufen (u. a. SALISBURY 1970, VON LAMPE 1996). *Littorella uniflora* kommt in den Bergwerksteichen auf den ufernahen, sandig-kiesigen Substraten vor (SIELAND et al. 2008), die auch bei jahreszeitlich bedingten, kleineren Wasserstandsschwankungen trocken fallen können. Nur bei Trockenfallen des Substrates ist eine Blütenbildung möglich.

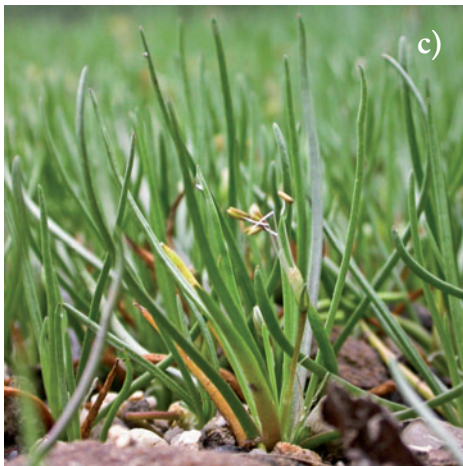


Abb. 1: a) *Coleanthus subtilis*;  
b) *Limosella aquatica*; c) *Littorella uniflora*.  
Fig. 1: a) *Coleanthus subtilis*;  
b) *Limosella aquatica*; c) *Littorella uniflora*.

Tabelle 1: Kurzcharakteristik der ausgewählten Arten

Table 1: Brief characterisation of study species

Als generative Diaspore werden bei *Coleanthus subtilis* die Karyopsen, bei *Limosella aquatica* die Samen und bei *Littorella uniflora* die Früchte verstanden.

- <sup>1)</sup> eigene Beobachtungen bzw. Messungen; <sup>2)</sup> HEJNÝ (1969); <sup>3)</sup> VON LAMPE (1996); <sup>4)</sup> SALISBURY (1967); <sup>5)</sup> ARTS & VAN DER HEIJDEN (1990); <sup>6)</sup> BEIJERINCK (1947); <sup>7)</sup> KLOTZ et al. (2002); <sup>8)</sup> KLEYER et al. (2008); <sup>9)</sup> KERNER VON MARILAUN (1898); <sup>10)</sup> MELCHER et al. (1999); <sup>11)</sup> KOVAR (1923), zitiert in HEJNÝ (1969); <sup>12)</sup> POSCHLOD et al. (1996)

Diasporenparameter	<i>Coleanthus subtilis</i>	<i>Limosella aquatica</i>	<i>Littorella uniflora</i>
Produktion pro Pflanze	70 bis 2.700 Samen <sup>2)</sup>	3.600 Samen <sup>4)</sup>	maximal 20 einsamige Früchte <sup>5)</sup>
Produktion	pro Blütenstand 30 bis 160 <sup>3)</sup>	pro Kapsel 90 bis 110 <sup>3)</sup>	
Struktur (nach <sup>1)</sup> und <sup>6)</sup> )	eiförmig zylindrisch, Oberfläche wabenförmig rau, häufig sich mit Deck- und Vorspelze lösend	ausgeprägte Längsrippen, leicht wulstige Querrippen	wellig, teilweise sich mit Perianth und vollständigem Griffel lösend
Maße [mm]	0,9*0,25 <sup>3)</sup>	0,55*0,28 <sup>3)</sup> , auch <sup>7)</sup>	2,5*1,25 <sup>1)</sup> (nach <sup>7)</sup> Länge=2,0 mm)
Gewicht [mg] <sup>8)</sup>	0,027-0,046	0,011-0,020	0,735-0,914
Schwimmfähigkeit	100% > 10 Tage <sup>3)</sup>	63% > 10 Tage <sup>3)</sup>	keine Informationen verfügbar <sup>8)</sup>
Ausbreitungsstrategie:			
generativ	Ornithochorie, Hydrochorie <sup>2)</sup> klebrige Samenoberfläche nach Eintauchen in Wasser könnte Ornithochorie begünstigen <sup>2)</sup> , ebenso die steifen Borsten an Deckspelze und Ährchenästchen	Ornithochorie mittels an Vögeln haftendem Schlamm <sup>9)</sup> Hydrochorie (nautochor) <sup>8)</sup> Rippen der Samenoberfläche begünstigen Anhaften von Luftblasen und damit Hydrochorie <sup>10)</sup>	keine gesicherten Informationen verfügbar
vegetativ	—	Ausläuferbildung, sowohl in submerser als auch terrestrischer Form <sup>3)</sup>	Ausläuferbildung, sowohl in submerser als auch terrestrischer Form <sup>5), 7)</sup>
Diasporenbank	> 20 Jahre <sup>11)</sup>	dauerhaft, mehrere Jahrzehnte <sup>12)</sup>	ausdauernd, > 50 Jahre <sup>5)</sup>

Von den drei niedrigwüchsigen Arten vermehrt sich *Coleanthus subtilis* ausschließlich generativ, wohingegen sich *Limosella aquatica* und *Littorella uniflora* auch vegetativ über Ausläufer ausbreiten und reproduzieren (Tabelle 1). Die Diasporenproduktion der Arten unterscheidet sich ebenfalls deutlich: Während *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* sehr viele Samen produzieren können, ist die Anzahl bei *Littorella uniflora* deutlich geringer. Letztere Art weist insgesamt die größten und schwersten Diasporen auf. Über den Erhalt der Keimfähigkeit der Diasporen in der Diasporenbank liegen nur sehr wenige Informationen vor. Die verfügbaren Angaben in der Literatur (Tabelle 1) basieren offensichtlich überwiegend auf der Kenntnis der besiedelten Lebensräume.

Auch zur Ausbreitungsstrategie der Arten (hydrochor, ornithochor) liegen nur wenige Nachweise vor: So wies KERNER VON MARILAUN (1898) in an Vögeln haftendem Schlamm Diasporen von Arten der Zwergbinsengesellschaften nach, was auf eine ornithochore Ausbreitung hinweist. HEJNÝ (1969) und VON LAMPE (1996) schließen aufgrund ihrer Untersuchungen zur Schwimmfähigkeit der Diasporen von *Coleanthus subtilis* bzw. *Limosella aquatica* dagegen auf eine hydrochore Ausbreitung (vgl. KLEYER et al. 2008). Bezüglich der Ausbreitung von generativen Diasporen von *Littorella uniflora* liegen bisher keine gesicherten Angaben vor (Tabelle 1). Als einzig gesicherter Ausbreitungsmechanismus für diese Art kann die Selbstaussbreitung über Ausläufer gelten (ARTS & VAN DER HEIJDEN 1990), was im Untersuchungsgebiet Erzgebirge zu dichten Beständen führt.

### 3. Das untersuchte Gewässer- und Kunstgrabensystem

Das Landschaftsbild des Erzgebirges ist wesentlich durch den historischen Bergbau geprägt. Heute noch voll funktionsfähig ist das ab dem frühen 16. Jahrhundert gebaute Kunstgraben- und Röschensystem, welches zum Zwecke der Wasserhaltung angelegte Teiche miteinander verbindet (Abb. 2). Das Ziel war es, Bergwerks- und Hüttenanlagen der tiefer gelegenen Regionen Aufschlagwasser für den Antrieb von verschiedenen Maschinen zur Verfügung zu stellen. Das System erstreckt sich von Cämmerswalde in den Kammlagen des Erzgebirges (ca. 800 m üNN) bis zur etwa 30 km nördlich gelegenen Bergstadt Freiberg in den unteren Lagen (400 m üNN) (JOHN 2007).

