

Ökologische Bewertung von Stehgewässern anhand biologischer Kriterien

ANDREAS GRÜNDEL, GABRIELE HOFMANN, EBERHARD HOEHN, ANNETTE TWORECK & MARCUS WERUM



1. Gütebewertung von Stehgewässern in Hessen

Die Stehgewässer in Hessen sind künstliche Seen, die durch Abgrabungen von Kies oder durch Ausbeutung von Kohle entstanden sind, oder erheblich veränderte Gewässer wie Talsperren, die aus Gründen des Hochwasserschutzes oder der Niedrigwassererhöhung angelegt wurden. Insgesamt gibt es 773 Seen, die größer als ein Hektar sind, davon haben 81 Stehgewässer eine Fläche von mehr als zehn Hektar. Innerhalb eines Seennessprogramms werden 26 Stehgewässer jährlich und 55 Seen alle zwei Jahre auf die Gewässergüte untersucht. Die Gütebewertung erfolgt derzeit über die Erfassung physikalisch-chemischer Parameter, die den Tro-

phiegrad des Gewässers kennzeichnen. Dies sind vorwiegend die Parameter Chlorophyllgehalt, Sichttiefe und Gesamtphosphat, aus denen ein mittlerer Trophiegrad ermittelt wird, der nach der LAWA-Richtlinie eine Bewertung nach einer siebenstufigen Skala in Bezug auf den Referenzzustand erlaubt (LAWA 1998). Auch die von der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) nach einer entsprechenden Bestandsaufnahme geforderte erste Abschätzung, ob das Gewässer das Ziel eines „guten ökologischen Zustandes“ erreichen wird oder nicht, wird vorwiegend anhand der Trophiebewertung vorgenommen.

2. Biologische Komponenten in Seen

Die ökologische Bewertung der Oberflächengewässer soll nach der WRRL künftig anhand der biologischen Qualitätskriterien „Makrozoobenthos“, „Phytoplankton“, „Makrophyten und Phytobenthos“ und „Fische“ erfolgen (Europäische Union 2000). Für die Bewertung anhand dieser biozönotischen Komponenten werden derzeit in Deutschland in verschiedenen Arbeitsgruppen neue Verfahren und Methoden erarbeitet, die die Beschreibungen des gewässertypspezifischen Referenzzustandes und der Abweichungen von diesem Leitbild in Form von vier Degradationsstufen umfassen. Für die Komponente „Makrophyten und Phytobenthos“ liegt ein Bewertungsverfahren für natürliche Gewässer bereits vor (SCHAUMBURG et al., 2004). Bewertungsverfahren für das Phytoplankton und das Makrozoobenthos befinden sich derzeit noch in der Entwicklungsphase.

In Hessen wurden vier Bergbaurestseen ausgewählt: der Borkener See, der Hellkopfsee bei Hessisch Lichtenau, der Exbergsee bei Großalmerode und der Wölfersheimer See. Artenzusammensetzung und Häufigkeiten der Makrophyten, des Phytoplanktons und der benthischen Diatomeenflora wurden erfasst und der Gütezustand bzw. die ökologische Qualität der Seen nach den bestehenden Verfahren bewertet.

Der gewässertypspezifische Bewertungsansatz der WRRL setzt die Zuordnung der Seen zu definierten Seentypen voraus. Die Ökoregion, das Schichtungsverhalten, die Calciumkonzentration und der Volumenquotient, der sich aus dem Einzugsgebiet und dem Volumen ergibt, sind die Kriterien für die Seentypisierung nach MATHES et al. (2002). Die untersuchten Seen gehören in die Ökoregion Mittelgebirge, sind kalkreich und stabil geschichtet. Infol-

ge des kleinen Einzugsgebietes und des kleinen Volumenquotienten ($<1,5$) zählen der Borkener See, der Exbergsee und der Hellkopfsee zum Seentyp 7. Der Wölfersheimer See hat mit einem größeren Einzugsgebiet einen Volumenquotienten $>1,5$ und ist damit dem Typ 5 zuzurechnen.

phen, der Exbergsee und der Hellkopfsee einen mesotrophen und der Wölfersheimer See einen stark eutrophen Trophiegrad auf. Für die Abschätzung des Referenzzustandes wurden die Seen hydrographisch vermessen und anhand von Tiefenlinienkarten die topografischen und morphologischen Kenngrößen der Seen ermittelt (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2000). In Bezug auf die Referenzzustände ergibt sich daraus innerhalb der siebenstufigen Skala die Bewertungsstufe 1 (sehr gute Wasserqualität) für den Borkener See und den Hellkopfsee und die Bewertungsstufe 2 (gute Wasserqualität) für den Exbergsee. Der Wölfersheimer See erhält mit einer mäßigen Wasserqualität die Bewertungsstufe 3.

