

KARSTEN HORN & FRANK PATZOLD

Aktuelle Bestandssituation und Gefährdung des Stachelsporigen Brachsenkrautes (*Isoëtes echinospora* DURIEU) in Baden-Württemberg

Frau Dipl.-Biol. HELGA RASBACH zum 75. Geburtstag gewidmet

Kurzfassung

Das Stachelsporige Brachsenkraut (*Isoëtes echinospora*), eine in Mitteleuropa relictisch verbreitete Art oligotropher Seen, hat seine letzten noch bestehenden Vorkommen innerhalb Deutschlands im Südschwarzwald (Feld- und Titisee). Tauchkartierungen in den Jahren 1998 und 1999 ergaben eine Gesamtpopulationsgröße von etwa 100 Pflanzen im Feldsee und 50 Pflanzen im Titisee. Damit sind die Bestände im Vergleich zu Untersuchungen im Zeitraum 1979/80 dramatisch zurückgegangen; *I. echinospora* ist heute vom Aussterben bedroht. Als bedeutsamste Gefährdungsfaktoren sind die ständig voranschreitende Eutrophierung sowie die immer mehr zunehmende Freizeitnutzung beider Seen (Baden, Bootsverkehr) zu nennen. An zwingend notwendigen Schutzmaßnahmen sind für den Feldsee ein generelles Badeverbot und für den Titisee eine Einschränkung der Freizeitnutzung zu fordern. Für den Titisee ist ferner die Erarbeitung eines umfassenden Management- und Renaturierungskonzeptes notwendig.

Abstract

Recent population size and endangerment of the Spring Quillwort (*Isoëtes echinospora* DURIEU) in Baden-Württemberg (south-western Germany)

The Spring Quillwort, which grows in oligotrophic lakes, shows a relictic distribution in Central Europe. In Germany, remnant populations occur only in the southern part of the Black Forest (Feldsee, Titisee). During diving investigations in 1998 and 1999, two populations of about 100 and 50 plants were located in the Feldsee and Titisee respectively. In comparison with investigations from 1979/80, we can therefore provide evidence of dramatic decline, and the species appears to be in danger of becoming extinct. Main factors contributing to the species' decline include continued eutrophication and habitat degradation associated with leisure activities at both lakes (swimming, boat trips). As an immediate conservation measure, it is proposed that swimming in the Feldsee is prohibited, and that restrictions are placed on leisure activities in the Titisee. In addition, the development of a management and restoration programme is necessary for the Titisee.

Autoren

KARSTEN HORN, Staatliches Museum für Naturkunde, Bio- und geowissenschaftliches Forschungsinstitut, Erbprinzenstraße 13, D-76133 Karlsruhe;

FRANK PATZOLD, Toronto-Straße 2-2, D-76549 Hügelshelm.

1. Einleitung

Die Ordnung Isoëtiales (Brachsenkrautartige Pflanzen), die rezent nur aus der Familie Isoëtaceae (Brachsenkräuter) besteht (vgl. DOSTÁL 1984), ist weltweit lediglich mit 2 Gattungen (*Isoëtes*, *Stylites*) vertreten. Nach neuerer systematischer Auffassung wird die Gattung *Stylites* zu *Isoëtes* gestellt (JERMY 1990). Es handelt sich um eine nahezu kosmopolitisch verbreitete Gruppe von aquatisch, amphibisch oder terrestrisch lebenden Pflanzen mit derzeit etwa 150 bekannten Arten sowie zahlreichen Hybriden (TAYLOR et al. 1993). Zum überwiegenden Teil handelt es sich bei den *Isoëtes*-Arten um ozeanische Florenelemente der meridionalen bis temperierten Zonen; die Diversitätszentren der Gattung liegen in Nord- und Mittelamerika sowie im Mediterrangebiet (DOSTÁL 1984). In Europa kommen 11 Arten vor (JERMY & AKEROYD 1993), von denen lediglich *I. echinospora* (Stachelsporiges Brachsenkraut) und *I. lacustris* (See-Brachsenkraut) auch Mitteleuropa besiedeln; die übrigen Arten sind auf das atlantische Südwesteuropa und das Mittelmeergebiet beschränkt.

Morphologisch sind alle *Isoëtes*-Arten relativ gleichförmig; ein gutes Unterscheidungsmerkmal bietet die Perisporstruktur der Megasporen. Danach läßt sich die Gattung in vier Sektionen gliedern (vgl. DOSTÁL 1984). Die beiden einheimischen Arten unterscheiden sich deutlich in Bau und Größe der Megasporen. *I. echinospora* besitzt Megasporen mit kegelförmigen, spitzen oder schwach gestutzten Stacheln (deutscher Name!) und wird zur Sektion Echinatae gerechnet, *I. lacustris* hingegen weist Megasporen auf, deren Oberfläche dicht mit feinen Höckern und Warzen besetzt ist; das See-Brachsenkraut wird in die Sektion Isoëtes (= sect. *Cristatae*) gestellt. Korreliert mit dem unterschiedlichen Ploidiegrad beider Arten ist die Größe der Megasporen. Während die Megasporen der diploiden *I. echinospora* ($2n = 22$) 400 – 550 µm im Durchmesser erreichen, sind die Megasporen der dekaploiden *I. lacustris* ($2n = 110$) mit einem Durchmesser von 500 – 700 µm signifikant größer. Neben diesen mikromorphologischen Merkmalen gibt es auch eine Reihe von Feldmerkmalen, die in den meisten Fällen eine si-

chere Unterscheidung beider Arten erlauben: Die Pflanzen von *I. echinospora* weisen einen "igelförmigen" Wuchs mit in der Regel relativ wenigen (15 – 30, maximal 50) 3 – 15 (– 18) cm langen, in alle Richtungen spreizenden, hell- oder gelbgrünen Blättern auf, wobei die äußeren oftmals bogig zurückgekrümmt sind (Taf. 1a); *I. lacustris* zeigt hingegen meist einen aufrechten Wuchs, wobei der obere Teil der zahlreichen (oft 50 oder auch deutlich mehr), 3 – 25 (– 40) cm langen, dunkelgrünen Blätter zuweilen sichelförmig nach außen gekrümmt sein kann (Taf. 1b). Die Blätter von *I. echinospora* sind schlaff (außerhalb des Wassers zu einem Büschel zusammenfallend), durchscheinend, enden allmählich in einer feinen Spitze und sind an der Basis oft rötlich oder rotbraun überlaufen (so bei den Pflanzen im Titisee; vgl. auch BRAUN 1862), während *I. lacustris* über steife (auch außerhalb des Wassers ihre Form behaltend), kaum durchscheinende, kurz zugespitzte Blätter verfügt. Vor allem *I. lacustris* zeigt im Hinblick auf Richtung und Länge der Blätter eine große Variabilität (DOSTÁL 1984). So sind Pflanzen mit stark zurückgekrümmten Blättern bekannt, die bei flüchtiger Betrachtung leicht für *I. echinospora* gehalten werden können. Solche Formen sind beispielsweise im Titisee häufig zu finden (Taf. 1c). Interessant ist, daß die Blätter von *I. lacustris* mit einsetzendem Herbst teilweise einen gelbgrünen Farbton annehmen und dann von denen des Stachelsporigen Brachsenkrautes hinsichtlich der Farbe kaum mehr zu unterscheiden sind (Beobachtung vom 24.9.1999 im Feldsee). Auch bei solchen habituell abweichenden Formen erlaubt die Sporenkontrolle (s. oben) stets eine eindeutige Artdiagnose.

2. Verbreitung von *Isoëtes echinospora*

In ihrer Arealdiagnose charakterisieren MEUSEL et al. (1965) *I. echinospora* als zirkumpolar-amphiatlantisch verbreitete Art mit Verbreitungsschwerpunkten in Europa und Nordamerika (vgl. auch DONAT 1933). Daneben sind vereinzelte Vorkommen in Asien (Sibirien, Kamtschatka-Halbinsel, Japan) bekannt (vgl. BENNERT 1999). In Europa, wo das Stachelsporige Brachsenkraut überwiegend nordisch-subozeanisch verbreitet ist, hat die Art ihren Schwerpunkt in Skandinavien und im atlantischen Nordwesten; disjunkte Vorkommen sind aus den Pyrenäen, dem Zentralmassiv, der Südschweiz, Norditalien, Nordgriechenland, Mitteleuropa sowie Osteuropa (Baltikum bis Zentralrußland) bekannt (DONAT 1928, JALAS & SUOMINEN 1972). Mehrfach wurde in der Vergangenheit der Reliktcharakter von *I. echinospora* in Mitteleuropa diskutiert. WELTEN (1967) analysiert das historische und rezente Areal der Art ausführlich und bezeichnet sie als "für Mitteleuropa überall ein jungspätglaziales Rückwanderungselement, für Nordeuropa, speziell Skandinavien,