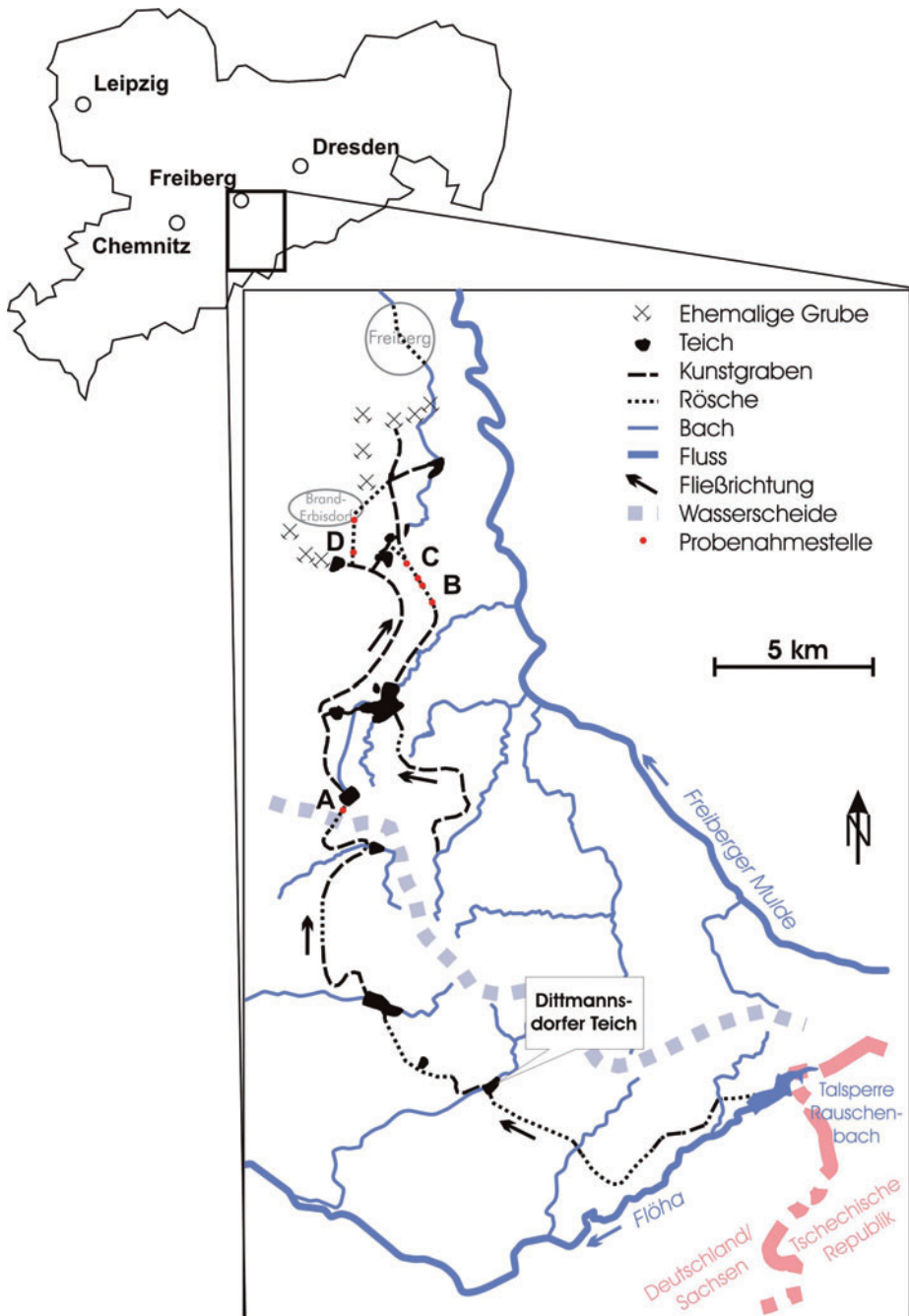


Abb. 2: Lage der untersuchten Gewässer in Sachsen und Übersicht mit den Bergwerksteichen und dem Kunstgraben- und Röschensystem (in Anlehnung an WAGENBRETH & WÄCHTLER 1988) sowie den Probenahmestellen zur Entnahme von Sedimenten (A Obersaidaer Rösche, B Mendenrösche, C Müdisdorfer Rösche, D Verbindungsrösche).

Fig. 2: Location of the investigated water bodies in Saxony and overview of the ponds, ditches and trenches (modified from WAGENBRETH & WÄCHTLER 1988) as well as sediment sampling points (A Obersaida trench, B Menden trench, C Müdisdorf trench, D connection trench).



Abb. 3a): Mit Holzbohlen abgedeckter Bereich eines Kunstgrabens, im Hintergrund Mundloch in eine Rösche (Foto: H. John); b) Rösche mit Sedimentprobenahmestelle (Foto: J. Kugler).  
 Fig. 3a): Covered ditch with the mouth of a trench in the background (Photo H. John); b) trench with sediment sampling point (Photo: J. Kugler).

Die angelegten Bergwerksteiche haben ein Speichervolumen von insgesamt 5,7 Mio. m<sup>3</sup>. Die künstlichen Wasserläufe zogen sich auf insgesamt 163 km Länge durch die Bergbaulandschaft (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1988). Heute werden noch etwa 50 km Kunstgräben, die zum großen Teil abgedeckt sind (Abb. 3), und etwa 20 km Röschen zur Trink- und Brauchwasserleitung genutzt (LTV 2009). Als Röschen werden Untertage geführte, häufig mehrere hundert Meter lange Stollen zur Wasserleitung (Abb. 3b) bezeichnet, die in dem Kunstgrabensystem zur Überwindung von Hindernissen und Höhen angelegt wurden. Das Gefälle der Kunstgräben und Röschen ist zum Teil sehr gering und die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit beträgt bei Normalbetrieb etwa 0,5 m/s. Sie erhöht sich nur in Ausnahmefällen, wie z. B. Hochwasserereignissen, wesentlich.

Der Dittmannsdorfer Teich (Abb. 2), aus dem das Pflanzenmaterial für die vorliegende Studie gewonnen wurde, wurde von 1824 bis 1826 erbaut. Er ist durch einen 10,9 m hohen Erdschüttdamm begrenzt (SIEBER 1992), hat einen maximalen Stauinhalt von 0,420 Mio m<sup>3</sup> (JOHN 2007) und wird von einem kleinen Fließgewässer durchströmt. Ein Kunstgraben, ausgehend von der Talsperre Rauschenbach, umfließt den Dittmannsdorfer Teich und führt ihm nur bei extremen Niederschlägen Wasser zu. Die für die vorliegenden Untersuchungen erforderliche Wasserstandsabsenkung erfolgte am Dittmannsdorfer Teich von April bis Juli 2007. Als Folge entwickelte sich auf den trocken gefallen Flächen eine Teichbodenvegetation mit *Limosella aquatica*, *Coleanthus subtilis* und *Littorella uniflora* als typische Vertreter. Das Vorkommen dieser Arten im Dittmannsdorfer Teich ist bereits seit 1929 bekannt (UHLIG 1939).

## 4. Methoden

Die Artbestimmung von generativen Diasporen erfolgte für alle Experimente und Untersuchungen mit BEIJERINCK (1947), HANF (1999), MARTIN & BARKLEY (2000), CAPPERS et al. (2006), BOJNANSKY & FARGASOVA (2007) sowie einer institutseigenen Samensammlung.

Die Nomenklatur der Arten richtet sich nach WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998). Die syntaxonomische Einordnung folgt PIETSCH (1973 und 1977).

### 4.1. Überstauungsversuche

Die Überstauungsversuche sollten klären, wie viele Diasporen bei Anstieg des Wasserspiegels in den Wasserkörper bzw. auf die Wasseroberfläche gelangen und inwieweit sie damit zur hydrochoren Ausbreitung beitragen können. Für die Versuche wurden vier Aquarien mit einem Fassungsvermögen von je 5 Liter und den Abmessungen 30 cm \* 10 cm \* 15 cm (L\*B\*H) verwendet. Drei Aquarien wurden für Soden mit Arten der *Isoëto-Nanojuncetea*, in denen *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* mit zahlreichen Individuen vertreten waren, und eines für *Littorella uniflora* eingesetzt.

In die Aquarien mit *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* wurde eine etwa 1 cm hohe Schicht aus Aquarienkies eingebracht, um einen möglichst gleichmäßigen Anstau zu gewährleisten. Auf diese Kiesschicht wurde Gaze gelegt. Die etwa 5 cm hohen Soden mit *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* wurden am 09.06.2007 vor Wiederanstau des Dittmannsdorfer Teiches aus dem Teichboden gestochen und direkt in die vorbereiteten Aquarien überführt. Diese wurden anschließend mit Gießrohren aus Plastik versehen, die bis in die Drainageschicht reichten, um einen Anstau von unten her zu ermöglichen. *Littorella uniflora* wuchs im Dittmannsdorfer Teich nur auf kiesigen Standorten, so dass keine Soden gestochen werden konnten, sondern einzelne Individuen ausgegraben und anschließend in ein Aquarium eingesetzt wurden. Auf Gaze, Drainageschicht sowie Gießrohr wurde aufgrund des kiesigen Substrates verzichtet.

Die Pflanzen in den Aquarien wurden bis zum Beginn des Anstaus am 11.07.2007 im Labor kultiviert und regelmäßig gegossen. Die Überstauung erfolgte schrittweise: Nachdem zunächst das Sediment aufgesättigt wurde, wurden die Aquarien nach 24 Stunden bis zur Hälfte mit Wasser befüllt. Nach weiteren 6 Stunden wurden sie schließlich vollständig überstaut, so dass über den Pflanzen eine etwa 5 cm hohe Wassersäule stand. Der Überstau und der Ersatz von verdunstetem Wasser erfolgten mit entionisiertem Wasser, um einer raschen Veralkung vorzubeugen. Im Falle von schwimmenden Fruchtständen (Rispenästen) von *Coleanthus subtilis*, bei denen eine genaue Zählung der Diasporen nicht möglich war, wurden die Diasporenanzahlen basierend auf VON LAMPE (1996) mit im Mittel 12 Diasporen pro Rispenast angenommen. Bei *Limosella aquatica* wurde die Anzahl der Diasporen pro schwimmendem Aggregat auf 30 Stück geschätzt.

#### 4.2. Schwimm-Sink-Versuche

Die Schwimm-Sink-Versuche mit Diasporen von *Limosella aquatica*, *Coleanthus subtilis* und *Littorella uniflora* wurden in Anlehnung an DANVIND & NILSSON (1997) und VAN DEN BROEK et al. (2005) durchgeführt. Die erforderlichen Diasporen wurden am 30.06.2007 an voll entwickelten Pflanzen mit reifen Samen bzw. Früchten im abgesenkten Dittmannsdorfer Teich gewonnen (MEISNER 2010). Von *Littorella uniflora* stand darüber hinaus von im Labor kultivierten Pflanzen frisches Diasporenmateriale zur Verfügung. Es wurden von jeder Art jeweils 50 Diasporen auf die Wasseroberfläche von Bechergläsern aufgestreut, die zum Schutz mit einer farblosen, das natürliche Lichtspektrum nicht verändernden Folie abgedeckt wurden (vgl. BOEDELTEJE et al. 2003). Für jede Art wurden 4 bzw. 5 Wiederholungen angesetzt. Um natürliche Wellenbewegungen zu simulieren und um am Gefäßrand haftende Diasporen zu lösen, wurde die Wassersäule durch gleichmäßiges Rühren mit einem Glasstab (zehn 8-förmige Bewegungen) vor jeder Erfassung gestört. Nach Beruhigung der Wasseroberfläche wurden die gesunkenen Diasporen gezählt und anschließend mit einer Pipette aus dem Becherglas entfernt (vgl. VAN DEN BROEK et al. 2005). Die Anzahl schwimmender Diasporen auf der Wasseroberfläche wurden bis zum 30. Versuchstag täglich, danach in größeren Zeitabständen kontrolliert (vgl. DANVIND & NILSSON 1997).