3. Bewertung nach LAWA

Die Seebewertung nach der LAWA geht von einem Vergleich des durch limnochemische Untersuchungen ermittelten Trophiegrades der Seen mit dem Referenzzustand aus, der sich aus dem Eintrag der Nährstoffe im Einzugsgebiet oder aus der Seebeckengestaltung ergibt (LAWA 1998). Der aktuelle Trophiegrad wird ermittelt durch die Verrechnung der abiotischen Parameter Gesamtphosphat (während der Frühjahrszirkulation und der Sommerstagnation als epilimnische Mittel), Sichttiefe (arithmetisches Sommermittel) sowie Chlorophyllgehalt (epilimnische Sommermittel) zu einem Gesamtindex (Tab. 1).

Nach den limnochemischen Untersuchungen des Jahres 2003 weist der Borkener See einen oligotro-

phen, der Exbergsee und der Hellkopfsee einen mesotrophen und der Wölfersheimer See einen stark eutrophen Trophiegrad auf. Für die Abschätzung des Referenzzustandes wurden die Seen hydrographisch vermessen und anhand von Tiefenlinienkarten die topografischen und morphologischen Kenngrößen der Seen ermittelt (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2000). In Bezug auf die Referenzzustände ergibt sich daraus innerhalb der siebenstufigen Skala die Bewertungsstufe 1 (sehr gute Wasserqualität) für den Borkener See und den Hellkopfsee und die Bewertungsstufe 2 (gute Wasserqualität) für den Exbergsee. Der Wölfersheimer See erhält mit einer mäßigen Wasserqualität die Bewertungsstufe 3.

Tab. 1: Charakterisierung und Bewertung der Seen nach LAWA

See	Seefläche [ha]	Seevolumen [Mio m ³]	Einzugsgebiet [km ²]	Gesamtindex	Trophie	Referenzzustand	Bewertung	Wasserqualität
Borkener See	139,32	33,900	3,87	1,3	oligotroph	oligotroph	1	sehr gut
Exbergsee	9,59	1,390	0,33	1,8	mesotroph	oligotroph	2	gut
Hellkopfsee	6,07	0,508	0,55	1,7	mesotroph	mesotroph	1	sehr gut
Wölfersheimer See	38,64	3,570	12,24	3,2	eutroph (e2)	mesotroph	3	mäßig

4. Bewertung anhand biologischer Komponenten

4.1 Methoden

Aus dem Epilimnion der Seen (etwa 0,3 m Tiefe) wurden zwischen April und Oktober 2003 zur Untersuchung der Phytoplanktonbiomasse Wasserproben gewonnen, die mit Lugolscher Lösung fixiert wurden. Die Auszählung und Ermittlung der Biomasse erfolgte nach ATT/TI7 (HOEHN et al. 1998). Die Taxonomie der Phytoplankter erfolgte im Wesentlichen nach HUBER-PESTALOZZI (1938–1983) und Ettl et al. (1978–1999).

Zur Untersuchung der benthischen Diatomeen wurden im August 2003 an den vier Seen in jeweils fünf repräsentativen Litoralbereichen Proben von Bodensubstraten entnommen. Die Probenahme, die Aufbereitung des Materials und die ökologische

Auswertung erfolgten nach den Vorgaben von SCHAUMBURG et al. (2004). Zur Bewertung des trophischen Zustands wurde der Trophie-Index nach HOFMANN (1994) berechnet.

Zur Untersuchung der Makrophytenflora wurden im August 2003 jeweils fünf für den jeweiligen See charakteristische Transsekte beprobt, um alle wesentlichen Makrophytenhabitats zu berücksichtigen. Erfasst wurden alle submersen sowie unter der Mittelwasserlinie wurzelnden makrophytischen Wasserpflanzen (Characeen, Wassermoose und Gefäßpflanzen). Die Bewertung des ökologischen Zustandes erfolgte nach dem Verfahren von SCHAUMBURG et al. (2004).

4.2 Phytoplankton

4.2.1 Zusammensetzung und Biomassen des Phytoplanktons

Mit oberflächennahen Proben lässt sich das Phytoplankton in der Schichtungsperiode nicht repräsentativ erfassen. Aus technischen Gründen konnten jedoch keine Summenproben aus der euphotischen Tiefe genommen werden. Insofern zeigen die Ergebnisse hier eher optimistische Verhältnisse.

Der Borkener See wies im Untersuchungszeitraum die geringste Phytoplanktonentwicklung auf. Die Biomassen lagen zwischen 110 und 220 $\mu\text{g/l}$. In allen Proben traten Kieselalgen (*Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* cf. *neoastraea*, *Asterionella formosa*) dominant auf (Abb. 1). Im Mai 2003 wurde außerdem ein vermehrtes Aufkommen von Grünalgen (*Carteria* sp., *Dictyosphaerium* cf. *tetrachotomum* (Abb. 2)) beobachtet. Weitere häufige Algengruppen waren Dinophyceen, Cryptophyceen und Chrysophyceen.