ein frühwärmezeitliches Rückwanderungselement", abschließend schlägt der Autor die Bezeichnung "Restant-Relikt" vor. Andere Autoren wie LANG (1955) bezeichnen das Stachelsporige Brachsenkraut als Späteiszeitrelikt. Eine korrekte Datierung vorausgesetzt, existieren sogar Mikrosporenfunde aus dem Rib/Würm-Interglazial (Jungpleistozän) des Federseegebietes in Baden-Württemberg (GÖTTLICH 1957). Ungeachtet dieser noch nicht abschließend geklärten Frage läßt sich *I. echinospora* auf jeden Fall als Relikt der spät- bis frühpostglazialen Periode bezeichnen, während der die Art weit häufiger war als heute (vgl. DOSTÁL 1984, PHILIPPI 1993, LANG 1994). So ist *I. echinospora* subfossil aus zahlreichen Mooren und Seesedimenten in verschiedenen Landesteilen Baden-Württembergs, den benachbarten Vogesen, der Eifel und auch in Nordwestdeutschland belegt (Oberschwaben: GÖTTLICH 1957; Nordschwarzwald: LANG 1955, 1958; SCHLOSS 1987; Südschwarzwald: OBERDORFER 1931; LANG 1952, 1954, 1955; LOTTER & HÖLZER 1989, 1994; Vogesen: FIRBAS et al. 1948, SCHLOSS 1979; Eifel: STRAKA 1975; Nordwestdeutschland: MÜLLER 1970, MÜLLER & KLEINMANN 1998). In der nachglazialen Wärmeperiode sind in Mitteleuropa dann offensichtlich die meisten für Brachsenkrauter besiedelbaren Gewässerstandorte durch zunehmende Verlandungsvorgänge verloren gegangen, während sich die Pflanzen in Nordeuropa bis in die heutige Zeit an vielen Stellen halten konnten (WELTEN 1967, ENDRESS & GRAESER 1972, vgl. auch LANG 1994). Die rezenten, teilweise weit voneinander entfernt liegenden mitteleuropäischen Vorkommen von *I. echinospora* befinden sich in den Niederlanden, in Belgien, in Frankreich (Vogesen), in der Tschechischen Republik (Böhmerwald) sowie in Deutschland. In Deutschland ist das Stachelsporige Brachsenkraut rezent nur in Schleswig-Holstein sowie in Baden-Württemberg (Südschwarzwald) sicher nachgewiesen worden (BENNERT 1999); eine von DOSTÁL (1984) angezweifelte und in modernen Florenwerken (BENKERT et al. 1996, BENNERT 1999) nicht berücksichtigte Angabe existiert ferner aus dem thüringischen Vogtland (Pörmitzer Teich bei Plothen; SCHWARZ 1925, vgl. auch ROTHMALER 1929). Diese Angabe konnte im Gelände nie bestätigt werden; der im Herbarium Haussknecht in Jena (JE) existierende Beleg stammt nachweislich von einem anderen Fundort (ZÜNDORF, mdl. Mitt.); die Angabe aus Thüringen ist demnach als falsch zu streichen.

In Schleswig-Holstein wurde *I. echinospora* erstmalig im Jahre 1880 von PRAHL (1882) in drei nahe benachbarten, künstlich aufgestauten Teichen (Mühlenteich der Lohmühle sowie in beiden unteren Steinteichen bei Hohenlockstedt) nachgewiesen (vgl. LUERSSSEN 1889, JUNGE 1910). Diese Fundstellen dürften als südliche Vorposten des geschlossenen nordeuropäischen Teilareals anzusehen sein. In den folgenden Jahr-

zehnten wurde die Art im erstgenannten Gewässer mehrfach gesammelt (Abb. 1), letztmalig offensichtlich im Jahre 1925 (CHRISTIANSEN 1953). Schon seit längerem gilt *I. echinospora* in Schleswig-Holstein als ausgestorben (RAABE et al. 1982).

Für Baden-Württemberg findet sich der früheste, eindeutig datierte Nachweis der Pflanze bei BRAUN (1862), der sie bereits 1846 im Feldsee gesammelt hat, allerdings noch unter dem Namen *I. lacustris* (*I. echinospora* wurde erst im Jahre 1861 als eigenständige Art beschrieben). BRAUN (1862) bemerkt, daß das Stachelsporige Brachsenkraut allerdings bereits vor 1840 von H. VON MOHL und F. SPENNER im Feldsee gesammelt worden sei. Schon im Jahre 1862 wird *I. echinospora* auch für den Schluchsee und den Titisee angegeben (BRAUN 1862, DÖLL 1862, SCHILDKNECHT 1862). Bei einer Sichtung der Herbarien der Staatlichen Museen für Naturkunde in Karlsruhe (KR) und Stuttgart (STU) sowie der Botanischen Staatssammlung München (M) im Hinblick auf historische Belege von *I. echinospora* aus dem Schluchsee und dem Titisee konnte eine Reihe von Herbarbelegen gefunden werden, die nachfolgend zusammengestellt sind. Die ältesten Herbarbelege aus dem Schluchsee datieren aus dem Jahre 1861, die ältesten Belege aus dem Titisee stammen aus dem Jahre 1864 (Abb. 2).

- 10.1861 "Von kiesigen seichten Ufern am oberen Ende des Schluchsee's", leg. J. SCHILDKNECHT et THIRY, Botanische Staatssammlung München (M), 1 Bogen; Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart (STU), 2 Bögen; Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR), 1 Bogen
- 1864 "In lacu "Schluchsee" silvae nigrae Badensis", leg. A. BRAUN, Botanische Staatssammlung München (M)
- 1864 "Schluchsee", leg. REESS, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR)
- 1864 "Schluchsee", leg. REESS et SCHILDKNECHT, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR)
- "Aus dem Schluchsee", leg. SCHILDKNECHT, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR)
- "Schluchsee", leg. W. BAUR, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR)
- 7 1864 "Titisee", leg. F. REESS, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR)
- 17 10.1864 "Aus dem Titisee auf dem Schwarzwalde.", leg. VULPIUS, Botanische Staatssammlung München (M)
- 1864 "Titisee", leg. REESS, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR)
- "Im Titisee.", leg. DE BARY & SCHILDKNECHT, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (KR), 2 Bögen

Neben den Vorkommen in Feld-, Schluch- und Titisee wurde das Stachelsporige Brachsenkraut ferner im aufgestauten Teil des Feldseemoores beobachtet (MÜLLER 1948). Nachdem das Vorkommen von *I. echi-*

nospora im Schluchsee durch Aufstauen des Sees im Jahre 1932 erloschen war (PHILIPPI 1993), existierte die Art nurmehr in Feld- und Titisee; das kleine Vorkommen im Feldseemoor wurde letztmalig 1983 von H. REINÖHL bestätigt (ROWECK 1986) und ist möglicherweise inzwischen erloschen. Während ROWECK (1986) und DREYER & ROWECK (1993) das Stachelsporige Brachsenkraut noch in beiden Seen in reicheren Beständen nachweisen konnten (zuletzt 1989), wurde die Art bei (allerdings nur stichprobenhaften) Tauchkartierungen im Rahmen eines Forschungsprojektes über gefährdete Farnpflanzen Deutschlands von KATHEDER (1994) im Jahr 1993 lediglich im Feldsee in einer kleinen Population von etwa 20 Pflanzen beobachtet. Da im Titisee während dieser Untersuchungen trotz gezielter Suche kein aktueller Nachweis erbracht werden konnte, lag der Verdacht nahe, *I. echinospora* sei in diesem Gewässer inzwischen erloschen. Arbeiten an einem mittlerweile erschienenen Werk über die seltenen und gefährdeten Farnpflanzen Deutschlands (BENNERT 1999) waren der Anlaß, 1998 den Feldsee flächendeckend zu bearbeiten und eine erneute Nachsuche im Titisee durchzuführen. Diese Untersuchungen erfolgten im Rahmen des seit einigen Jahren laufenden Artenschutz-Programmes Baden-Württemberg.

3. Durchführung der Untersuchungen

Als geeignetste und genaueste Methode zur Erfassung der Makrophytenvegetation in Gewässern erweist sich die Unterwassertaucherkartierung mittels Tauchen, insbesondere wenn die Sichtverhältnisse im unteren Bereich, beispielsweise nach starken Regenfällen oder Stürmen oder auch durch Bade- und Bootsbetrieb, herabgesetzt sind (vgl. MELZER 1976). Hinzu kommt, daß zahlreiche Bestände selbst auffälliger Arten vom Boot aus oft nicht erkannt werden können, wie MELZER (1976) dies am Beispiel von *Potamogeton coloratus* in den oberbayerischen Osterseen schildert. Ein weiterer Vorteil des Tauchens gegenüber anderen, oft destruktiven Erfassungsmethoden wie dem Einsatz von Harken für die Untersuchung von Populationen bestandsbedrohter Wasserpflanzen ist die bei vorsichtigem Vorgehen äußerst geringe Beeinträchtigung der Bestände. Für vorliegende Studie wurde daher auf den Einsatz von Boot und Sichttrichter vollständig verzichtet und der Tauchkartierung den Vorzug gegeben. Bei den Tauchgängen waren jeweils 3 Taucher (beide Verfasser sowie ROMAN PÄTZOLD) im Einsatz, wobei für die Kartierung der tieferen Gewässerabschnitte (> 2 m Wassertiefe) bzw. für die Bildokumentation mittels Unterwasserkameras Pressluftgeräte zum Einsatz kamen, während für die Bearbeitung der ufernahen Flachwasserzonen Taucherbrille und Schnorchel ausreichend waren. Der Feldsee konnte an insgesamt drei Tauchtagen (10.8.1998, 30.7.1999, 24.9.1999) flächendeckend untersucht werden, im Titisee waren wegen der nur sehr beschränkt vorhandenen finanziellen Mittel lediglich zwei Tauchgänge am 11.8.1998 möglich, die in erster Linie eine Wiederbestätigung von *I. echinospora* zum Ziel hatten. Im Feldsee wurde zunächst ein Orientierungstauchgang durch-



Abbildung 1. Herbarbeleg von einem der drei historischen Vorkommen von *Isoetes echinospora* in Schleswig-Holstein aus dem Jahre 1895 (Herbarium Hamburgense [HBG]) – Foto: V. GRIENER.