#### 4.3. Diasporenfänge im Wasserkörper und auf der Gewässeroberfläche

Voraussetzung für eine hydrochore Ausbreitung ist, dass die Diasporen im bzw. auf dem Wasser schwimmen. 2007 bot der Dittmannsdorfer Teich die Gelegenheit, die Anzahl und den zeitlichen Verlauf der auf der Wasseroberfläche und im Wasserkörper schwimmenden Diasporen der Teichbodenvegetation zu dokumentieren. Zu jedem der insgesamt 13 Probenahmeterminen wurden an einem bzw. zwei Standorten Kescherproben mit einem Planktonnetz (Maschenweite 80 µm) aus der Wassersäule des Teiches, sowie von der Wasseroberfläche mit den obersten Wasserschichten entnommen (MEISNER 2010). Da der Teich nur teilentleert wurde, konnten die ersten Beprobungen bereits vor dem Wiederanstau erfolgen, um eventuell durch Verwehungen oder durch Vögel eingetragene Diasporen nachzuweisen. Im Verlauf der Untersuchungen musste die Lage der Probenahmestellen aufgrund des steigenden Wasserspiegels und der damit einhergehenden Unzugänglichkeit weiter in Richtung Ufer verlegt werden. Das trichterförmige Netz mit einem Probegefäß (20 ml) am spitz zulaufenden Ende wurde jeweils etwa einen Meter vor und zurück durch das Wasser gezogen. Das gesamte Probevolumen wurde im Labor in eine Petrischale gegeben und unter dem Stereomikroskop bei 7- bis 30-facher Vergrößerung nach Diasporen durchsucht.

#### 4.4. Analyse der Samenbank im Kunstgraben- und Röschensystem

Um zu analysieren, ob Diasporen aus den Teichen ausgetragen werden und welche Entfernungen auf hydrochorem Weg zurückgelegt werden können, wurden 2007 Diasporenbankanalysen mit Sediment des Kunstgraben- und Röschensystems durchgeführt. Oberhalb der ausgewählten Probenahmestellen

(Abb. 2) befinden sich ausnahmslos Gewässer, für die das Vorkommen von Arten der Teichbodenvegetation bekannt war (BALDAUF 2001, GOLDE 2007). Aus dem entnommenen Sediment (etwa 200–500 ml), welches je nach Probenahmestelle unterschiedliche Wassergehalte aufwies, wurde im Labor eine homogene Suspension hergestellt. Von dieser wurden jeweils 50 ml entnommen, in einen Messzylinder überführt und die Feststoffe absedimentiert. Anschließend konnte das Feststoffvolumen am Messzylinder abgelesen werden. Dieses Volumen diente der späteren Hochrechnung der Samenanzahl auf ein einheitliches Sedimentvolumen.

Im nächsten Arbeitsschritt wurde die komplette Teilprobe dem Siebspülverfahren in Anlehnung an BERNHARDT (1993) unterzogen. Nach Lufttrocknung der jeweiligen Siebfractionen erfolgte das Durchsuchen nach Samen bzw. Früchten unter dem Stereomikroskop bei 30-facher Vergrößerung.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Überstauungsversuche

An den ersten beiden Tagen nach dem Überstau der Pflanzen in den Versuchsaquarien konnten auf der Wasseroberfläche zwar Diasporen beobachtet werden, aufgrund zahlreicher aufgespülter Substratpartikel und trüben Wassers war allerdings ein exaktes Auszählen nicht möglich. Am 3. Tag konnten von *Limosella aquatica* 123 schwimmende Diasporen nachgewiesen werden, deren Anzahl im Verlauf der nächsten 7 Tage stark abnahm, indem insbesondere Konglomerate von jeweils etwa 30 Diasporen absanken (Abb. 4). Die Anzahl schwimmender Diasporen von *Coleanthus subtilis* war dagegen deutlich niedriger, allerdings konnten über 3 Wochen hinweg schwimmende Diasporen nachgewiesen werden. Von *Littorella uniflora* wurden an der Wasseroberfläche keine Früchte gefunden, obwohl zahlreiche reife Früchte an den überstauten Pflanzen ausgebildet waren.

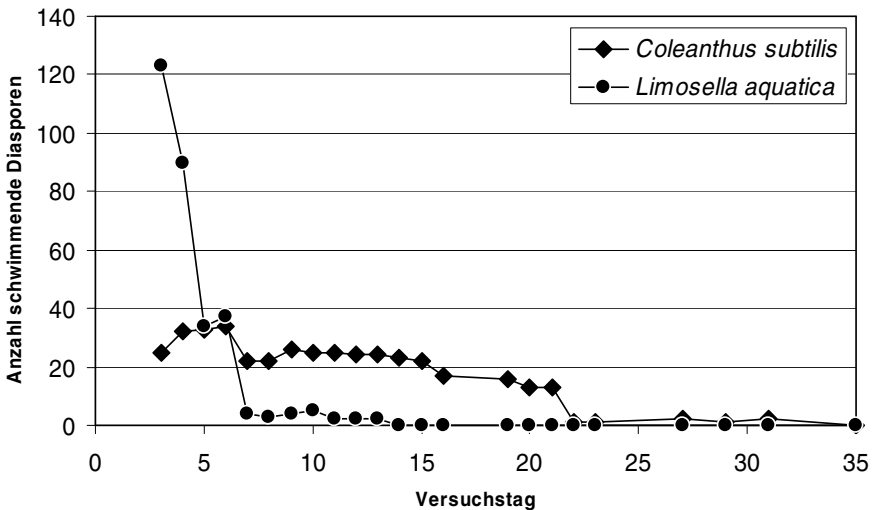


Abb. 4: Anzahl an der Wasseroberfläche schwimmender Diasporen (summiert über 3 Aquarien) der Überstauungsversuche in Abhängigkeit von der Versuchsdauer. *Littorella uniflora* wies keine schwimmenden Diasporen auf.

Fig 4: Number of floating diaspores (sum of three aquaria) in flooding experiments as a function of experiment duration (in days). For *Littorella uniflora* no floating seeds could be detected.

### 5.2. Schwimm-Sink-Versuche

Bei den Schwimm-Sink-Versuchen sanken die schwimmenden Diasporen von *Coleanthus subtilis* über die Gesamtdauer des Versuches mit 0,09 Diasporen pro Tag überwiegend kontinuierlich ab, und nach 365 Tagen befanden sich im Mittel noch 16 Diasporen an der Wasseroberfläche der Bechergläser (Abb. 5). Die größeren Sprünge in der Grafik sind überwiegend auf das Absinken von Konglomeraten zurückzuführen.



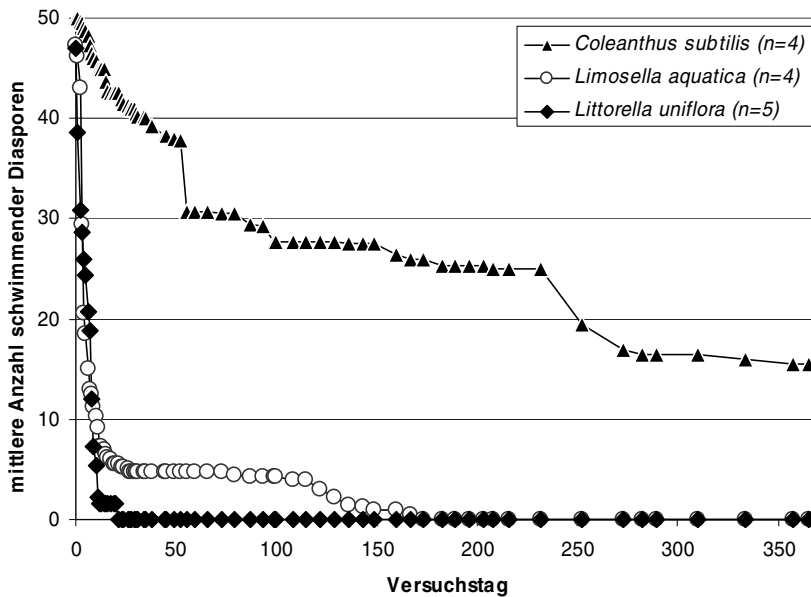


Abb. 5: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Versuche: Mittlere Anzahl schwimmender Diasporen in Abhängigkeit von der Versuchsdauer. n = Anzahl Parallelversuche.

Fig. 5: Results of the buoyancy experiments: Mean numbers of floating diaspores as a function of experiment duration (in days). n = number of replicates.