Im Exbergsee war die Phytoplanktonentwicklung im Frühjahr gering, stieg aber in den Sommermonaten bis auf 1 000 $\mu\text{g/l}$ an. Dabei dominierten Anfang Juli kleine centrische Kieselalgen und im August große Dinophyceen (*Gymnodinium uberrimum*, *Ceratium hirundinella*). Bis Ende September war die Algenblüte wieder zurückgegangen.

Der Hellkopfsee wies im Frühjahr die höchste Algenentwicklung auf. Die Biomasse lag bei 2 200 $\mu\text{g/l}$ und setzte sich überwiegend aus pennaten Kieselalgen (*Fragilaria* sp.) zusammen. Im weiteren Jahresverlauf ging die Algenbiomasse auf etwa 700 $\mu\text{g/l}$ zurück. Neben Kieselalgen traten hauptsächlich Chrysophyceen und Dinophyceen auf.

Die höchsten Phytoplanktonbiomassen der untersuchten Seen traten im Wölfersheimer See auf. Das Maximum lag bei 7 800 $\mu\text{g/l}$ im Mai 2003. Nur in diesem See konnten, zumindest während des Frühjahrmaximums, Blaualgen (*Aphanothece* cf. *clathrata*, *Aphanocapsa* sp.) hohe Biomassen entwickeln. Im Spätsommer und Herbst dominierten koloniebildende Grünalgen (*Eutetramorus fottii*) und verschie-

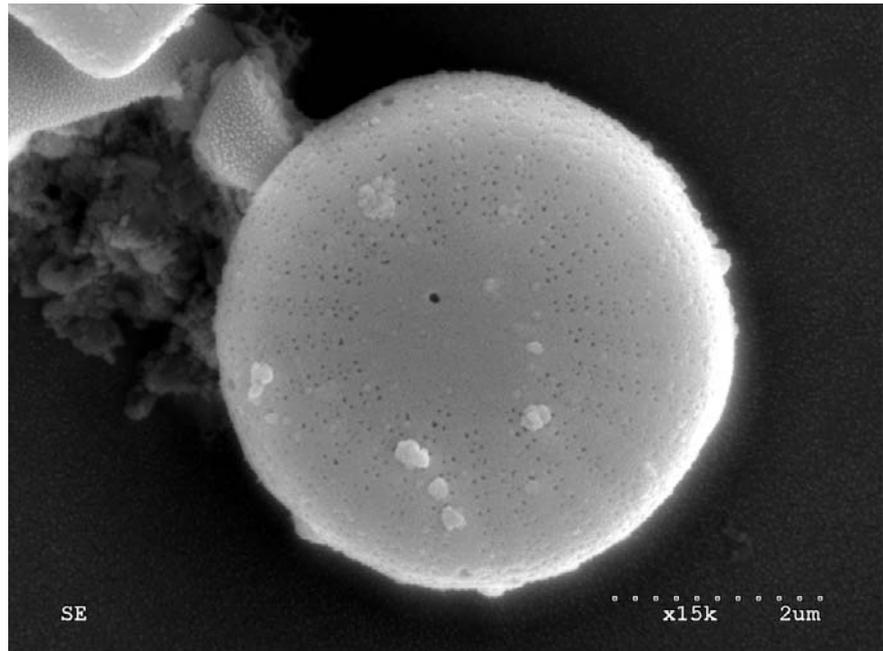


Abb. 1: *Cyclotella cyclopuncta*, eine häufige planktische Diatomeenart im Borkener See (Foto: ROLF KLEE, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft).

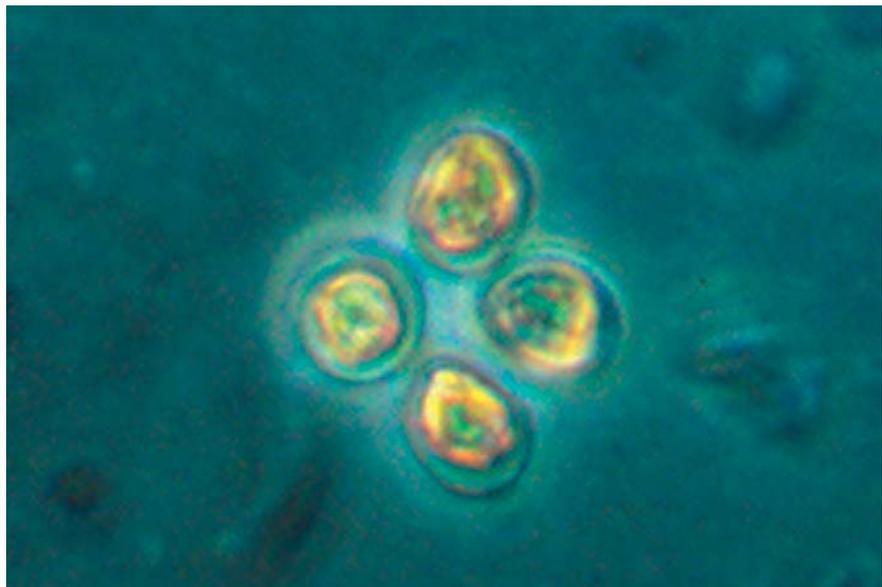


Abb. 2: *Dictyosphaerium* cf. *tetrachotomum* im Borkener See (Foto: LBH).

dene *Cosmarium*-Arten (Conjugatophyceae). Die Biomassen waren mit 2 000 bzw. 2 800 µg/l gegenüber dem Frühjahr deutlich geringer.