geführt, um einen Überblick über Gewässerbeschaffenheit und räumliche Verteilung der Makrophytenvegetation zu erhalten. Im Anschluß daran erfolgte eine systematische Erfassung der Wasserpflanzenbestände. Hierzu wurde die ufernahe Flachwasserzone des Sees komplett abgeschwommen, tiefere Bereiche wurden mittels eines Zickzackkurses betaut. Die räumliche Verteilung und Ausdehnung der Populationen beider *Isoëtes*-Arten wurden ermittelt und ihre Tiefenverbreitung mittels eines digitalen Tiefenmessers (Aladin AIR X Tauchcomputer) exakt bestimmt. Die aufgenomenen *Isoëtes*-Bestände wurden noch im Gelände in die bereits von ROWECK (1986) verwendete Kartengrundlage eingetragen. Bei den beiden mehr stichprobenhaften Tauchgängen im Titisee wurde sowohl der ufernahe Bereich entlang des Nordwestufers als auch der Bereich entlang des Nordostufers untersucht, da ROWECK (1986) für beide Abschnitte reichere Vorkommen von *I. echinospora* angibt. Die gesamte südliche Hälfte des Titisees konnte im Zuge vorliegender Untersuchung nicht betaut werden. Allerdings finden sich bei ROWECK (1986) auch keine Hinweise auf das Vorkommen von *I. echinospora* in diesem Seeabschnitt. Sowohl im Feld- als auch im Titisee wurde die Isoëtiden-Vegetation fotografisch dokumentiert. Hierbei fanden Spiegelreflexkameras der Marke Nikon F4 und Nikon F90X im Unterwassergehäuse (Fa. Hugenschmid) Verwendung. Zur Untersuchung der morphologischen Variabilität und zur Überprüfung der Megasporen wurden sowohl von *I. echinospora* als auch von *I. lacustris* in vertretbarem Umfang in beiden Seen Herbarbelege entnommen, die in den Sammlungen des Staatlichen Museums für Naturkunde in Karlsruhe (KR) hinterlegt sind. Da die Untersuchungen von ROWECK (1986) sowie DREYER & ROWECK (1993) lediglich mit einem Sichtkasten vom Boot aus durchgeführt wurden, im tieferem Wasser wurde stichprobenartig auch mit einer Harke gearbeitet, sind vergleichende Aussagen zu unseren aktuellen Ergebnissen nur unter Vorbehalt möglich. Vor allem was die Verbreitung von *I. echinospora* im Feld- und Titisee anbelangt, scheinen Verwechslungen mit *I. lacustris* in die Verbreitungskarten Eingang gefunden zu haben (s. hierzu auch Kapitel 1). So sind insbesondere die Angaben zur Tiefenverbreitung von *I. echinospora* bei DREYER & ROWECK (1993) fragwürdig. Auch ist zu vermuten, daß die beiden aktuell beobachteten flächigen Bestände von *I. echinospora* im Feldsee bereits zum Zeitpunkt der Untersuchungen von ROWECK (1986), zumindest aber von DREYER & ROWECK (1993) bestanden haben und durch die sehr ungenaue Untersuchungsmethodik vom Boot aus lediglich übersehen worden sind.

4. Ökologie von *Isoëtes echinospora*

Die Isoëtaceen sind sowohl morphologisch als auch ökophysiologisch hervorragend an aquatische Standorte angepaßt. Zu dieser Anpassung zählt die Ausbildung eines CAM-ähnlichen Stoffwechsels, der es den Pflanzen erlaubt, lichtunabhängig, also auch nachts, CO₂ zu fixieren, wenn die übrigen Makrophyten CO₂ im Zuge der Atmung abgeben; des weiteren wird bei den *Isoëtes*-Arten die Fähigkeit zur Refixierung des durch Atmung freigesetzten Kohlenstoffs vermutet (vgl. BENNERT 1999). Daneben können sie unabhängig vom CAM-Stoffwechsel tagsüber auch externes CO₂ fixieren. Als weitere Anpassung an die meist oli-

gotrophen Siedlungsgewässer kommt die Fähigkeit der *Isoëtes*-Arten hinzu, CO₂ direkt aus dem Seesediment über die kräftig entwickelten Wurzeln aufzunehmen (vgl. BENNERT 1999). Dies ist insofern von großem Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Wasserpflanzen nicht-isoëtider Wuchsform, als die CO₂-Konzentration in Wasserschichten des Sedimentes gegenüber der im freien Wasserkörper um das 200- bis 400fache höher sein kann. Ökophysiologisch betrachtet sind die *Isoëtes*-Arten demnach streßtolerante Makrophyten, bei denen Phänomene wie CO₂-Aufnahme über die Wurzeln, effiziente Nutzung des im Wasser gelösten CO₂ mittels des CAM-Stoffwechsels, kleiner Wuchs, geringe Produktionsrate, hohes Wurzel/Sproß-Verhältnis und das Vorhandensein von immergrünen Blättern als Anpassung an nährstoff- und kohlenstoffarme Gewässer gedeutet werden kann (BENNERT 1999). Mit dieser Strategie finden die konkurrenzschwachen Brachsenkräuter ihre ökologische Nische in nährstoffarmen Heide- und Bergseen, die nur wenigen höheren Makrophyten Lebensmöglichkeiten bieten und können hier unter ungestörten Bedingungen oft Dominanzbestände aufbauen (vgl. VAHLE 1990, PIETSCH 1995).

I. echinospora ist eine stenöke Weichwasser-Art und wächst ausschließlich in klaren, oligotrophen und elektrolytarmen, schwach sauren bis neutralen Stillgewässern mit sandigem, kiesigem oder leicht schlammigem Grund. So konnten bei gewässerchemischen Untersuchungen im Jahre 1993 im Feldsee eine Leitfähigkeit von durchschnittlich 0,021 mS₂₅/cm, ein pH-Wert zwischen 6,5 und 7,2 sowie eine Carbonathärte von 0,07 mmol/l (entsprechend 0,35° dH) ermittelt werden (BENNERT 1999). Im Titisee wurden im gleichen Zeitraum mit einer Leitfähigkeit von durchschnittlich 0,061 mS₂₅/cm, einem pH-Wert zwischen 6,7 und 9,2 und einer Carbonathärte von 0,10 – 0,13 mmol/l (entsprechend 0,6 – 0,7 dH) bei allen untersuchten Parametern wesentliche höhere Werte gemessen (BENNERT 1999). *I. echinospora* scheint im Vergleich mit *I. lacustris* etwas lichtliebender zu sein. Die 1993 im Feldsee durchgeführten Messungen ergaben Werte zwischen 55 % und 67 % für den relativen Lichtgenuß, während an den dortigen Beständen von *I. lacustris* ein mittlerer Wert von 59 % gemessen wurde (BENNERT 1999). In die gleiche Richtung deutet auch die Vertikalverbreitung von *I. echinospora*, die von der Niedrigwasserlinie (teilweise periodisch trockenfallende Stellen) bis in die obere Sublitoralzone (maximal 3 m Wassertiefe) reicht; *I. lacustris* hingegen meidet Wassertiefen von weniger als 0,5 m und kann bis in 10 m Tiefe siedeln, vorausgesetzt das Gewässer verfügt über entsprechend klares Wasser. Bei unseren aktuellen Untersuchungen konnten wir im Feldsee für *I. echinospora* eine Tiefenverbreitung zwischen 0,6 m und 2,2 m feststellen (für *I. lacustris* 0,5 – 5 m), im Titisee mit seinem sehr stark getrübbten Wasser wächst

Tafel 1. a) Unterwasseraufnahme eines typischen Exemplares von *Isoëtes echinospora* im Feldsee (10.8.1998). – Alle Fotos: F. & R. PÄTZOLD.



Tafel 1. b) Ausschnitt aus einem flächigen Großbestand von *Isoëtes lacustris* (Unterwasseraufnahme aus dem Feldsee, 10.8.1998).



Tafel 1. c) Exemplar von *Isoëtes lacustris* mit *I. echinospora*-ähnlicher Wuchsform (Unterwasseraufnahme aus dem Titisee, 11.8.1998).



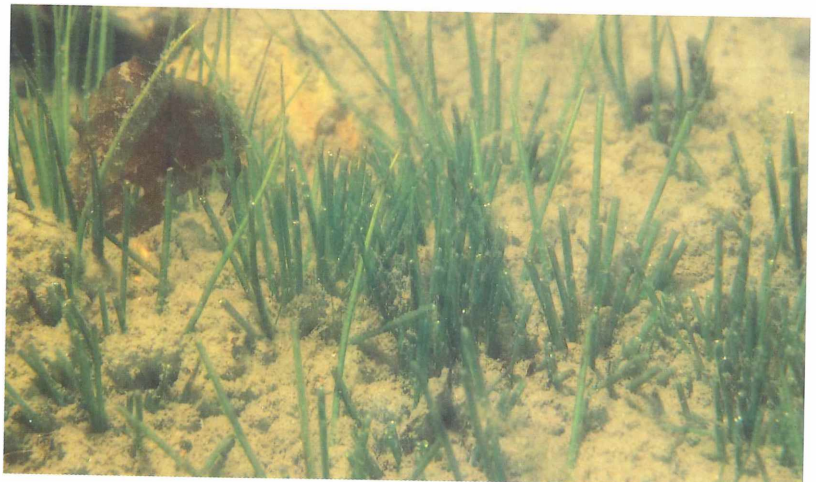
Tafel 2. a) Algenüberzüge und Schlammablagerungen auf Pflanzen von *Isoëtes lacustris* (Unterwasseraufnahme aus dem Titisee, 11.8.1998).