Von *Limosella aquatica* und *Littorella uniflora* nahm die Anzahl schwimmender Diasporen an der Wasseroberfläche bereits in den ersten 11 Tagen stark ab. Für *Limosella aquatica* waren in diesem Zeitraum bereits 41 und für *Littorella uniflora* 48 Diasporen abgesunken (3,7 bzw. 4,4 Samen/Tag). Bis zum 115. Tag sanken von den von *Limosella aquatica* verbliebenen schwimmenden Diasporen nur sehr vereinzelt weitere ab, bis am 173. Tag keine Diasporen mehr auf der Wasseroberfläche nachweisbar waren. Die von *Littorella uniflora* nach dem 11. Versuchstag noch verbliebenen 2 Früchte auf der Wasseroberfläche konnten am 23. Versuchstag nicht mehr schwimmend nachgewiesen werden. Eine Kruskal-Wallis-Analyse zum Vergleich der drei Arten ergab, dass sich bereits am 3. Versuchstag die mittlere Anzahl schwimmender Diasporen signifikant unterscheidet (p-Wert = 0,0204).

### 5.3. Diasporennachweise im Wasserkörper und auf der Wasseroberfläche

Die Beprobung des Wasserkörpers des Dittmannsdorfer Teiches erfolgte vom 26.06.2007 bis zum 04.09.2007 in wöchentlichem Rhythmus, so dass 13 Probetermine vorlagen (Tabellen 2 und 3). Auf der Wasseroberfläche des teilentleerten Teiches konnten vor dem Wiederanstau an den 3 Probeterminen im verbliebenen Wasserkörper keine Diasporen der Arten der Teichbodenvegetation nachgewiesen werden (Tabelle 2). Erst nach Beginn des Wiederanstaus gelangen über 7 Wochen hinweg an allen Probeterminen zahlreiche Diasporenfänge verschiedener Arten.

Im Vergleich zur Wasseroberfläche mit insgesamt 303 nachgewiesenen Diasporen wurden im Wasserkörper mit 48 Diasporen deutlich weniger Diasporen gefunden (Tabelle 3). Insgesamt am häufigsten wurden Diasporen von *Rorippa palustris* (264 Diasporen), einem steten Begleiter in der Teichbodenvegetation, auf der Wasseroberfläche nachgewiesen. *Limosella aquatica* konnte im Vergleich dazu mit 3 Diasporen eher selten, *Coleanthus subtilis* und *Littorella uniflora* gar nicht belegt werden. Während Diasporen von *Limosella aquatica* nur auf der Wasseroberfläche nachgewiesen werden konnten, gelang ein Nachweis von *Juncus bufonius*-Diasporen nur im Wasserkörper.

Tabelle 2: Anzahl nachgewiesener Diasporen der Charakterarten (Ch) und Begleiter (B) der Zwergbinsengesellschaften auf der Wasseroberfläche des Dittmansdorfer Teiches (2007)

Bei Beprobung von zwei Probenahmestellen ist der Mittelwert angegeben.

Table 2: Number of diaspores of character species (Ch) and satellite species (B) of dwarf rush pond-bottom communities on the water surface of Dittmansdorfer pond (2007)

If two sites were sampled, the mean is presented.

Anzahl Probestellen (n)	teilentleert			Wiederanstauphase					Vollstau					Summe
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1		
Art	26.06.	30.06.	05.07.	11.07.	17.07.	23.07.	30.07.	02.08.	07.08.	13.08.	20.08.	24.08.	04.09.	
<i>Alopecurus aequalis</i> (B)	.	.	.	.	.	.	0,5	1,0	1,0	1,0	.	.	.	3,5
<i>Eleocharis acicularis</i> (Ch)	.	.	.	1,5	0,5	.	.	.	.	.	.	.	.	2,0
<i>Gnaphalium uliginosum</i> (Ch)	.	.	.	7,5	2,0	0,5	.	.	9,0	.	.	.	.	19,0
<i>Limosella aquatica</i> (Ch)	.	.	.	.	.	.	.	.	3,0	.	.	.	.	3,0
<i>Persicaria lapathifolia</i> (B)	.	.	.	3,0	0,5	2,0	0,5	.	4,0	2,0	.	.	.	12,0
<i>Rorippa palustris</i> (B)	.	.	.	.	.	1,5	3,0	5,0	171,0	60,0	.	.	23,0	263,5
Summe	0,0	0,0	0,0	12,0	3,0	4,0	4,0	6,0	188,0	63,0	0,0	0,0	23,0	303,0

Tabelle 3: Anzahl nachgewiesener Diasporen der Charakterarten (Ch) und Begleiter (B) der Zwergbinsengesellschaften im Wasserkörper des Dittmansdorfer Teiches (2007)

Bei Beprobung von zwei Probenahmestellen ist der Mittelwert angegeben.

Table 3: Number of diaspores of character species (Ch) and satellite species (B) of dwarf rush pond-bottom communities in the water body of Dittmansdorfer pond (2007)

If two sites were sampled, the mean is presented.

Anzahl Probestellen (n)	teilentleert			Wiederanstauphase					Vollstau					Summe
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1		
Art	26.06.	30.06.	05.07.	11.07.	17.07.	23.07.	30.07.	02.08.	07.08.	13.08.	20.08.	24.08.	04.09.	
<i>Alopecurus aequalis</i> (B)	.	.	.	.	1,0	.	.	.	.	11,0	.	.	.	12,0
<i>Eleocharis acicularis</i> (Ch)	.	.	.	0,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,5
<i>Gnaphalium uliginosum</i> (Ch)	.	.	.	0,5	5,5	0,5	.	.	.	.	.	.	.	6,5
<i>Juncus bufonius</i> (Ch)	.	.	.	.	0,5	.	.	.	.	.	.	.	.	0,5
<i>Persicaria lapathifolia</i> (B)	.	.	.	.	3,0	0,5	.	.	.	.	.	.	.	3,5
<i>Rorippa palustris</i> (B)	.	.	.	.	.	.	0,5	.	9,0	15,0	.	.	.	24,5
Summe	0,0	0,0	0,0	1,0	9,5	1,0	0,5	0,0	9,0	26,0	0,0	0,0	0,0	47,5

Tabelle 4: Anzahl nachgewiesener Diasporen von Arten der Teichbodenvegetation in Sedimentproben aus zwei Röschen sowie die Anzahl an Diasporen hochgerechnet auf 1 Liter wassergesättigtes Sediment (Ch = Charakterart, B = hochstete Begleitart der Zwergbinsengesellschaften).

Table 4: Number of diaspores of species of the pond-bottom vegetation in the sediments of two trenches and the number of diaspores extrapolated to 1 liter of water-saturated sediment (Ch = character species, B = satellite species of dwarf rush pond-bottom communities).

Art	Müdisdorfer Rösche		Verbindungsrosche	
	Nachweise	in 1 L	Nachweise	in 1 L
<i>Coleanthus subtilis</i> (Ch)	0	0	1	40
<i>Elatine hydropiper</i> (Ch)	1	43	0	0
<i>Elatine triandra</i> (Ch)	0	0	4	123
<i>Eleocharis acicularis</i> (Ch)	1	50	1	31
<i>Gnaphalium uliginosum</i> (Ch)	0	0	2	80
<i>Gypsophila muralis</i> (Ch)	0	0	4	123
<i>Hypericum humifusum</i> (Ch)	0	0	2	71
<i>Juncus bufonius</i> (Ch)	6	274	11	366
<i>Limosella aquatica</i> (Ch)	1	43	8	246
<i>Persicaria cf. lapathifolia</i> (B)	0	0	1	40
Summe pro Rösche	9	410	34	1120

## 5.4. Diasporenbank im Kunstgraben- und Röschensystem

Aus den 7 Sedimentproben aus den Kunstgräben und Röschen konnten insgesamt 43 Diasporen von mehreren Arten der Teichbodenvegetation belegt werden (Tabelle 4). Alle Nachweise stammen aus der Müdisdorfer Rösche und der Verbindungsrösche (Abb. 2, Röschen C und D), für die im Gewässersystem weiter oberhalb liegenden Probenahmestellen gelang dagegen kein Nachweis von Diasporen dieser Arten. Für *Limosella aquatica* gelang insgesamt der Nachweis von 9 Diasporen. Ebenso wie der eine von *Coleanthus subtilis* nachgewiesene Same stammen 8 Diasporen von *Limosella aquatica* aus der Verbindungsrösche. Basierend auf diesen Ergebnissen, kann für die Müdisdorfer Rösche eine Dichte von 410 Diasporen pro Liter Sediment und für die Verbindungsrösche von 1120 Diasporen pro Liter Sediment hochgerechnet werden.