4.2.2 Trophiebewertung anhand des Phytoplanktons

Die Entwicklung der Algenbiomassen in stehenden Gewässern lässt Rückschlüsse auf den Trophiegrad zu. Für die Einstufung der Gewässer aufgrund ihrer mittleren Phytoplanktonbiomassen bzw. eines Spitzenwertes im Jahresverlauf gibt es von verschiedenen Autoren Bewertungsverfahren (BRETTUM 1989, HEINONEN 1980, VOLLENWEIDER & KERKES 1982). Die Einstufungen der untersuchten Seen anhand der unterschiedlichen Bewertungsverfahren sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die dabei zugrunde liegenden Untersuchungsergebnisse sind Abb. 3 zu entnehmen. Demnach befindet sich der Borkener See in einem oligotrophen Zustand, der Exbergsee sowie der Hellkopfsee lassen sich dem mesotrophen Bereich zuordnen und der Wölfersheimer See ist ein eutrophes-po-

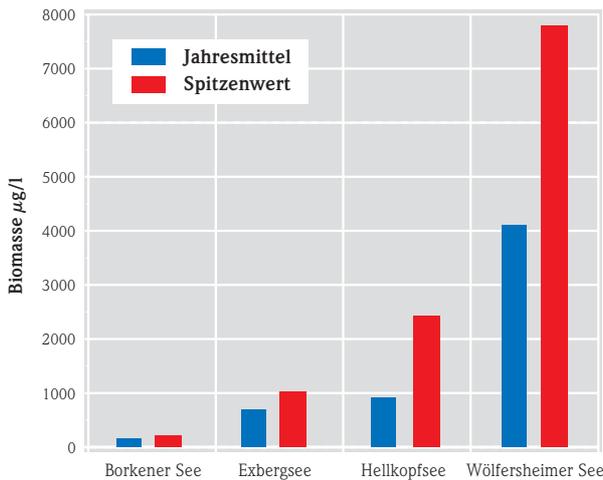


Abb. 3: Phytoplanktonbiomassen [µg/l] der untersuchten Seen (zeitgewichtete Jahresmittel und Spitzenwerte).

lyeutrophes Gewässer. Dies stimmt im Wesentlichen mit der Trophiebewertung nach LAWA überein.

4.2.3 Bewertung anhand des Phytoplanktons nach WRRL

Für natürliche und künstliche Seen des Mittelgebirges liegt für das Phytoplankton derzeit noch kein Verfahren zur Bewertung der ökologischen Qualität gemäß WRRL vor. Es wurden daher für die Seen mit Volumenquotient < 1,5 (Typ Nr. 7: Borkener See, Exbergsee, Hellkopfsee) die Klassengrenzen anhand der Algenbiomasse von Seen der Alpen und Voralpen verwendet (SCHAUMBURG et al. 2002). Für Seen mit Volumenquotient > 1,5 (Typ Nr. 5: Wölfersheimer See) wurde ein Mittelwert aus den Grenzen für Alpen/Voralpenseen und Tieflandseen mit Volumenquotient < 1,5 (MISCHKE et al. 2002) angenommen (Tab. 3).

Die hier vorgenommene Bewertung soll beispielhaft anhand der Phytoplanktonbiomasse das Vorgehen eines solchen Bewertungsansatzes zeigen. Es ist vorgesehen, für mehrere Bewertungsebenen jeweils verschiedene Bewertungsansätze (Metrics) zu entwickeln, die dann zu einem Gesamtindex verrechnet werden, woraus sich später ein „gesamtes Ecological Quality Ratio (EQR)“ ergibt. Da die Bewertung nach EU-WRRL anhand des Phytoplanktons in erster Linie an der Trophieausprägung orientiert ist, zeigen sich hier sehr gute Übereinstimmungen mit der vorgenommenen Trophiebewertung (vgl. Tab. 1, 2 und 3).

4.3. Benthische Diatomeen

4.3.1 Struktur der Diatomeengesellschaften

Mit 75 nachgewiesenen Arten stellt sich der Hellkopfsee als artenreiches Gewässer dar, gefolgt vom

Tab. 2: Trophiebewertung der untersuchten Seen aufgrund ihrer Phytoplanktonbiomassen (zeitgewichtete Jahresmittel bzw. Jahrespitzenwerte) nach verschiedenen Autoren