Tafel 2. b) Durch Badebetrieb aus dem Bodengrund gerissene Pflanze von *Isoëtes lacustris* (Trittschäden). Deutlich ist ferner die starke Trübung des Wassers durch aufgewirbelte Sedimente zu erkennen – ebenfalls eine negative Erscheinung des Badebetriebes (Unterwasseraufnahme aus dem Feldsee, 24.9.1999).



Tafel 2. c) Vermutlich durch Stockenten abgeweideter *Isoëtes*-Bestand (Unterwasseraufnahme aus dem Feldsee, 24.9.1999).



die Art zwischen 0,5 und 1,2 m (*I. lacustris* zwischen 1 m und 4,2 m; vgl. auch BENNERT 1999). Während die der ersten Untersuchung durch ROWECK (1986) in den Jahren 1979/80 zugrunde liegenden Angaben zur Tiefenverbreitung von *I. echinospora* unter Annahme damals vorherrschender höherer Wassertransparenz durchaus plausibel erscheinen (Feldsee: 0,2 – 3 m; Titisee: 0,4 – 2,6 m), ist die Angabe der maximal besiedelten Wassertiefe von 4 m im Feldsee im Rahmen der Folgekartierung im Jahr 1989 (DREYER & ROWECK 1993) sehr fragwürdig; vermutlich liegt eine Verwechslung mit *I. lacustris* oder ein Meßfehler vor. Im heute aufgestauten Schluchsee betrug die Tiefenamplitude beider *Isoëtes*-Arten nach OBERDORFER (1934) 0,5 – 1 m.

Pflanzensoziologisch bilden beide heimischen Brachsenkrautarten eine eigenständige Gesellschaft aus, das Isoëtetum echinosporae, für die *I. echinospora* namensgebende Kennart ist. Diese zu den Strandlings-Gesellschaften (Littorelletea uniflorae) zählende Assoziation wird von rasenbildenden bzw. rosettenartig wachsenden Pflanzen mit isoëtider Wuchsform geprägt und besiedelt Rohböden im oberen Sublitoral oligotropher Gewässer (vgl. DIERSSEN 1975). Im Feldsee ist *I. echinospora* mit *I. lacustris* und *Myriophyllum alterniflorum* vergesellschaftet, im Titisee wächst die Art gemeinsam mit *I. lacustris*, *Littorella uniflora* und *Myriophyllum alterniflorum*.

Rückgang und aktuelle Bestandssituation

Vom völligen Erlöschen der Population im Schluchsee einmal abgesehen, hat *I. echinospora* auch im Titi- und Feldsee Bestandseinbußen hinnehmen müssen, und dies offensichtlich nicht erst in den letzten 20 Jahren. Während BRAUN (1862) und in den nachfolgenden Jahren einige andere Autoren (z. B. CASPARY 1870) die Art insbesondere für den südlichen (oberen) Teil des Titisees angeben, konnte ROWECK (1986) sie bei seinen Kartierungen in den Jahren 1979/80 lediglich in der nördlichen Hälfte des Sees nachweisen, hier allerdings zerstreut entlang des gesamten Uferbereiches. Im Rahmen einer Folgekartierung im Jahre 1989 fanden DREYER & ROWECK (1993) das Stachelsporige Brachsenkraut dann im südöstlichen Uferabschnitt und werten dies als eine Neuansiedlung, konnten die Art dafür in einigen anderen Uferbereichen (vor allem am Westufer) nicht mehr bestätigen. Insgesamt konnten die Autoren für den Zeitraum 1979/80 bis 1989 keinen deutlichen Rückgang von *I. echinospora* im Titisee feststellen. Nachdem bei Tauchuntersuchungen im Jahre 1993 die Art vergeblich gesucht wurde, lag schon der Verdacht nahe, sie sei mittlerweile im Titisee erloschen. Im Rahmen unserer gezielten Nachsuche gelangen 1998 erfreulicherweise zwei Bestätigungen. Eine Population mit ca. 30 Pflanzen

wurde im Bereich des Nordufers beobachtet (TK 8014/4), ein weiteres Vorkommen mit 20 Pflanzen konnte in der Flachwasserzone des Nordostufers (TK 8114/2) nachgewiesen werden. Trotz relativ gründlichem Absuchens weiterer Uferpartien im nördlichen Teil des Sees, für die ROWECK (1986) reichere Bestände angibt, wurden keine weiteren Vorkommen von *I. echinospora* beobachtet. Somit läßt sich folgern, daß das Stachelsporige Brachsenkraut, zumindest im Nordteil des Titisees, vermutlich bis auf zwei kleine und räumlich jeweils eng begrenzte (ca. 500 m² bzw. 2 m²) Restpopulationen erloschen ist. Da im Vergleich zu den Kartierungsergebnissen von DREYER & ROWECK (1993) aus dem Jahr 1989 ein fast vollständiges Erlöschen der Art im Titisee innerhalb der letzten 9 Jahre stattgefunden haben muß, erscheinen uns die Befunde dieser Autoren hinsichtlich der Verbreitung von *I. echinospora* im Titisee im Jahr 1989 zu optimistisch und zweifelhaft. Möglich wäre eine Verwechslung von hier häufig wachsenden abweichenden *I. lacustris*-Formen mit *I. echinospora*, zumal lediglich vom Boot aus mit einem Sichtkasten gearbeitet wurde (s. Kapitel 1 u. 3). Plausibler erscheint ein kontinuierlicher Rückgang, der bereits vor 20 Jahren oder noch früher eingesetzt hat (vgl. auch ROWECK 1986), sich dann aber sicherlich in den letzten 10 bis 15 Jahren dramatisch bis zum heutigen, fast vollständigen Erlöschen zugespitzt hat. Auch die Bestände von *I. lacustris* zeigen im Titisee starke Rückgangstendenzen, worauf bereits DREYER & ROWECK (1993) hinweisen.

Im Feldsee hat sich ebenfalls ein empfindlicher Rückgang von *I. echinospora* vollzogen. Während in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts (CASPARY 1870) und auch in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts (MÜLLER 1948: Taf. 30) noch reiche Bestände in der periodisch trockenfallenden Flachwasserzone am Süd- und Westufer des Feldsees vorhanden waren, konstatiert ROWECK (1986) bereits einen Rückgang. Ein krasser Bestandseinbruch scheint allerdings erst innerhalb der letzten beiden Dezenien erfolgt zu sein. Ein Vergleich der Kartierungsergebnisse aus den Jahren 1979 und 1980 (Abb. 3) mit unseren aktuellen Befunden (Abb. 4) macht einen alarmierenden Rückgang deutlich. Während ROWECK (1986) das Stachelsporige Brachsenkraut noch in individuenreicheren Beständen sowohl am Westufer des Feldsees (südlich des Einflusses) als auch im Flachwasserbereich des nordöstlichen Seeabschnittes (Ausfluß) nachweisen konnte und auch DREYER & ROWECK (1993) die Art bei ihrer Wiederholungskartierung in diesen Gewässerabschnitten noch vorfinden konnten, wächst *I. echinospora* heute nur noch entlang des Ostufers in nennenswerter Zahl. Am Westufer (Bereich des heutigen offiziellen Badeufers) konnten wir *I. echinospora* lediglich noch an zwei Wuchsstellen mit drei Exemplaren bzw. einer Einzelpflanze finden; am Nordostufer war nur noch ein Einzelexemplar vorhanden. Nur in der Flach-