## 6. Diskussion

### 6.1. Schwimmfähigkeit und hydrochore Ausbreitung der Diasporen der drei untersuchten Arten

Eine lange Schwimmfähigkeit von Diasporen ist nach BOEDELTE et al. (2004) Voraussetzung für eine hydrochore Ausbreitung. Sowohl die Überstauungsversuche (Abb. 4) als auch die Schwimm-Sink-Versuche (Abb. 5) lassen für die leichten Diasporen (Tabelle 1) von *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* auf eine lang anhaltende Schwimmfähigkeit schließen, wobei die Diasporen von *Coleanthus subtilis* in beiden Laborexperimenten etwas länger schwammen. Bei den Überstauungsversuchen konnten von beiden Arten über 3 bzw. 2 Wochen hinweg Diasporen auf der Wasseroberfläche nachgewiesen werden. Dies ist ein etwas kürzerer Zeitraum, als zumindest von *Limosella aquatica* und anderen Arten Diasporen auf der Wasseroberfläche des Dittmannsdorfer Teiches nach Wiederanstau nachgewiesen werden konnten (Tabelle 2). Die Schwimm-Sink-Versuche im Labor zeigten, dass die Diasporen von *Coleanthus subtilis* in der Lage sind, über 365 Tage auf der Wasseroberfläche zu schwimmen. Anschließend Keimungsversuche im Gewächshaus ergaben Keimraten um die 80 %. Da für die Keimung nach HEJNÝ (1969) und VON LAMPE (1996) für diese Art eine Temperaturdifferenz von 20 K erforderlich ist, blieb ein frühzeitiges Auskeimen der schwimmenden Diasporen im konstant temperierten Labor aus und ist auch unter Freilandbedingungen während eines hydrochoren Transportes unwahrscheinlich. Ein zu den eigenen Versuchen vergleichbar ausdauerndes Schwimmvermögen der Diasporen ist bisher weder für *Coleanthus subtilis* noch für *Limosella aquatica* von anderen Autoren belegt (Tabelle 1, KLEYER et al. 2008), wobei VON LAMPE (1996) ihre Versuche zur Schwimmfähigkeit auf 10 Tage beschränkte und HEJNÝ (1969) keine Angaben macht, nach welcher Zeit alle Diasporen gesunken waren.

Bei den Kescherproben im Dittmannsdorfer Teich konnten über 7 Wochen Diasporen im Wasserkörper bzw. auf der Wasseroberfläche nachgewiesen werden (Ausnahme *Rorippa palustris*: 10 Wochen; Tabellen 2 und 3). Die Beprobung des aufgrund der Teilentleerung verbliebenen Wasserkörpers vor Wiederanstau ergab keinen Diasporennachweis. Dies deutet darauf hin, dass die Diasporen der Arten der Teichbodenvegetation weder über Wind noch über Vögel (z. B. Enten, Schwäne) in größeren Mengen ausgetragen wurden. Von *Coleanthus subtilis* wurden auch in der Wiederanstauphase keine Diasporen nachgewiesen. Dies könnte daran liegen, dass zum Zeitpunkt der Probenahme die von *Coleanthus subtilis* besiedelten Flächen bereits zu tief unter Wasser lagen und eine Probenahme in Nähe dieser Flächen nicht möglich war. Die Probenahmestellen lagen daher etwa 30 m von den Hauptverbreitungsflächen der Art entfernt, so dass die Diasporendichte im Wasser für einen Nachweis zu gering gewesen sein könnte.

Für das Schwimmvermögen der Diasporen ist die Anheftung von Luftbläschen von großer Bedeutung: Die Diasporen von *Coleanthus subtilis* lösen sich in der Regel gemeinsam mit der Spelze von der Elternpflanze, und zwischen Samen und Spelze können sich Luftbläschen halten, wie bei eigenen Versuchen beobachtet wurde. HEJNÝ (1969) stellte für *Coleanthus*

*subtilis* bei Schwimm-Sink-Versuchen fest, dass nackte Samen innerhalb von 6 Stunden komplett absanken, wohingegen 50% der mit Spelze versehenen Samen immerhin 2 Tage und der Rest der Samen teilweise über 1 Woche schwamm. Auch für *Limosella aquatica* ist das Anhaften von Luftbläschen an den Samen bekannt, was durch die auf der Samenoberfläche vorhandenen Rippen (s. SALISBURY 1967) begünstigt wird (MELCHER et al. 2010).

Auch wenn keine Diasporen von *Coleanthus subtilis* durch die Kescherfänge im Wasserkörper nachgewiesen werden konnten, belegt der Nachweis von Diasporen im Sediment der Röschen (Tabelle 4), dass Diasporen hydrochor transportiert werden. Die in der Verbindungsrösche nachgewiesenen Diasporen stammen mit hoher Wahrscheinlichkeit aus dem Oberen Großhartmannsdorfer Teich. Dieses Gewässer wies in der Vergangenheit aufgrund von Wasserstandsabsenkungen regelmäßig große Bestände von *Coleanthus subtilis* auf (BALDAUF 2001, JOHN et al. 2010a) und stellt die nächste potenzielle Samenquelle dar. Bis zur Probenahmestelle in der Verbindungsrösche müssen die Diasporen somit mindestens 14 km hydrochor transportiert worden sein. Die gleiche Entfernung müssen die ebenfalls an diesem Standort nachgewiesenen Diasporen von *Limosella aquatica* zurückgelegt haben (Tabelle 4). Die Diasporen aus der Müdisdorfer Rösche stammen von 3 Probenahmestellen, deren wahrscheinliche Eintragsquelle der ebenfalls regelmäßig mit Arten der Teichbodenvegetation besiedelte Großhartmannsdorfer Großteich ist. In diesem Fall legten die Diasporen eine Entfernung zwischen 4 bis knapp 6 km zurück. Da die in die Untersuchung einbezogenen Kunstgräben durchgehend abgedeckt sind, kann ein Fremdeintrag von Diasporen über Wind oder Vögel ausgeschlossen werden.

Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass für *Limosella aquatica* und *Coleanthus subtilis* ein ähnlich lang anhaltendes Schwimmvermögen der Diasporen angenommen werden kann, und dass diese auf hydrochorem Weg im Kunstgraben- und Röschensystem des Erzgebirges Entfernungen von mehreren Kilometern zurücklegen können. Dabei wird wahrscheinlich aufgrund der strömungsbedingten unruhigen Wasseroberfläche im Kunstgrabensystem der geringste Anteil an Diasporen auf der Oberfläche schwimmend transportiert.

Für *Littorella uniflora* kann aufgrund der Ergebnisse der Laborexperimente auf eine eingeschränkte Schwimmfähigkeit der vergleichsweise schweren Früchte (vgl. Tabelle 1) geschlossen werden. Bei den Überstauungsversuchen stieg keine Frucht dieser Art an die Wasseroberfläche auf (Abb. 4) und bei den Schwimm-Sink-Versuchen sanken die Früchte am schnellsten komplett ab (Abb. 5). Für diese Art gelang auch weder im Wasserkörper des Dittmannsdorfer Teiches, an dessen Uferbereichen sie regelmäßig in größeren Beständen vorkam, noch im Röschensystem (Tabelle 4) der Nachweis von Früchten, so dass alle Ergebnisse darauf hinweisen, dass Hydrochorie als Ausbreitungsmechanismus für diese Art zumindest über größere Entfernungen keine Rolle spielt.

## 6.2. Vergleich der drei ausgewählten Arten hinsichtlich ihrer Ausbreitungsstrategie

Die beiden annuellen Pionierarten *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* kommen häufig vergesellschaftet auf den periodisch trocken liegenden schlammigen Substraten der erzgebirgischen Bergwerksteiche vor und zeigen Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Ausbreitungsstrategie: Sie produzieren innerhalb kurzer Zeit extrem viele Diasporen (Tabelle 1), die teilweise in der Nähe der Elternpflanzen zu liegen kommen, aber auch lange auf der Wasseroberfläche schwimmen können und daher auf hydrochorem Weg über mehrere kilometerlange Strecken transportiert werden können (Kap. 5.4.), um neue Lebensräume zu erschließen. Die hohe Samenproduktion, die vergleichsweise guten Keimraten und eine vermutlich ausdauernde Diasporenbank (Tabelle 1) haben es diesen beiden Arten ermöglicht, große Teile der vernetzten Bergwerksteiche des Erzgebirges zu besiedeln und sich auch bei seltenerem Trockenfallen über Jahrzehnte hinweg an diesen Standorten immer wieder zu entwickeln (GOLDE 2007).

Dass zahlreiche Diasporen in Nähe der Elternpflanzen verbleiben, belegen eigene Diasporenbankanalysen, bei denen in der Nähe von ehemals besiedelten Teichbodenflächen

höhere Diasporenzahlen nachgewiesen wurden, als bei nahe gelegenen, von Arten der Teichbodenvegetation unbesiedelten Standorten (JOHN et al. 2010b). Insbesondere in den Bergwerksteichen ist eine hohe Diasporenzahl in Nähe der Elternpflanzen aufgrund der geringen Strömung plausibel. Zahlreiche Diasporen fallen vermutlich schon vor dem Wiederanstau aus und steigen nur zum Teil in die Wassersäule mit auf. Für *Coleanthus subtilis* ist die Produktion von erheblichen Samenmengen bekannt; HEJNÝ (1969) gibt 370 bis 340.000 Samen pro m<sup>2</sup> an. Daher ist davon auszugehen, dass große Samenmengen in der Nähe der Elternpflanzen verbleiben und damit den Fortbestand der einjährigen Pionierart an dem Wuchsort sichern. Für diese Samen besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Keimlinge günstige Wuchsbedingungen vorfinden. Nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Diasporen dürfte in der Wiederanstauphase der erzgebirgischen Bergwerksteiche in das Röschensystem gelangen. Diese hydrochor transportierten Diasporen dienen potenziell der Besiedlung neuer Standorte bzw. tragen zur genetischen Vielfalt der flussabwärts liegenden Populationen bei. An den natürlichen Standorten von *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica*, wie z. B. den ufernahen Schlammhängen großer Fließgewässer in Sibirien (Russland), ist, bedingt durch die teilweise erhebliche Strömungsgeschwindigkeit, vermutlich der Anteil an ausgeprägten Diasporen deutlich höher (TARAN 1995).