Bewertungsverfahren	Borkener See	Exbergsee	Hellkopfsee	Wölfersheimer See
Trophie nach BRETTUM 1989 (Spitzenwerte)	oligotroph	oligomesotroph	mesotroph	polyeutroph
Trophie nach BRETTUM 1989 (Mittelwerte Vegetationsperiode)	oligotroph	mesotroph	mesotroph	polyeutroph
Trophie nach HEINONEN 1980 (Mittelwerte Vegetationsperiode)	ultraoligotroph	(schwach) mesotroph	(schwach) mesotroph	eutroph
Trophie nach VOLLENWEIDER & KERKES 1982 (Spitzenwerte)	ultraoligotroph	oligotroph	oligotroph	eutroph

Wölfersheimer See mit 66 Arten. Im Exbergsee wurden 57 Arten registriert – der Borkener See beherbergt mit nur 43 Arten die artenärmsten Gesellschaften. Die Diatomeenassoziationen des Borkener Sees, Exbergsees und Hellkopfsees sind durch große strukturelle Ähnlichkeiten ausgezeichnet und werden im Wesentlichen von drei Arten geprägt – *Achnanthes minutissima*, *Cymbella microcephala* (Abb. 4) und *Cocconeis placentula*. Dagegen weist der Wölfersheimer See deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung auf. Bemerkenswert ist das Vorkommen von zahlreichen Arten der Roten Liste in den nordhessischen Seen. So wurden im Hellkopfsee zwölf gefährdete Arten registriert, im Exbergsee sieben und im Borkener See vier Arten der Roten Liste.

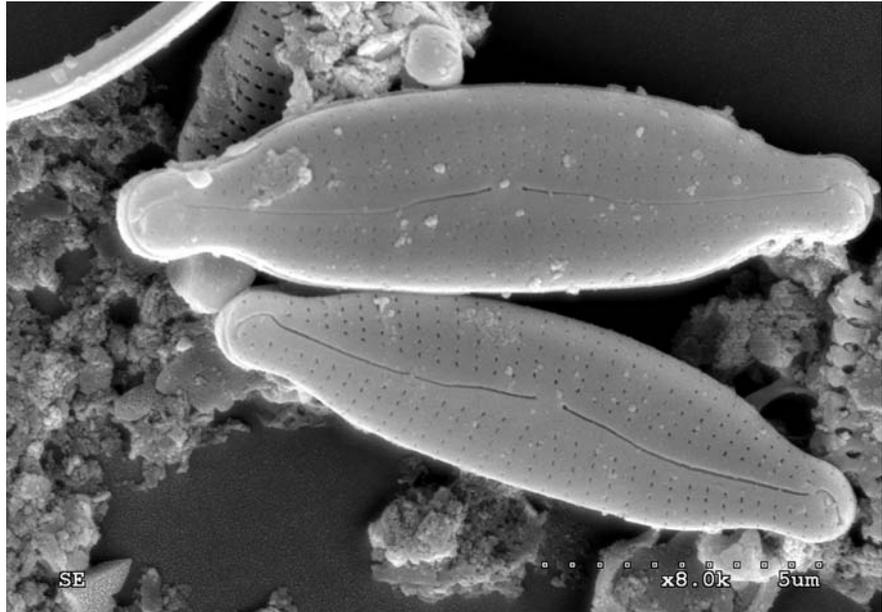


Abb. 4: *Cymbella microcephala*, eine häufige benthische Diatomeenart im Borkener See (Foto: ROLF KLEE, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft).

Tab. 3: Vorläufige Bewertung nach WRRL anhand der mittleren Algenbiomasse

Parameter/See	Borkener See	Exbergsee	Hellkopfsee	Wölfersheimer See
mittlere Biomasse [$\mu\text{g/l}$]	154	693	910	4 104
relevante Klassengrenze [$\mu\text{g/l}$]	<500	500–1 000	500–1 000	3 000–6 500
vorläufige Bewertung	sehr gut	gut	gut	unbefriedigend

4.3.2 Trophiebewertung anhand der benthischen Diatomeen

Im Unterschied zum Phytoplankton, das eine Bewertung des trophischen Zustandes des Sees als Ganzem ermöglicht, sind anhand der benthischen Diatomeen Aussagen zur Trophie der Uferbereiche möglich. In diesen kann die Trophie in Abhängigkeit von punktuellen oder diffusen Nährstoffeinträgen durchaus variieren. Während das Litoral des Borkener Sees und des Exbergsees anhand des Trophie-Index überwiegend als oligotroph zu charakterisieren ist, werden im Hellkopfsee oligotroph-mesotrophe bis mesotrophe Zustände angezeigt (Tab. 4). In den genannten Seen sind nahezu ausschließlich Charakterarten geringer Trophiegrade sowie trophietolerante Diatomeen vertreten. Eutraphente Arten fehlen nahezu vollständig. Gänzlich abweichende Gesellschaftsstrukturen wurden im Wölfersheimer See angetroffen, dessen Diatomeenflora durch die Dominanz eutraphenter und trophie-toleranter Arten gekennzeichnet ist (Abb. 5). Die untersuch-

ten Litoralbereiche des Wölfersheimer Sees sind anhand des Trophie-Index durchweg als eutroph zu bewerten.