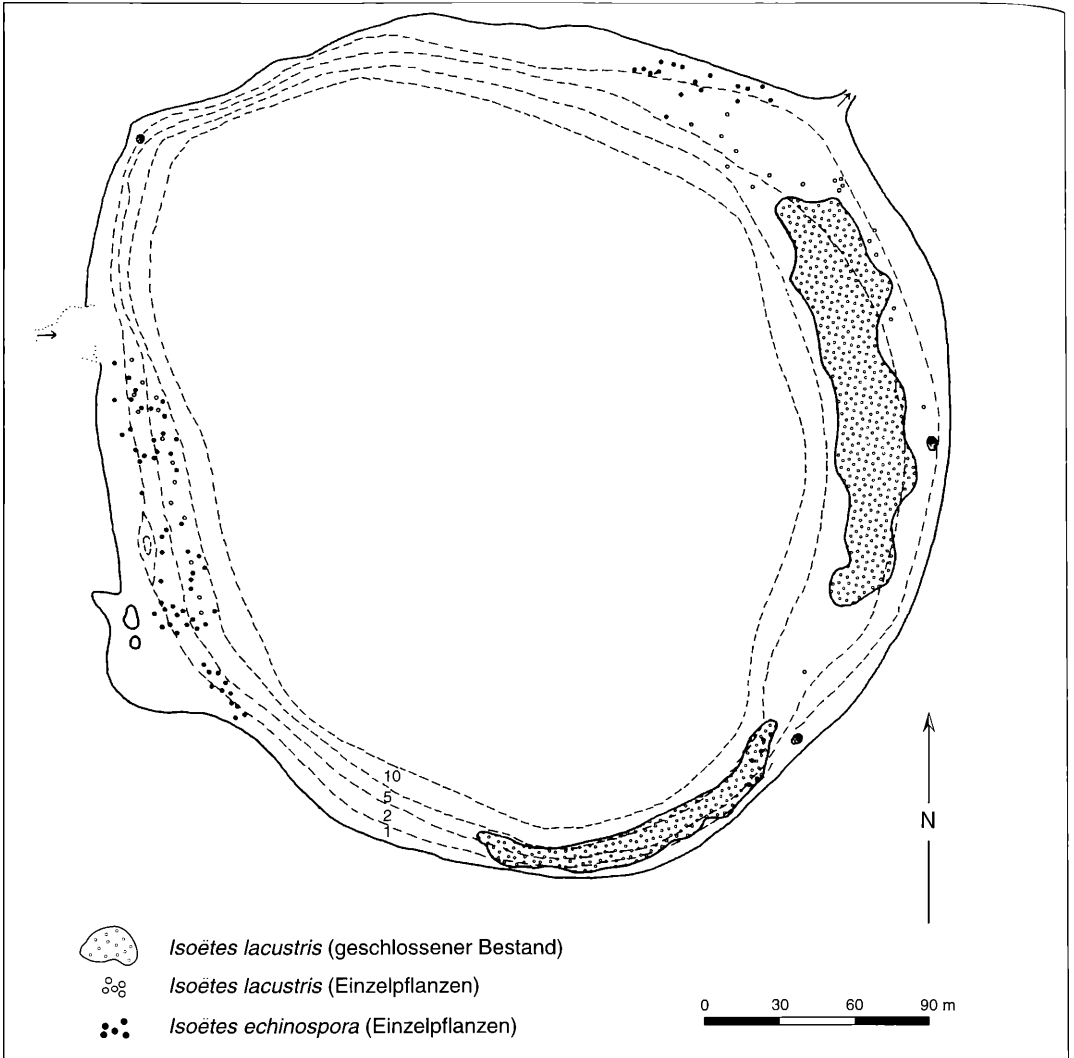


Abbildung 3. Verbreitung von *Isoetes echinospora* und *I. lacustris* im Untersuchungszeitraum 1979/80 im Feldsee (aus ROWECK 1986).

wasserzone entlang des Ostufers kommt das Stachelsporige Brachsenkraut heute noch in individuenreicheren Beständen vor; neben kleinen Gruppen und Einzelpflanzen finden sich auch zwei flächige Bestände, allerdings von eher kleiner Ausdehnung (jeweils auf 15 – 20 m²). Eine Gruppe von vier Einzelpflanzen wurde von uns noch im südlichen Uferabschnitt des Feldsees beobachtet. Interessanterweise gibt ROWECK (1986) für den östlichen Uferbereich, wo sich heute der Schwerpunkt des Feldsee-Population befindet, nur wenige Einzelpflanzen an. Entweder hat sich die Art innerhalb der letzten 20 Jahre hier neu etabliert oder, was eher zu vermuten ist, sie wurde bei früheren Kar-

tierungen (ROWECK 1986, ROWECK & DREYER 1993) auf Grund ungenauer Untersuchungsmethodik (Boot und Sichtkasten) lediglich übersehen. Ungeachtet dieser Diskrepanz muß auch für den Feldsee ein starker Bestandseinbruch innerhalb der letzten 10 Jahre konstatiert werden. Die Bestände von *I. lacustris* sind nach wie vor stabil; ein spürbarer Rückgang ist bei dieser Art nicht nachzuweisen (vgl. auch DREYER & ROWECK 1993, BENNETT 1999). Insgesamt wurden aktuell nur rund 100 Pflanzen von *I. echinospora* im Feldsee nachgewiesen. Somit ergibt sich für Feld- und Titisee zusammengenommen eine Bestandsgröße von etwa 150 Pflanzen. Sowohl die Population im

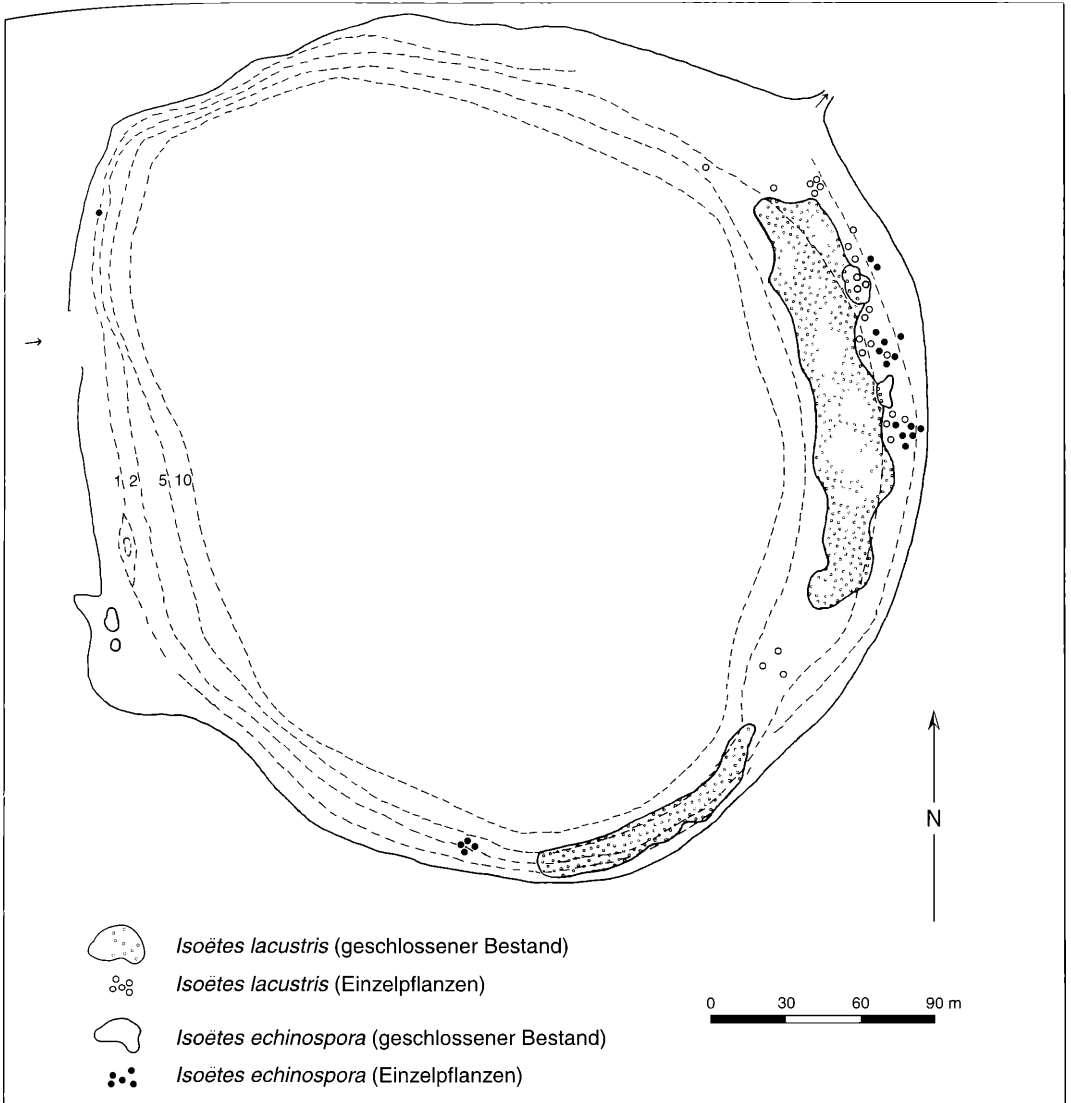


Abbildung 4. Verbreitung von *Isoetes echinospora* und *I. lacustris* im Untersuchungszeitraum 1998/99 im Feldsee (aus ROWECK 1986, verändert).

Feldsee als auch die Bestände im Titisee dürften allmählich die kritische untere Populationsgröße erreicht haben. Zwar sind die Bestände in beiden Gewässern zum überwiegenden Teil noch fertil, allerdings zeigen die Pflanzen des Titisees (Blattlängen von maximal 8 cm) gegenüber den Exemplaren im Feldsee (Blattlängen von bis zu 18 cm) bereits kümmerliches Wachstum. Auch die Blattzahl pro Rosette ist im Titisee bereits deutlich herabgesetzt. Da nach Untersuchungen von VÖGE (1997a, b) an *I. lacustris* Rosettengröße bzw. Blattzahl mit der Sporenproduktion korre-

liert sind, sind diese Beobachtungen ein zusätzliches Alarmzeichen und lassen ein baldiges Zusammenbrechen der kleinen Restbestände befürchten, da ein dauerhaftes Überleben einer Brachsenkrautpopulation, selbst unter unverändert günstigen standortökologischen Voraussetzungen, primär von einer ausreichenden Sporenproduktion (vor allem Megasporen) abhängt (VÖGE 1998).