Da eine Ausbreitung von Diasporen in oberhalb liegende Gewässer auf hydrochorem Weg nicht erfolgen kann, müssen hier andere Ausbreitungsmechanismen wirksam werden. Auch kann Hydrochorie nur die Besiedlung von miteinander über Wasserwege verbundenen Gewässern erklären. Beispielsweise besitzen die seit 2001 nachgewiesenen Vorkommen von *Coleanthus subtilis* in Teichen der Lausitzer Teichregion (FLEISCHER 2002) keine Verbindung zu bis dahin besiedelten Gewässern, so dass die Besiedlung über andere Ausbreitungswege erfolgt sein muss. SCHORLER (1904), HEJNÝ (1969), SALISBURY (1970) und VON LAMPE (1996) nehmen für die meisten Arten der Zwergbinsengesellschaften eine Ausbreitung über Wasservögel (Ornithochorie) an. Denkbar ist ein Transport der Diasporen durch Sumpf- und Wasservögel (HEJNÝ 1969, VON LAMPE 1996), wie auch von WOIKE (1969) diskutiert wird. Sollten die Diasporen über Vögel allerdings effektiv ausgebreitet werden, bleibt unverständlich, warum *Coleanthus*-Pflanzen dann nicht allgemein häufiger an Teichen, Talsperren und Seen vorkommen.

Für die Erzgebirgsregion liegen für *Coleanthus subtilis* zwar sehr vereinzelt Nachweise außerhalb der Bergwerksteiche vor, diese kleinen Bestände können sich aber offensichtlich nicht dauerhaft etablieren (GOLDE 2009). Gegen die Ornithochorie als effektiven Ausbreitungsmechanismus für *Coleanthus subtilis* spricht im Erzgebirge auch, dass in diesem Gebiet ein regelmäßiger Wechsel von Wasservögeln zwischen mit *Coleanthus subtilis* besiedelten Bergwerksteichen und von dieser Art unbesiedelten, isoliert liegenden Gewässern stattfindet. Diese weisen zwar teilweise eine typische Teichbodenvegetation, aber keine Vorkommen von *Coleanthus subtilis* auf. In der Tschechischen Republik, mit vergleichsweise großen Vorkommen (WOIKE 1969), zeigt *Coleanthus subtilis* eine enge Bindung an bewirtschaftete Fischteiche und Fischhälter (ŠUMBEROVÁ 2003). Unter dieser Voraussetzung ist eine Ausbreitung der Diasporen über Fischtransporte und zur Bewirtschaftung eingesetzte Geräte (Kescher etc.) denkbar (ŠUMBEROVÁ et al. 2006). Auch die Bergwerksteiche werden seit jeher teilweise fischereiwirtschaftlich genutzt und es finden Fischtransporte statt, so dass ein Diasporentransport auf diesem Weg denkbar ist. Weiterhin könnte über die Stiefel sogenannter Graben- und Röschensteiger, welche die Kunstgraben- und Röschen sowie die Bergwerksteiche seit ihrer Anlage im 16. Jahrhundert bis etwa Anfang des 20. Jahrhunderts regelmäßig kontrollierten (WILSDORF 1964), Schlamm mit Diasporen zwischen den verschiedenen Bergwerksteichen transportiert worden sein.

*Littorella uniflora* ist eine ausdauernde Art und kommt in den Bergwerksteichen in ufernahen Bereichen auch submers vor. Nach ARTS & VAN DER HEIJDEN (1990) ist *Littorella uniflora* gut an amphibische Lebensbedingungen angepasst: Sie zeigt eine limitierte Diasporenproduktion, hat vergleichsweise hohe spezifische Ansprüche an die Keimungsbedingungen und, da die Keimraten relativ gering sind, kann eine ausdauernde Diasporenbank aufgebaut werden. Die wenigen produzierten Früchte, welche im Vergleich zu den Diasporen von

*Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* wesentlich schwerer sind (vgl. Tabelle 1), verbleiben überwiegend in der Nähe der Elternpflanzen, so dass die Wahrscheinlichkeit günstiger Wuchsbedingungen für die Keimlinge relativ hoch ist.

Die eigenen Untersuchungen belegen, dass für diese Art eine hydrochore Ausbreitung generativer Diasporen nicht anzunehmen ist (Kap. 6.1). Die von FRANK & KLOTZ (1990) für *Littorella uniflora* angegebene Windausbreitung erscheint aufgrund der Morphologie der Früchte und ihrer Position in Bodennähe zumindest zur Überwindung größerer Entfernungen ebenfalls unwahrscheinlich. Die eigenen Bemühungen, Früchte an den Pflanzen zu sammeln, zeigten, dass diese vergleichsweise fest zwischen den äußeren Rosettenblättern in Bodennähe sitzen. Vermutlich müssen die Blätter zunächst absterben, um die Früchte freizugeben, die dann ggf. durch Wind zumindest teilweise auf der Teichbodenoberfläche verlagert werden. Hat sich die Art erst einmal an einem Standort etabliert, breitet sie sich hauptsächlich über Ausläufer aus, bildet dichte Bestände und kann dadurch die Etablierung von konkurrierenden Arten einschränken.

Für *Littorella uniflora* reichen bereits kleinere Wasserstandsschwankungen, die in dem betrachteten Gewässersystem des Erzgebirges häufig von kurzer Dauer sind, aus, um eine schnelle Blütenbildung und anschließende Fruchtreifung der bereits submers vorhandenen Individuen zu ermöglichen. Inwieweit die Ausbreitung von Diasporen von *Littorella uniflora* über die Teichwirtschaft oder Tiere erfolgen kann, muss zum aktuellen Zeitpunkt ungeklärt bleiben. Denkbar ist auch, dass ganze Pflanzen als vegetative Diasporen hydrochor transportiert werden.

### 6.3. Vergleich mit weiteren Charakterarten und hochsteten Begleitern der Zwergbinsengesellschaften

Zusätzlich zu den drei ausgewählten Arten konnten bei den Kescherfängen und in den Sedimenten der Röschen weitere Charakterarten der Zwergbinsengesellschaften und deren hochstete Begleiter nachgewiesen werden (Tabellen 2 und 3). Demnach kommt auch für diese Arten Hydrochorie als möglicher Ausbreitungsmechanismus in Betracht. Die Diasporen der Charakterarten *Juncus bufonius*, *Elatine triandra*, *Gnaphalium uliginosum* und *Gypsophila muralis* sind sehr klein (vgl. VON LAMPE 1996) und können damit gemäß MELCHER et al. (2000) den Vorteil der Oberflächenspannung des Wassers ausnutzen. Die Diasporen von *Elatine hydropiper* und *Eleocharis acicularis* sind wie jene von *Limosella aquatica* durch eine Oberfläche aus Längs- und Querrippen gekennzeichnet (SALISBURY 1970), die das Anheften von Luftbläschen erleichtern und damit die Schwimmfähigkeit begünstigen könnten (vgl. MELCHER et al. 2000). Alle Arten der gefundenen hochsteten Begleiter (Tabelle 2) zeigen gemäß MELCHER et al. (2000) Anpassungen, die das spezifische Gewicht der Diasporen reduzieren und damit die Schwimmfähigkeit verbessern: Die Samen von *Rorippa palustris* besitzen nach eigenen Beobachtungen ein Schwimmgewebe mit luftführenden Zellen. Die Samen von *Alopecurus aequalis* bleiben von den Spelzen umschlossen, unter denen sich eine Luftblase halten kann (SALISBURY 1970, MELCHER et al. 2000), einen vergleichbaren Effekt hat das Perianth von *Pericaria lapathifolia* (STANIFORTH & CAVERS 1976).

Der Eintrag von Diasporen der Charakterarten und hochsteten Begleiter in das in der vorliegenden Arbeit untersuchte abgedeckte Gewässersystem kann lediglich für die Diasporen der Arten, die ausschließlich in den Bergwerksteichen wachsen, ausgeschlossen werden. So waren *Juncus bufonius*, *Gnaphalium uliginosum* und die drei Begleitarten auch in der Umgebung der Teiche sowie auf feuchten Ackerstellen häufig anzutreffen und könnten daher auch über die Röschenmundlöcher in das Röschensystem gelangt sein. Trotzdem mussten die Diasporen dann noch eine ausreichend lange Schwimmfähigkeit besitzen, um an die Probenahmestellen, die z. T. über 1 km entfernt vom nächsten Mundloch lagen, zu gelangen. Die Ergebnisse von VON LAMPE (1996) zeigen für eine Reihe von Charakterarten der Zwergbinsengesellschaften eine Schwimmfähigkeit von mindestens 10 Tagen. Im Gegensatz dazu erscheinen die Ergebnisse von PRAEGER (1913), der in Laborversuchen für *Limosella aquatica*, *Juncus bufonius*, *Gnaphalium uliginosum*, *Elatine hydropiper* und *Hypericum*

*humifusum* eine Schwimmdauer von weniger als einer Minute und für *Persicaria lapathifolia* von einem Tag feststellte, als zu kurz, um die Artnachweise in den Röschen plausibel erklären zu können.