4.3.3 Bewertung anhand der benthischen Diatomeen nach WRRL

Das nach den Vorgaben der EU WRRL entwickelte Verfahren von SCHAUMBURG et al. (2004) befindet sich derzeit in der Erprobungsphase und ermöglicht in seiner aktuellen Version die Bewertung natürlicher Seen. Bundesweit werden vier biozönotische Seentypen unterschieden, wobei die untersuchten hessischen Seen dem Diatomeentyp 1 (Alpen- und Alpenvorlandseen) und dem Diatomeentyp 3 (geschichtete Seen des Norddeutschen Tieflandes) am nächsten kommen. Die beiden Typen sind durch abweichende Trophiegrade im Referenzzustand und entsprechend abweichende Gesellschaftsstrukturen

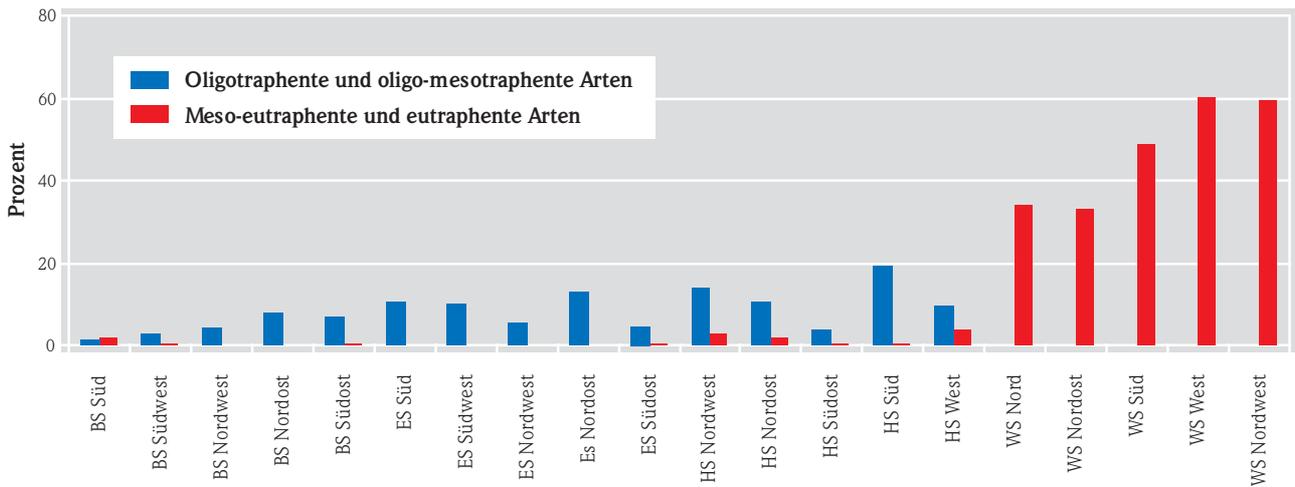


Abb. 5: Prozentuale Gesellschaftsanteile der Trophie-Indikatorgruppen
BS = Borkener See, ES = Exbergsee, HS = Hellkopfsee, WS = Wölfersheimer See.

unterschieden. Zur Prüfung der Frage, inwieweit das Verfahren zur Bewertung künstlicher Seen geeignet ist, wurde es auf die untersuchten Seen angewendet (Tab. 4). Legt man den Typ 1 zugrunde, ergibt

sich für die drei nordhessischen Seen überwiegend der gute ökologische Zustand. Die Bewertung nach Typ 3 ist deutlich besser und weist für den Exbergsee den sehr guten ökologischen Zustand aus. Im Borkener See und Hellkopfsee wird stellenweise die sehr gute Qualität erreicht. Demgegenüber ist der Wölfersheimer See nach beiden Bewertungsvarianten durch eine mäßige bis sehr schlechte ökologische Qualität gekennzeichnet. Obgleich das Verfahren damit auch in alkalischen Bergbaurestseen grundsätzlich praktikabel erscheint, bleibt es im Rahmen weiterer Untersuchungen zu klären, in welcher Variante das Bewertungssystem übernommen werden kann oder aber ob Modifizierungen erforderlich werden.

Tab. 4: Bewertung der Litoralstellen anhand der benthischen Diatomeen; TI = Trophie-Index; BT = Biozönotischer Typ; blau = sehr gute ökologische Qualität, grün = gute ökologische Qualität, gelb = mäßige ökologische Qualität, rot = unbefriedigende bis schlechte ökologische Qualität