6. Gefährdungsfaktoren

Als grundsätzlichen Gefährdungsfaktor für die konkurrenzschwachen und stenöken Brachsenkraut-Arten nennen verschiedene Autoren (VÖGE 1988, 1992, VAHLE 1990, ARTS & BUSKENS 1998, DIERSSEN 1996, 1998, BENNERT 1999) übereinstimmend die allgemein zu beobachtende Eutrophierung vieler Gewässer durch Luftimmissionen und vor allem durch die ständige Intensivierung in der Landwirtschaft (Einschwemmen von Düngemitteln) und die daraus resultierende Erhöhung der Primär- und Sekundärproduktion im Wasserkörper. Hinzu kommt ein in den letzten Jahren ständig zunehmender Freizeitdruck durch Bade- und Bootsbetrieb. Als Folge dieser Negativeinflüsse weisen viele ehemals oligotrophe Seen heute meso- bis eutrophe Bedingungen auf; es kommt zu einer Verschiebung des Konkurrenzgefüges zu Ungunsten der *Isoëtes*-Arten und anderer Isoëtiden. Durch verstärktes Nährstoffangebot werden diese konkurrenzschwachen und produktionsarmen Arten von schnellerwüchsigen, eutröphen Makrophyten verdrängt. Als weiterer Faktor wird zum einen die Versauerung vieler Gewässer angeführt (trifft vor allem in skandinavischen und niederländischen, aber auch in norddeutschen *Isoëtes*-Seen zu; vgl. BENNERT 1999), auf der anderen Seite aber auch ein deutlicher Anstieg des pH-Wertes genannt (so im Titisee; BENNERT 1999). Durch Dystrophierung können Moose (insbesondere Torfmoose) zu massiv auftretenden Konkurrenten der Isoëtiden werden und diese schließlich überwachsen, bei einem pH-Anstieg nimmt das im Wasser gelöste CO_2 ab und Wasserpflanzen, welche im Gegensatz zu *Isoëtes*-Arten auch HCO_3^- als Kohlenstoffquelle nutzen können, sind im Konkurrenzvorteil (vgl. BENNERT 1999). Neben der Zunahme schnellerwüchsiger Wasserpflanzen kommt es durch vermehrtes Nährstoffangebot zu verstärktem Wachstum von Algen sowie zu Schlammablagerungen auf den *Isoëtes*-Pflanzen (Taf. 2a), wodurch ihre Assimilationsleistung stark herabgesetzt wird. Die insbesondere im Titisee zu beobachtende Massenentwicklung von Plankton führt zu einer drastischen Herabsetzung der Lichteinstrahlung ab einer gewissen Wassertiefe (BENNERT 1999); allein im Zeitraum zwischen 1960 und 1970 betrug die mittlere Minderung der Sichttiefe im Titisee jährlich 0,4 m (SZYMANSKI-BUCAREY 1974). Hierdurch wird die in erster Linie vom Faktor Licht abhängige Tiefenverbreitung der Brachsenkraut-Arten stark eingeschränkt; ein Vergleich unserer aktuellen Beobachtungen zur Tiefenamplitude mit den Messungen von DREYER & ROWECK (1993) aus dem Jahr 1989 sowie den Befunden von ROWECK (1986) aus den Vegetationsperioden 1979 und 1980 bestätigen diese Entwicklung (vgl. Kapitel 4). Die sich im Zuge einer voranschreitenden Eutrophierung bildende mächtige Schicht organischer Ablagerungen stellt auch ein mechanisches Problem

für die Brachsenkräuter dar, da durch Auflagerungen auf dem sandig-kiesigem Seeboden einerseits schlechtere Verankerungsmöglichkeiten bestehen und die *Isoëtes*-Arten darüberhinaus offensichtlich nicht in der Lage sind, mittels vertikalem Rhizomwachstums die ständig wachsende Auflage zu durchdringen, so daß die Pflanzen immer mehr im Detritus versinken (Taf. 2a; vgl. auch BENNERT 1999).

Durch den in den letzten Jahren stark zunehmenden Freizeitdruck kommt als weitere Faktorengruppe eine direkte anthropogene Schädigung der *Isoëtes*-Bestände hinzu. Hier sind insbesondere das Bootfahren (Titisee) sowie das Baden (Titi- und Feldsee) zu nennen. Durch den Badebetrieb wird nicht nur den allgemein zu beobachtenden Eutrophierungerscheinungen zusätzlich Vorschub geleistet, die *Isoëtes*-Pflanzen werden vor allem direkt durch mechanische Beschädigungen und durch ständig aufgewirbelte Sedimente beeinträchtigt. Im Wasser wachsende, spielende oder schwimmende Menschen sorgen im Flachwasserbereich für erhebliche Turbulenzen und damit verbundene Sedimentaufwirbelungen, die im Bereich der Badestellen zusammen mit direkten Trittschäden (Taf. 2b) die auf dem Gewässerboden wachsende empfindliche Isoëtiden-Vegetation stark schädigen oder sogar vollständig unterdrücken (vgl. auch VAHLE 1990). Vor allem *I. echinospora* mit seiner Bevorzugung der Flachwasserzone bis 1,5 m Tiefe ist hiervon betroffen, da gerade die Flachwasserbereiche zum "Plantschen" und zum Hineinwaten ins Wasser frequentiert werden. Hinzu kommt die mehr ausgebreitete Wuchsform und die sehr leicht zerbrechlichen Blätter der Art. Ein wohl eindeutiger Beleg für die Gefährdung durch den Badebetrieb stellt das fast vollständige Erlöschen des Stachelsporigen Brachsenkrautes in der Flachwasserzone entlang des Westufers (heutige offiziell genehmigte Badestelle) und auch am Nordostufer (von vielen Wanderern zum Hineinwaten und Erfrischen genutzter Bereich) des Feldsees innerhalb der letzten 10 bis 15 Jahre dar! Auch im Titisee dürfte neben der bereits starken Eutrophierung der Badebetrieb wesentlichen Anteil am starken Rückgang der Art haben. Bemerkenswert ist, daß beide aktuell beobachteten Populationen im Bereich von im Privatbesitz befindlichen Uferabschnitten vorkommen, an denen nahezu kein Badebetrieb stattfindet. Der Bootsbetrieb (im Uferbereich vor allem Tret- und Ruderboote) auf dem Titisee stellt eine weitere Gefährdung dar, da es zu starken Wasserturbulenzen mit Sedimentaufwirbelungen kommt. Im Feldsee sind bereits zwei Arten der Strandlings-Vegetation (*Littorella uniflora* und *Sparganium angustifolium*) ausgestorben. Die noch 1990 vom Erstautor beobachteten Restbestände der letztgenannten Arten sind erst innerhalb der letzten 9 Jahre durch den Badebetrieb erloschen; die Art ist jetzt im gesamten Bundesland Baden-Württemberg vermutlich ausgestorben! Für die Bestände von *I. echinospora* im

Lac de Longemer (West-Vogesen) wird bereits vor 30 Jahren der Hotel- und Badebetrieb als ernste Gefährdung genannt (RASTETTER 1966); die Populationen zeigten damals bereits stark rückläufige Tendenz, wurden letztmalig 1974 bestätigt (RASTETTER 1974) und gelten mittlerweile als erloschen (RASTETTER 1993). Für zwei ebenfalls früher im Lac de Longemer vorgekommenen Arten der Strandlings-Vegetation (*Subularia aquatica* und *Sparganium angustifolium*) nennt RASTETTER (1974, 1993) ebenfalls den Badebetrieb als Ursache des Aussterbens. Am Feldsee kommt als weiteres Problem eine zeitweise relativ große Population von Stockenten hinzu, die durch fütternde Wanderer und Badegäste angelockt, dann längere Zeit auf dem für sie sonst unwirtlichen See verweilen. Dies führt neben einer zusätzlichen Eutrophierung durch Futterreste und Entenkot auch zu unmittelbaren Schäden. So wurden in der Flachwasserzone des Feldsees (0,5 – 0,75 m Wassertiefe) während eines Tauchganges im September 1999 Fraßspuren an Beständen von *Isoëtes echinospora* und *I. lacustris* beobachtet, die vermutlich durch Stockenten verursacht wurden (Taf. 2c). Allerdings ist auch der Bisam als möglicher Verursacher nicht gänzlich auszuschließen, wie Beobachtungen vor einigen Jahren gezeigt haben (BENNERT 1999).

7. Möglichkeiten des Schutzes

Wichtigstes Ziel von Schutzmaßnahmen muß die Eindämmung der Eutrophierung sein. Folgende grundsätzliche Maßnahmen kommen hierzu in Frage (vgl. auch VAHLE 1990, BENNERT 1999):

- Schaffung von Pufferzonen um die Gewässer (Titisee)
- Einschränkung und Lenkung des Freizeitbetriebes (Feld- und Titisee)
- Entschlammung des Seebodens (Titisee)
- Unterbinden der Nährstoffeinträge aus angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen (Titisee).

Am Feldsee als wohl einzigem noch weitgehend intakten oligotrophen Glazialsee Deutschlands sind renaturierende Maßnahmen vorerst nicht notwendig. Hier könnten sich die noch in ausreichend vitalen Beständen vorhandenen Brachsenkräuter bei Wegfall der Freizeitnutzung längerfristig halten. Vor allem der Badebetrieb mit seinen zahlreichen negativen Begleiterscheinungen für die empfindliche Isoëtiden-Vegetation muß komplett unterbunden werden! Auch das Baden am bislang offiziell freigegebenen Uferabschnitt sollte untersagt werden. In diesem Bereich wäre dann eine Wiederansiedlung vor allem von *I. echinospora* zu erwarten. Ein generelles Badeverbot würde auch endlich dem seit langem bestehenden Status als Naturschutzgebiet gerecht werden. Ebenso sollte eine Fütterung von Wasservögeln unterbunden werden. Zur wir-

kungsvolleren Umsetzung dieser Maßnahmen bietet sich gerade am Feldsee zur Aufklärungs- und Vermittlungsarbeit das Aufstellen von Schautafeln, die Einrichtung eines Lehrpfades rund um den See sowie das Erstellen eines Faltblattes an. Auch erscheinen regelmäßige Kontrollgänge durch die Naturschutzwacht notwendig und sinnvoll.