Aufgrund der Fließgeschwindigkeit in den Kunstgräben und Röschen ist die Entfernung, die von kurzzeitig schwimmenden Diasporen zurück gelegt werden kann, begrenzt. Hochwasserereignisse können aber auch in dem Kunstgrabensystem eine deutliche Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten mit sich bringen und so potenziell die Überwindung erheblich größerer Distanzen ermöglichen (vgl. BOEDELTE et al. 2004). Berücksichtigt man, dass lediglich 50 ml Sedimentsuspension auf Diasporen durchsucht wurden, so muss davon ausgegangen werden, dass sich größere Mengen an Diasporen im Sediment des Kunstgrabensystems befinden und daher die Wahrscheinlichkeit, dass Diasporen in die Bergwerksteiche gespült werden, hoch ist, auch wenn allgemein die Anzahl transportierter Diasporen mit der Entfernung, die überwunden wird, abnimmt (NATHAN & MULLER-LANDAU 2000, BOEDELTE et al. 2003).

LEYER (2006) zeigt am Beispiel der Mittleren Elbe, wie eng die Diversität und Artenzusammensetzung der Pioniervegetation der Uferbänke an die Konnektivität zum Hauptfluss bzw. an den hydrochoren Diasporeneintrag gebunden sind. Dies unterstützt die Bedeutung der Verbindung der Bergwerksteiche über das Kunstgraben- und Röschensystem zum Erhalt der Artenvielfalt der Teichbodenvegetation. Die zahlreichen Funde von Diasporen der Arten der Zwergbinsengesellschaften in den Röschen bestätigen darüber hinaus Literaturangaben, nach denen Charakterarten und hochstete Begleiter einer Gesellschaft ähnliche Ausbreitungsmechanismen zeigen (MÜLLER-SCHNEIDER 1983). Für Arten der Pioniergesellschaften in Auensystemen belegen LEYER & PROSS (2009), dass Arten, deren Standorte permanent mit dem Fluss verbunden sind, leichtere und kleinere Samen besitzen als Arten, welche vom Fließgewässer isolierte Standorte charakterisieren.

Wie bereits in Kapitel 6.2 diskutiert, scheint Hydrochorie auch für die weiteren Charakterarten und hochsteten Begleiter nicht der einzige Ausbreitungsmechanismus zu sein. So liegen für einzelne Arten Nachweise bezüglich Ornithochorie (vgl. z. B. KERNER VON MARILAUN 1898) und Agochorie (BONN & POSCHLOD 1998, SCHMIDT 1989) vor.

#### **6.4. Bedeutung des Kunstgraben- und Röschensystems für die hydrochore Ausbreitung der Arten der Teichbodenvegetation**

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Diasporen von *Coleanthus subtilis* und *Limosella aquatica* in dem Kunstgraben- und Röschensystem hydrochor über längere Strecken transportiert werden (Kap. 6.1.) und dass zusätzlich aufgrund der erheblichen Diasporenmengen im Sediment (Tabelle 4) von einem großen hydrochoren Ausbreitungspotenzial in diesem Gebiet auszugehen ist. Im Gegensatz dazu scheint, zumindest im Erzgebirge, das Ausbreitungspotenzial über andere Vektoren sehr begrenzt zu sein (Kap. 6.2.). Zumindest für die flussabwärts liegenden Gewässer kann über den Erhalt des Kunstgrabensystems ein Diasporeneintrag gewährleistet und damit einer genetischen Verarmung entgegengewirkt werden. Auch ist im Fall des Aussterbens einer Population in einem Gewässer die Wahrscheinlichkeit eines hydrochoren Eintrages von Diasporen relativ hoch, was auch die Chance einer Wiederansiedlung erhöht. Eine Isolation von Populationen in einzelnen Gewässern durch die Abtrennung vom Kunstgrabensystem könnte zu einem erhöhten Aussterberisiko führen (vgl. HEINKEN 2009). Daher kommt im Erzgebirge dem Erhalt der vorhandenen Vernetzung der Bergwerksteiche über Kunstgräben und Röschen zum Schutz und Erhalt der Vorkommen der Arten der Teichbodenvegetation aus naturschutzfachlicher Sicht eine hohe Bedeutung zu.

## Danksagung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU; Förderziffer 24796-33/2) für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Arbeit. Weiterhin danken wir der Staumeisterei Revierwasserlaufanstalt Freiberg und dem Betrieb Freiberg Mulde/Zschopau der Landestalsperrenverwaltung Sachsen für die Gewährung des Zugangs zum Dittmannsdorfer Teich und die Möglichkeit zur Teilnahme an der turnusmäßigen Röschenbegehung. Dem Landratsamt Freiberg danken wir für die Genehmigung zur Entnahme von Samen. Frau Katrin Meißner danken wir für die Betreuung der Laborversuche und Durchführung der Freilanduntersuchungen, die sie im Rahmen ihrer Qualifizierungsarbeiten 2010 an der AG Biologie/Ökologie durchführte, und für die Überlassung der Ergebnisse.

## Literatur

- ARTS, G. H. P. & VAN DER HEIJDEN, R.A.J.M. (1990): Germination ecology of *Littorella uniflora* (L.) Aschers. – *Aquat. Bot.* 37: 139–151. Amsterdam.
- BALDAUF, K. (2001): Ein Beitrag zur Flora der Stillgewässer im mittleren Erzgebirge. – *Beitr. Natursch. Mittl. Erzgebirgskreis* 1: 48–55. Pobershau.
- BEIJERINCK, W. (1947): Zadenatlas der nederlandse Flora. – H. Veenmann & Zonen, Wageningen: 316 S.
- BERNHARDT, K. G. (1993): Untersuchungen zur Besiedlung und Dynamik der Vegetation von Sand- und Schlickpionierstandorten. – *Diss. Bot.* 202: 1–223. Berlin.
- BOEDELTE, G., BAKKER, J. P., BEKKER, R. M., VAN GROENENDAEL, J. M. & SOESBERGEN, M. (2003): Plant dispersal in a lowland stream in relation to occurrence and three specific life-history traits of the species in the species pool. – *J. Ecol.* 91: 855–866. Oxford.
- BOEDELTE, G., BAKKER, J. P., TEN BRINKE, A., VAN GROENENDAEL, J. M. & SOESBERGEN, M. (2004): Dispersal phenology of hydrochorous plants in relation to discharge, seed release time and buoyancy of seeds: the flood pulse concept supported. – *J. Ecol.* 92: 786–796. Oxford.
- BOJNANSKY, V. & FARGASOVA, A. (2007): Atlas of Seeds and Fruits of Central and East-European Flora. – Springer, Dordrecht: 1046 S.
- BONN, S. & POSCHLOD, P. (1998): Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas: Grundlagen und kulturhistorische Aspekte. – Quelle und Meyer, Wiesbaden: 404 S.
- CAPPERS, R. T. J., BEKKER, R. M. & JANS, J.E.A. (2006): Digitale Zadenatlas van Nederland. – Groningen Archaeological Studies. Volume 4, Barkhuis Publishing & Groningen University Library, Groningen: 502 S.
- DANVIND, M. & NILSSON, C. (1997): Seed floating ability and distribution of alpine plants along a northern Swedish river. – *J. Veg. Sci.* 8: 271–276. Uppsala.
- FLEISCHER, B. (2002): *Coleanthus subtilis* (Tratt.) Seidl – ein Neufund für die Oberlausitz. – *Sächs. Flor. Mitt.* 7: 14–19. Leipzig.
- FRANK, D. & KLOTZ, S. (1990): Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. 2. Aufl. – Wissenschaftl. Beitr. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 32: 1–167. Halle.
- GOLDE, A. (2007): Die Teichbodenvegetation des Inselteiches Helbigsdorf und ihre Beziehung zu den *Nanocyperion*-Gesellschaften der Freiberg Bergbauteiche. – *Mitt. NSI Freiberg* 3: 2–8. Freiberg.
- (2009): Bemerkenswerte Neu- und Wiederfunde des Scheidenblütgrases (*Coleanthus subtilis*) im Osterzgebirge. – *Mitt. NSI Freiberg* 5: 17–24. Freiberg.
- HANE, M. (1999): Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen. 4. Aufl. – BLV Verlags-ges., München: 496 S.
- HEINKEN, T. (2009): Populationsbiologische und genetische Konsequenzen von Habitatfragmentierung bei Pflanzen – wissenschaftliche Grundlagen für die Naturschutzpraxis. – *Tuexenia* 29: 305–329. Göttingen.
- HEJNÝ, S. (1969): *Coleanthus subtilis* (TRATT.) SEIDL in der Tschechoslowakei. – *Folia Geobot. Phytotax.* 4: 345–399. Prag.
- IRMSCHER, B. (1994): Beitrag zur Vegetation auf nacktem Teichschlamm des Berthelsdorfer Hütten-teichs bei Freiberg in Sachsen. – *Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz* 17: 67–82. Chemnitz.
- JOHN, H. (2007): Revierwasserlaufanstalt Freiberg. – In: GRÜNE LIGA OSTERZGEBIRGE (Hrsg.): Naturführer Ost-Erzgebirge 2: Natur des Ost-Erzgebirges im Überblick. – Sandstein Verlag, Dresden: 152–155.
- , ACHTZIGER, R., GÜNTHER, A., RICHERT, E., KUGLER, J., MIEKLEY, B., & OLIAS, M. (2010a): Die Bergwerksteiche der Revierwasserlaufanstalt Freiberg als Lebensraum einer einzigartigen Teichbodenvegetation – Gebietsgeschichte und Vegetationsökologie als Basis für nachhaltigen Naturschutz. – Endbericht an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück (unveröff.).