	TI	Trophiestatus	Bewertung nach WRRL ¹⁾	
			BT 1	BT 3
Borkener See 1	3.14	mesotroph	2	2
Borkener See 2	2.24	oligo-mesotroph	2	2
Borkener See 3	1.96	oligotroph	2	1
Borkener See 4	1.76	oligotroph	1	1
Borkener See 5	1.95	oligotroph	2	1
Exbergsee 1	1.98	oligotroph	1	1
Exbergsee 2	1.92	oligotroph	1	1
Exbergsee 3	2.11	oligo-mesotroph	2	1
Exbergsee 4	1.84	oligotroph	1	1
Exbergsee 5	2.31	oligo-mesotroph	2	1
Hellkopfsee 1	2.75	mesotroph	2	2
Hellkopfsee 2	2.39	oligo-mesotroph	2	2
Hellkopfsee 3	2.11	oligo-mesotroph	2	1
Hellkopfsee 4	1.91	oligotroph	1	1
Hellkopfsee 5	2.70	mesotroph	2	2
Wölfersheimer See 1	4.69	eutroph	4-5	4-5
Wölfersheimer See 2	4.47	eutroph	4-5	3
Wölfersheimer See 3	4.72	eutroph	4-5	3
Wölfersheimer See 4	4.65	eutroph	4-5	4-5
Wölfersheimer See 5	4.73	eutroph	4-5	4-5

¹⁾ nach SCHAUMBURG et al., 2004.

4.4 Makrophyten

Insgesamt konnten 26 Makrophytenarten in den untersuchten Gewässern nachgewiesen werden. Mit 18 bzw. 15 Arten sind der Borkener See und der Hellkopfsee deutlich artenreicher als der Exbergsee (sechs Arten) und der Wölfersheimer See (neun Arten). Berücksichtigt man ausschließlich die submers wachsenden Arten, lässt sich eine ähnliche Verteilung erkennen. Während im Borkener See acht submerse Arten registriert wurden, waren es im Hellkopfsee nur fünf Arten. Im Wölfersheimer See wurden nur drei und im Exbergsee eine Art erfasst. Das Arteninventar der beiden letztgenannten Seen besteht ausschließlich aus Arten, die starke Wasserverschmutzung und -trübung tolerieren (KRAUSCH 1996). Es handelt sich hierbei um *Potamogeton crispus* (Abb. 6), *Potamogeton pectinatus* und *Elodea nutallii*.

Neben *Myriophyllum spicatum* und den oben genannten Arten waren Vertreter der Armeleuchter-



Abb. 6: *Potamogeton crispus*, eine weit verbreitete Makrophytenart in den untersuchten Seen.
Foto: MARCUS WERUM.

algen (*Chara vulgaris* und *Chara globularis*) einzig im Borkener See nachzuweisen, deren Vorkommen bereits im Rahmen von Tauchkartierungen erfasst wurde (TRAPP 2002).

Obgleich sich die Seen in der Artenzahl und im Artenspektrum deutlich unterscheiden, erweist sich das für natürliche Seen entwickelte Bewertungsverfahren von SCHAUMBURG et al. (2004) als nicht übertragbar. So ergibt sich für alle untersuchten Seen ein unbefriedigender ökologischer Zustand – unabhängig davon, ob der Typ des norddeutschen Tieflandsees oder der des Alpen- und Alpenvorlandsees als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt wird. Aufgrund der stellenweise geringen Pflanzenmengen muss zudem die Bewertung von rund 50 % der untersuchten Litoralabschnitte als nicht gesichert betrachtet werden.



Abb. 7: *Polygonum amphibium* im Borkener See.
Foto: MARCUS WERUM.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die zukünftigen Bewertungsverfahren oberirdischer Gewässer werden EU-weit auf die biologischen Komponenten ausgerichtet sein. Die für natürliche Stehgewässer erarbeiteten Methoden anhand der Makrophyten und des Phytobenthos sowie das in der Entwicklung befindliche Verfahren anhand des Phytoplanktons wurden erstmalig an vier Bergbaurestseen angewendet und mit der Bewertung nach LAWA verglichen.

Für das Phytoplankton konnte eine gute Übereinstimmung der vorläufigen Bewertung nach dem Verfahren der WRRL (anhand der Phytoplanktongesamtbiomasse) und der Methode der LAWA festgestellt werden. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da die Trophieeinstufung und die Bewertung gleichermaßen auf der Intensität der Phytoplanktonbiomassen beruhen.

Tab. 5: Vergleichende Bewertung nach LAWA, Phytoplankton und Phytobentos

See	LAWA-Bewertung	Phytoplankton	Benthische Diatomeen
Borkener See	oligotroph/sehr gut	oligotroph/sehr gut	oligo- bis oligo-mesotroph/sehr gut bis gut
Exbergsee	mesotroph/gut	mesotroph/gut	oligo- bis oligo-mesotroph/sehr gut bis gut
Hellkopfsee	mesotroph/sehr gut	mesotroph/gut	oligo- bis mesotroph/sehr gut bis gut
Wölfersheimer See	stark eutroph/mäßig	eutroph-polytroph/unbefriedigend	eutroph/unbefriedigend

Die benthischen Diatomeen erlauben im Gegensatz zum Phytoplankton eine Bewertung der trophischen Situation der Uferbereiche. Die Litoralzonen des Borkener Sees und des Exbergsees sind überwiegend als oligotroph zu bewerten, während im Hellkopfsee oligo-mesotrophe bis mesotrophe Verhältnisse angezeigt werden. Mit stark eutrophen Zuständen stellt sich der Wölfersheimer See als das Gewässer höchster Trophie dar. Das nach den Vorgaben der WRRL für natürliche Seen entwickelte Verfahren von SCHAUMBURG et al. (2004) weist den nordhessischen Seen eine sehr gute bzw. gute ökologische Qualität zu. Die ökologische Qualität des Wölfersheimer Sees ist demgegenüber als unbefriedigend bis schlecht zu bewerten. In den untersuchten künstlichen Seen erweist sich das Verfahren damit grundsätzlich als praktikabel.