Am stark frequentierten und bebauten Titisee ist die Ausgangssituation für einen wirkungsvollen Schutz der Isoëtiden-Vegetation wesentlich ungünstiger. Hier reichen Schutzmaßnahmen alleine nicht mehr aus. Neben dem Eindämmen der nach wie vor stark voranschreitenden Eutrophierung sind umfangreiche renaturierende Maßnahmen wie das Entschlammten des Seebodens notwendig. Die derzeit rund um das gesamte Seeufer vorhandene Freizeitnutzung sollte gelenkt und reglementiert werden; mit Hilfe von Bojenketten und Umzäunungen könnten partiell einige Ufer- und Seeabschnitte für den Bade- und Bootsbetrieb gesperrt werden; Aufstellen von Schranken und Einschränkungen der Parkmöglichkeiten sind weitere Möglichkeiten zur Lenkung des Tourismus. Massive Konflikte mit angrenzenden Gemeinden und vom Tourismus abhängigen Wirtschaftszweigen sind hier allerdings vorprogrammiert! Im Falle einer solchen Nutzungsbeschränkung muß deren Einhaltung von der zuständigen Naturschutzbehörde kontrolliert werden. Insgesamt ist die Erarbeitung eines umfassenden Management- und Renaturierungskonzeptes für den Titisee, und diesem vorangehend eine flächendeckende aktuelle Kartierung der Strandlingsvegetation, notwendig, will man die Isoëtiden in diesem Gewässer für die Zukunft erhalten. Auch am Titisee sollte im Rahmen von Aufklärungsarbeit bei der Bevölkerung für den Schutz des Gewässers mit seinen charakteristischen Arten geworben werden.

Sollte es innerhalb der nächsten Jahre nicht gelingen, die für den Erhalt der *Isoëtes*-Bestände in Feld- und Titisee zwingend notwendigen Schutz- und Managementmaßnahmen durch- bzw. umzusetzen, so ist mit einem weiteren Rückgang zu rechnen. Für die kleinen Restpopulationen von *I. echinospora* steht sogar ein baldiges Erlöschen zu befürchten, mit dem die Art dann im Gebiet der gesamten Bundesrepublik Deutschland ausgestorben wäre. Diese Entwicklung wäre insofern dramatisch, da das Stachelsporige Brachsenkraut auch in anderen europäischen Ländern starke Rückgangstendenzen zeigt und bereits stark gefährdet oder sogar vom Aussterben bedroht ist (vgl. BENNERT 1999). Wir sollten alles Menschenmögliche tun, um dieses faszinierende Relikt eines längst vergangenen Klima- und Vegetationsabschnittes für unsere Flora zu erhalten, denn, um es mit den Worten von VÖGE (1998) zu sagen: "Das Brachsenkraut, unscheinbar aber kostbar, standhaft bei Nährstoffmangel und Kälte, schafft nur eines nicht: die Anpassung an die Umweltsünden des Menschen!"

Danksagung

Herrn R. PÄTZOLD (Gaggenau) gilt unser Dank für die tatkräftige und engagierte Unterstützung bei den Tauchkartierungen sowie bei der Fotodokumentation unter Wasser. Herr Prof. Dr. H. W. BENNERT (Bochum) sah dankenswerterweise das Manuskript durch und gab wertvolle Anregungen. Herrn S. SALISBURY (Karlsruhe, Sydney) danken wir für die Korrektur der englischsprachigen Kurzfassung. Die Herren Dr. W. LIPPERT (München), Dr. H.-H. POPPENIECK (Hamburg) und Prof. Dr. S. SEYBOLD (Stuttgart) ermöglichten freundlicherweise die Ausleihe von Herbarmaterial aus der Botanischen Staatssammlung München, dem Herbarium Hamburgense bzw. dem Herbarium des Staatlichen Museums für Naturkunde Stuttgart. Herr Dr. H.-J. ZÜNDORF (Jena) gab uns Auskünfte über das angebliche Vorkommen von *I. echinospora* in Thüringen. Herrn V. GRIENER (Karlsruhe) danken wir für das Anfertigen der Herbarfotos. Die Durchführung der Tauchkartierungen im Feld- und Titisee im Jahr 1998 erfolgte im Rahmen des Artenschutz-Programms Baden-Württemberg und wurde mit entsprechenden Mitteln finanziert. Die Untersuchungen im Feldsee waren durch eine Ausnahmegenehmigung des Regierungspräsidiums Freiburg möglich geworden, wofür an dieser Stelle nochmals gedankt sei.

Literatur

- ARTS, G. H. P. & BUSKENS, R. F. M. (1998): The vegetation of soft-water lakes in The Netherlands in relation to human influence and restoration measures, with special attention to the association Isoeto-Lobelietum. – Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein Hamburg, **57**: 111-120; Kiel.
- BENKERT, D., FUKAREK, F. & KORSCH, H. (Hrsg.) (1996): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Ostdeutschlands (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen). – 615 S., 3 Folien als Beilage; Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm (Fischer).
- BENNERT, H. W. (1999): Die seltenen und gefährdeten Farnpflanzen Deutschlands – Biologie, Verbreitung, Schutz. Unter Mitarbeit von HORN, K., BENEMANN, J. & HEISER, T. und mit Photographien von RASBACH, H. & RASBACH, K. u. a. – 381 S.; Münster-Hiltrup (Landwirtschaftsverlag).
- BRAUN, A. (1862): Zwei deutsche *Isoetes*-Arten nebst Winken zur Aufsuchung derselben und ein Anhang über einige ausländische Arten derselben Gattung. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg, **3/4**: 299-333; Berlin.
- CASPARY, R. (1870): Die *Nuphar* der Vogesen und des Schwarzwaldes. – Abh. Naturf. Ges. Halle, **11**: 181-270, Tab. I, Taf. I-II; Halle.
- CHRISTIANSEN, W. (1953): Neue kritische Flora von Schleswig-Holstein. – 532 S., Anhang I-XXXX, 1 Karte; Rendsburg (Möller Söhne).
- DIERSSEN, K. (1975): *Littorelletea uniflorae* Br.-Bl. et Tx. 43. Prodrum der europäischen Pflanzengesellschaften. Lieferung 2. – 149 S., 1 Tabelle als Beilage; Vaduz (Cramer).
- DIERSSEN, K. (1996): Vegetation Nordeuropas. Unter Mitarbeit von DIERSSEN, B. – 838 S.; Stuttgart (Ulmer).
- DIERSSEN, K. (1998): Die Isoetiden-Story: Oligotrophe Gewässer, Anpassungen der Isoetiden und Veränderungen der Standorte in jüngster Zeit. – Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein Hamburg, **57**: 53-66; Kiel.
- DÖLL, J. C. (1862): Flora des Grossherzogthums Baden. Bd. 3. – S. 963-1429; Karlsruhe (Braun).
- DONAT, A. (1928): Einige Isoetiden (*Lobelia Dortmanna* L., *Subularia aenica* L., *Isoetes lacustris* L., *I. echinospora* DUR.). – In: HANNIG, E. & WINKLER, H. (Hrsg.): Die Pflanzenareale. 1. Reihe, Heft 8: 89-93, Karten 74-79; Jena (Fischer).
- DONAT, A. (1933): Die Verbreitung einiger Isoetiden II. – In: HANNIG, E. & WINKLER, H. (Hrsg.): Die Pflanzenareale. 3. Reihe, Heft 8: 91-94, Karten 76-78; Jena (Fischer).
- DOSTÁL, J. (1984): Ordnung Isoetales. Brachsenkrautartige Pflanzen. – In: KRAMER, K. U. (Hrsg.): Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Begr.: HEGI, G. Band 1, Teil 1. Pteridophyta: 50-54. 3. Aufl.; Berlin, Hamburg (Parey).
- DREYER, S. & ROWECK, H. (1993): Veränderungen in der submersen Makrophytenvegetation des Feldsees und Titisees im Süd-Schwarzwald (ein Vergleich der Kartierungsergebnisse von 1979/80 und 1989). – Ber. Inst. Landschafts-Pflanzenökologie Univ. Hohenheim, **2**: 71-82; Stuttgart-Hohenheim.
- ENDRESS, P. K. & GRAESER, S. (1972): *Isoetes lacustris* L. Ein Neufund in der Schweiz und seine pflanzengeographische Bedeutung. – Jahrb. Ver. Schutze Alpenpflanzen u. -Tiere, **37**: 162-175; München.
- FIRBAS, F., GRÜNG, G., WEISCHEDL, I. & WORZEL, G. (1948): Beiträge zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Vogesen. – Bibl. Bot., **121**: 1-76, 5 Beilagen; Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1957): Über interglaziale, spät- und postglaziale Funde von *Isoetes tenella*, *Ephedra* und *Armeria* in Oberschwaben. – Ber. Deutsch. Bot. Ges., **70**: 139-144; Stuttgart.
- JALAS, J. & SUOMINEN, J. (eds.) (1972): Atlas Florae Europaeae. Distribution of vascular plants in Europe. Vol. 1: Pteridophyta (Psilotaceae to Azollaceae). – 121 pp, 1 map as appendix; Helsinki (The Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo).
- JERMY, A. C. (1990): Isoetaceae. – In: KUBITZKI, K. (ed.): The families and genera of vascular plants. Vol. 1: Pteridophytes and Gymnosperms (ed. by KRAMER, K. U. & GREEN, P. S.): 26-31. Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- JERMY, A. C. & AKEROYD, J. R. (1993): *Isoetes* L. – In: TUTIN, T. G., BURGESS, N. A., CHATER, A. O., EDMONDSON, J. R., HEYWOOD, V. H., MOORE, D. M., VALENTINE, D. H., WALTERS, S. M. & WEBB, D. A. (eds.): Flora Europaea. Vol. 1: Psilotaceae to Platanaceae (2nd ed.): 6-7. Cambridge (Cambridge University Press).
- JUNGE, P. (1910): Die Pteridophyten Schleswig-Holsteins einschließlich des Gebietes der freien und Hansestädte Hamburg (nördlich der Elbe) und Lübeck und des Fürstentums Lübeck. – Jahrb. Hamburg. Wiss. Anst., **27**, Beih. **3**: 49-245; Hamburg.
- KATHEDEK, A. (1994): Ökologische Untersuchungen an gefährdeten Farnpflanzen aquatischer Standorte in Deutschland. – 218 S., Unveröff. Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum.
- LANG, G. (1952): Zur späteiszeitlichen Vegetations- und Florenngeschichte Südwestdeutschlands. – Flora, **139**: 243-294; Jena.
- LANG, G. (1954): Neue Untersuchungen über die spät- und nacheiszeitliche Vegetationsgeschichte des Schwarzwaldes. I. Der Hotzenwald im Südschwarzwald. – Beitr. naturk. Forsch. SüdwDtl., **13** (1): 3-42, Taf. I-II; Karlsruhe.
- LANG, G. (1955): Über spätquartäre Funde von *Isoetes* und *Najas flexilis* im Schwarzwald. – Ber. Deutsch. Bot. Ges., **68**: 24-27; Stuttgart.