- , CLAUS, S., WICHE, O., WINKLER, C., ACHTZIGER, R. & RICHERT, E. (2010b): Naturschutzfachliche Erfolgskontrolle einer Maßnahme zur Förderung der Lebensgemeinschaften auf trockengefallenen Teichböden im Bierwiesenteich bei Pfaffroda. – Mitt. NSI Freiberg (im Druck).
- KERNER VON MARILAU, A. (1898): Pflanzenleben 2: Geschichte der Pflanzen. 2. Aufl. – Bibliogr. Inst., Leipzig, Wien: 778 S.
- KLEYER, M., BEKKER, R.M., KNEVEL, I.C., BAKKER, J.P., THOMPSON, K., SONNENSCHNEIN, M., POSCHLOD, P., VAN GROENENDAEL, J.M., KLIMES, L., KLIMESOVÁ, J., KLOTZ, S., RUSCH, G.M., HERMY, M., ADRIAENS, D., BOEDELITJE, G., BOSSUYT, B., DANNEMANN, A., ENDELS, P., GÖTZENBERGER, L., HODGSON, J.G., JACKEL, A.-K., KÜHN, I., KUNZMANN, D., OZINGA, W.A., RÖRMERMANN, C., STADLER, M., SCHLEGELMILCH, J., STEENDAM, H.J., TACKENBERG, O., WILMANN, B., CORNELISEN, J.H.C., ERIKSSON, O., GARNIER, E., & PECO, B. (2008): The LEDA Traitbase: A database of life-history traits of Northwest European flora. – J. Ecol. 96: 1266–1274. Oxford.
- KLOTZ, S., KÜHN, I. & DURKA, W. (2002): BIOFLOR – Eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland. – Schriftenr. Vegetationskde. 38: 334. Bonn. Bad Godesberg.
- KRIECHBAUM, M. & KOCH, M. (2001): *Coleanthus subtilis* (Poaceae) – wiederentdeckt. – Neireichia 1: 51–56. Wien.
- LEYER, I. (2006): Dispersal, diversity and distribution patterns in pioneer vegetation: The role of river-floodplain connectivity. – J. Veg. Sci. 17: 407–416. Uppsala.
- & PROSS, S. (2009): Do seed and germination traits determine plant distribution patterns in riparian landscapes? – Basic Appl. Ecol. 10: 113–121. Jena.
- LTV (LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN) (HRSG.) (2009): Die Revierwasserlaufanstalt Freiberg zwischen Vergangenheit und Zukunft (DVD). – AVANGA Filmproduktion, Dresden.
- LUDWIG, G. & SCHNITTLER, M. (Bearb.) (1996): Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskde. 28: 744 S. Bonn. Bad Godesberg.
- MARTIN, A.C., BARKLEY, W.D. (2000): Seed Identification Manual. – The Blackburn Press, Caldwell, New Jersey: 221 S.
- MEIßNER, K. (2010): Der Einfluss des Lagerungsmilieus auf die Keimfähigkeit ausgewählter Arten der Teichbodenvegetation sowie Untersuchungen zur hydrochoren Ausbreitung über das Kunstgraben-system. – Dipl.arbeit AG Biologie/Ökologie TU Bergakademie Freiberg (unveröff.).
- MELCHER, I. M., BOUMAN, F. & CLEEF, A. M. (2000): Seed dispersal in paramo plants: Epizoochorous and hydrochorous taxa. – Plant Biol. 2(1): 40–52, Stuttgart.
- MÜLLER-SCHNEIDER, P. (1983): Verbreitungsbiologie (Diasporologie) der Blütenpflanzen. 3. Aufl. – Veröff. Geobot. Insti. ETH, Stiftung Rübel, 61: 1–226 S. Zürich.
- NATHAN, R. & MULLER-LANDAU, H. C. (2000): Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. – Trends Ecol. Evol. 15(7): 278–285. Amsterdam.
- PETERSEN, B., ELLWANGER, G., BIEWALD, G., HAUKE, U., LUDWIG, G., PRETSCHER, P., SCHRÖDER, E. & SSYMANK, A. (2003): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000 – Ökologie und Verbreitung von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Bd. 1: Pflanzen und Wirbellose. – Schriftenr. Landschaftspfl. Natursch. 69: 1–743 S. Bonn.
- PIETSCH, W. (1973): Beitrag zur Gliederung der Europäischen Zwergbinsengesellschaften (*Isoeto-Nano-juncetae* Br. - Bl. & Tx. 1943). – Vegetatio 28: 401–438. Dordrecht.
- (1977): Beitrag zur Soziologie und Ökologie der europäischen *Littorelletea*- und *Utricularietea*-Gesellschaften. – Feddes Repert. 88(3): 141–245. Weinheim.
- PRAEGER, R. L. (1913): On the buoyancy of the seeds of some britannic plant. – Sci. Proceed. Royal Dublin Society 14(3): 13–62. Dublin.
- SALISBURY, E. (1967): The reproduction and germination of *Limosella aquatica*. – Ann. Bot. 31(121): 147–161. Oxford.
- (1970): The pioneer vegetation of exposed muds and its biological features. – Phylosoph. Transact. Royal Soc. London Ser. B 259: 207–255. London.
- SCHMIDT, W. (1989): Plant dispersal by motor cars. – Vegetatio 70: 147–152. Dordrecht.
- SCHORLER, B. (1904): *Coleanthus subtilis* Seidl., ein Bürger der deutschen Flora. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. 22: 524–526. Berlin.
- SIEBER, H.-U. (1992): Talsperren in Sachsen. – Sebald Sachsendruck GmbH. Plauen: 252 S.
- SIELAND, R., K. TAUTENHAHN, JOHN, H., MEIßNER, K. & ACHTZIGER, R. (2008): Zeitliche Entwicklung des Strandlings (*Littorella uniflora*) und der Gewässertrübung in vier Freiburger Bergwerksteichen im Jahr 2006. – Mitt. NSI Freiberg 4: 46–61. Freiberg.

- SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, C., SCHRÖDER, E. & MESSER, D. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. – Schriftenr. Landschaftspfl. Natursch. 53: 560 S. Bonn, Bad Godesberg.
- STANFORTH, R. J. & CAVERS, P. B. (1976): An experimental study of water dispersal in *Polygonum* spp.. – Canad. J. Bot. 54(22): 2587–2596. Ottawa.
- ŠUMBEROVÁ, K. (2003): Veränderungen in der Teichwirtschaft und ihr Einfluss auf die Vegetation in der Tschechischen Republik. Mit Beispielen von *Isoëto-Nanojuncetea*-, *Littorelletea*- und *Bidentetea*-Arten im Becken von Třeboň (Wittingauer Becken). – Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Natursch. 18(2): 7–24. Freiburg i.Br.
- , LOSOSOVÁ, Z., FABŠIČOVÁ, M. & HORÁKOVÁ, V. (2006): Variability of vegetation of exposed pond bottoms in relation to management and environmental factors. – Preslia 78: 235–252. Praha.
- TARAN, G. S. (1995): A little known vegetation class of the former USSR – Flood-Plain *Ephemeretum* (*Isoëto-Nanojuncetea* Br.-Bl. et Tx. 43) – Sib. J. Ecol. V (2, 4): 372–380. Novosibirsk.
- UHLIG, J. (1939): Die Gesellschaft des nackten Teichschlammes (*Eleocharetum ovatae*). – In: KÄSTNER, M., FLÖBNER, W. & UHLIG, J. (Hrsg.): Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes (Flussgebiet der Freiburger und Zwickauer Mulde). 1. Teil. – Verl. Landesver. Sächs. Heimatschutz, Dresden: 40 S.
- VAN DEN BROEK, T., VAN DIGGELEN, R. & BOBBINK, R. (2005): Variation in seed buoyancy of species in wetland ecosystems with different flooding dynamics. – J. Veget. Sci. 16: 579–586. Rotterdam.
- VITTOZ, P. & ENGLER, R. (2007): Seed dispersal distances: a typology based on dispersal modes and plant traits. – Bot. Helv. 117(2): 109–124. Basel.
- VON LAMPE, M. (1996): Wuchsform, Wuchsrhythmus und Verbreitung der Arten der Zwergbinsengesellschaften. – Diss. Bot. 266: 1–355, Berlin.
- WAGENBRETH, O. & WÄCHTLER, E. (Hrsg.) (1988): Der Freiburger Bergbau: Technische Denkmale und Geschichte. 2. Aufl. – Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 382 S.
- WILSDORF, H. (1964). Umriss der alten bergmännischen Wasserwirtschaft auf dem Freiburger Bergrevier. Festschrift zum 100jährigen Bestehen des Naturkundemuseums Freiberg. – VEB Ratsdr. Freiberg, Freiberg: 153 S.
- WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. – Ulmer, Stuttgart: 765 S.
- WOIKE, S. (1969): Beitrag zum Vorkommen von *Coleanthus subtilis* (Tratt.) Seidl (Feines Scheidenblütragras) in Europa. – Folia Geobot. Phytotax. 4: 401–413. Praha.

Henriette John  
 Dr. Elke Richert  
 Technische Universität Bergakademie Freiberg  
 Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum (IÖZ), AG Biologie/Ökologie  
 Leipziger Str. 29  
 D-09599 Freiberg  
 henriette.john@ioez.tu-freiberg.de  
 elke.richert@ioez.tu-freiberg.de

Manuskript eingereicht am 18.10.2010, endgültig angenommen am 10.02.2011.