Hingegen führt die Anwendung des Verfahrens von SCHAUMBURG et al. (in Vorb.) im Falle der Makrophyten zu unbefriedigenden Resultaten. So ist die ökologische Qualität der Seen unabhängig von

ihrem abweichenden trophischen Zustand undifferenziert als unbefriedigend zu bewerten. Hinzu kommt, dass die vorgefundenen Pflanzenmengen in 50 % der Fälle für eine gesicherte Bewertung nicht ausreichen.

Zusammenfassend sind die biologischen Komponenten Phytoplankton und Phytobenthos grundsätzlich für eine WRRL-konforme Bewertung für kalkreiche Bergbaurestseen geeignet und weisen eine hohe Übereinstimmung mit der bisherigen Bewertung nach der LAWA auf. Im Rahmen weiterer Untersuchungen bleibt zu klären, inwieweit Modifikationen erforderlich sind. Das Bewertungsverfahren für das Phytoplankton für die natürlichen Gewässer wird fortentwickelt und soll 2005 fertig gestellt sein. Aus hessischer Sicht ist die Übertragung der Methoden und der Bewertungsverfahren für das Phytoplankton und das Phytobenthos auf andere Typen künstlicher Stehgewässer, wie Baggerseen, und auf die als erheblich veränderte Gewässer eingestufteten Talsperrn von großer Bedeutung.

6. Literatur

- BRETTUM, P. (1989): Alger som indikatorer pa vannkvalitet i norske innsjoer. *Planoplankton – NIVA*, Oslo.
- ETTL, H., GÄRTNER, G., GERLOF, J. HEYNIG, H. & MOLLENHAUER, D. (Hrsg.), (1978–1999): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bde. 1,2/1–4, 3, 6, 9, 10, 14, 16, 19/1 Fischer, Jena, Stuttgart.
- Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union L 32771, 22.12.2002.
- HEINONEN, P. (1980): Quantity and composition of phytoplankton in Finnish inland waters. *Publ. Water Res. Inst. 37, Vesihallitus-National Board of Waters, Finland.*
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Jahresbericht 2000. Neue Bewertung von Seen: 27–34.
- HOEHN, E., KETELAARS, H.A.M. & EWIG, B. (Red.) (1998): Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen. *ATT Technische Informationen Nr. 7*, 151 S.
- HOFMANN, G. (1994): Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica 30*: 24 S.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (Hrsg.), (1938-1983): *Das Phytoplankton des Süßwassers. Teil 1–8. Die Binnengewässer*, Bd. 16, Schweizerbart, Stuttgart.
- KRAUSCH, H.D., (1996): *Farbatlas Wasser- und Uferpflanzen*, Verlag Eugen Ulme, Stuttgart: 315 S.
- LAWA (1998): *Gewässerbewertung stehende Gewässer. Richtlinien für die Bewertung nach trophischen Kriterien*. Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- MATHES, J., PLAMBECK, G. & SCHAUMBURG, J. (2002): *Das Typisierungssystem für stehende Gewässer ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Aktuelle Reihe der Brandenburg Technischen Universität Cottbus 5*: 15–23.

- MISCHKE, U., NIXDORF, B., HOEHN, E. & RIEDMÜLLER, U. (2002): Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons – Aktueller Stand in Deutschland. Aktuelle Reihe der Brandenburg Technischen Universität Cottbus 5: 25–38.
- SCHAUMBURG, J., COLLING, M., SCHLÖSSER, I. & KÖPF, B. (2002): Typisierung bayerischer Seen mit Phytoplankton unter Verwendung von Biomasse, Phytoplanktonzusammensetzung und Autökologie. Tagungsbericht 2001, Deutsche Gesellschaft für Limnologie: 61–64.
- SCHAUMBURG, J., SCHMEDTJE, U., KÖPF, B., SCHRANZ, C., SCHNEIDER, S. MEILINGER, P., STELZER, D., HOFMANN, G., GUTOWSKI, A. & FOERSTER, J. (2004): Erarbeitung eines ökologischen Bewertungsverfahrens für Fließgewässer und Seen im Teilbereich Makrophyten und Phytobenthos zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. – Abschlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BEO 51 – FKZ 0330033).
- TRAPP, S. (2002): Die submerse Vegetation des Borkener Sees und ihr Zusammenhang mit Gewässergüte und Gewässergenese. – Botanik und Naturschutz in Hessen 15: 39–46.
- VOLLENWEIDER, R.A. & KEREKES, J. (1982): Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Paris, 154 S.