- LANG, G. (1958): Neue Untersuchungen über die spät- und nacheiszeitliche Vegetationsgeschichte des Schwarzwaldes. III. Der Schurmsee im Nordschwarzwald. Ein Beitrag zur Kiefernfrage – Beitr. naturk. Forsch. SüdwDtl., **17** (1): 20-34; Karlsruhe.
- LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. – 462 S.; Jena (Fischer).
- LOTTER, A. F. & HÖLZER, A. (1989): Spätglaziale Umweltverhältnisse im Südschwarzwald: Erste Ergebnisse paläolimnologischer und paläoökologischer Untersuchungen an Seesedimenten des Hirschenmoores. – *Carolinea*, **47**: 7-14, Taf. 1 u. 2 als Beilage; Karlsruhe.
- LOTTER, A. F. & HÖLZER, A. (1994): A high-resolution late-glacial and early holocene environmental history of Rotmeer, southern Black Forest (Germany). – *Diss. Bot.*, **234**: 365-388; Berlin, Stuttgart.
- LUERSEN, C. (1889): Die Farnpflanzen oder Gefäßbündelkryptogamen (Pteridophyta). Dr. L. RABENHORST's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz. Bd. 3. – 2. Aufl., 906 S.; Leipzig (Kummer).
- MELZER, A. (1976): Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen dargestellt im Rahmen limnologischer Untersuchungen an den Osterseen und den Eggstätt-Hemhofer Seen (Oberbayern). – *Diss. Bot.*, **34**: I-V, 1-195; Vaduz.
- MEUSEL, H., JÄGER, E. & WEINERT, E. (Hrsg.) (1965): Vergleichende Chorologie der zentraluropäischen Flora. Bd. 1, Text. – 583 S.; Jena (VEB Fischer).
- MÜLLER, H. (1970): Ökologische Veränderungen im Otterstedter See im Laufe der Nacheiszeit (Limnogeologische Untersuchungen an niedersächsischen Binnengewässern IX). – *Ber. Naturhist. Ges. Hannover*, **114**: 33-47; Hannover.
- MÜLLER, H. & KLEINMANN, A. (1998): Palynologische Untersuchung eines Sedimentprofils aus dem Wollingster See. – *Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein Hamburg*, **57**: 44-52, 2 Abb. als Anhang; Kiel.
- MÜLLER, K. (1948): Die Vegetationsverhältnisse im Feldberggebiet. – In: MÜLLER, K. (Hrsg.): *Der Feldberg im Schwarzwald. Naturwissenschaftliche, landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche, geschichtliche und siedlungsgeschichtliche Studien*: 211-362; Freiburg i. Br. (Bielefeld).
- OBERDORFER, E. (1931): Die postglaziale Klima- und Vegetationsgeschichte des Schluchsees (Schwarzwald). – *Ber. Naturf. Ges. Freiburg*, **31** (1/2): 1-85; Freiburg i. Br.
- OBERDORFER, E. (1934): Die höhere Pflanzenwelt am Schluchsee (Schwarzwald). – *Ber. Naturf. Ges. Freiburg*, **34**: 213-247; Freiburg i. Br.
- PHILIPPI, G. (Bearb.) (1993): Isoëtaceae. Brachsenkräuter. – In: SEBALD O., SEYBOLD, G. & PHILIPPI, G. (Hrsg.): *Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs*. Bd. 1: Allgemeiner Teil, Spezieller Teil (Pteridophyta, Spermatophyta): *Lycopodiaceae bis Plumbaginaceae*: 73-77 2. Aufl.; Stuttgart (Ulmer).
- PIETSCH, W. (1995): Classification problems of European Littorelletea communities. – *Ann. Bot.*, **53**: 59-64; Rom.
- PRÄHL, P. (1882): Entdeckung der *Isoëtes echinospora* DUR. in Holstein. – *Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg*, **23**: 13-16; Berlin.
- RAABE, E. W., BROCKMANN, C. & DIERSSEN, K. (1982): Verbreitungskarten ausgestorbener, verschollener und sehr seltener Gefäßpflanzen in Schleswig-Holstein. – *Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein Hamburg*, **32**: 1-317; Kiel.
- RASTETTER, V. (1966): Beitrag zur Phanerogamen- und Gefäß-Kryptogamen-Flora des Haut-Rhin. – *Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Naturschutz N. F.*, **9** (1): 151-237; Freiburg i. Br.
- RASTETTER, V. (1974): Zweiter Beitrag zur Phanerogamen- und Gefäß-Kryptogamen-Flora des Haut-Rhin. – *Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Naturschutz N. F.*, **11** (2): 119-133; Freiburg i. Br.
- RASTETTER, V. (1993): Floristische Langzeitbeobachtungen zu einigen seltenen Pflanzen im Oberelsaß. – *Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Naturschutz N. F.*, **15** (3/4): 587-605; Freiburg i. Br.
- ROTHMALER, W. (1929): Die Pteridophyten Thüringens. – *Mitt. Thüring. Bot. Ver. N. F.*, **38**: 92-118; Weimar.
- ROWECK, H. (1986): Zur Vegetation einiger Stillgewässer im Südschwarzwald. – *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **66** (4): 455-494; Stuttgart.
- SCHILDKNECHT, J. (1862): Nachtrag zu SPENNERS Flora Friburgensis. – Beilage zum Programm der höheren Bürgerschule Freiburg, Schuljahr 1861/62; VI + 62 S.; Freiburg i. Br. (Wagner).
- SCHLOSS, S. (1979): Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen im Sewensee. Ein Beitrag zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte der Südvogesen. *Diss. Bot.*, **52**: 1-138, 10 Diagramme als Beilage; Vaduz.
- SCHLOSS, S. (1987): Ein spätglaziales Pollenprofil von der Hornsgrinde – Nordschwarzwald. – *Carolinea*, **45**: 167-168, Taf. 4 als Beilage; Karlsruhe.
- SCHWARZ, O. (1925): Beiträge zur Kenntnis der Flora von Thüringen. – *Mitt. Thüring. Bot. Ver. N. F.*, **36**: 26-30; Weimar.
- STRAKA, H. (1975): Die spätquartäre Vegetationsgeschichte der Vulkaneifel. Pollenanalytische Untersuchungen an vermoorten Maeren. – *Beitr. Landespfl. Rheinland-Pfalz, Beih.* **3**: 1-163, Taf. I-XXI u. Tab. 1 als Beilage; Oppenheim.
- SZYMANSKI-BUCAREY, E. (1974): Untersuchung über die Eutrophierung des Titisees und ihre Auswirkung auf die Populationsdynamik des Zooplanktons. Teil 1. – *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **47** (1): 119-166; Stuttgart.
- TAYLOR, W. C., LUEBKE, N. T., BRITTON, D. M., HICKEY, R. J. & BRUNTON, D. F. (1993): Isoëtaceae REICHENBACH – Quillwort family. – In: *FLORA OF NORTH AMERICA EDITORIAL COMMITTEE* (ed.): *Flora of North America North of Mexico*. Vol. 2: Pteridophytes and Gymnosperms: 64-75. New York, Oxford (Oxford University Press).
- VAHLE, H.-C. (1990): Grundlagen zum Schutz der Vegetation oligotropher Stillgewässer in Nordwestdeutschland. – *Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachs.*, **22**: 1-157; Hannover.
- VÖGE, M. (1988): Tauchuntersuchungen der submersen Vegetation in skandinavischen Seen unter Berücksichtigung der Isoetiden-Vegetation. – *Limnologica*, **19** (2): 89-107; Berlin.
- VÖGE, M. (1992): Tauchuntersuchungen an der submersen Vegetation in 13 Seen Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung der Isoetiden-Vegetation. – *Limnologica*, **22** (1): 82-96; Jena.
- VÖGE, M. (1997a): Plant size and fertility of *Isoëtes lacustris* L. in 20 lakes of Scandinavia: a field study. – *Arch. Hydrobiol.*, **139** (2): 171-185; Stuttgart.
- VÖGE, M. (1997b): Number of leaves per rosette and fertility characters of the quillwort (*Isoëtes lacustris* L.) in 50 lakes of Europe: a field study. – *Arch. Hydrobiol.*, **139** (3): 415-431; Stuttgart.
- VÖGE, M. (1998): Der Schatz im Wollingster See: das See-Brachsenkraut *Isoëtes lacustris*. – *Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein Hamburg*, **57**: 79-85; Kiel.

WELTEN, M. (1967): Ein Brachsenkraut, *Isoëtes setacea* LAM., fossil im schweizerischen Molasseland. Diskussionsbeitrag zu den Begriffen des Areal und des historischen Elementes. – Bot. Jahrb., **86** (1-4): 527-536; Stuttgart.