B.W. Scharf<sup>1)</sup>, J. Dermietzel<sup>2)</sup>, A. Melzer<sup>3)</sup>, W. Richter<sup>2)</sup> & H. Rönicke<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Gewässerforschung,
Am Biederitzer Busch 12, D-39114 Magdeburg

<sup>2)</sup>UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Hydrogeologie, Hallesche Str. 44, D-06246 Bad Lauchstädt

3)Limnologische Station der TU München, Hofmark 3, D-82393 Iffeldorf

#### Beitrag zur Limnologie des Hufeisensees bei Halle/Saale

#### Zusammenfassung

Der Hufeisensee bei Halle/Saale ist ein meromiktischer, mesotropher See, der aus einem Braunkohlentagebaurestloch sowie durch Kiesgewinnung entstand. Phytoplankton, Makrophyten im Uferbereich, submerse Makrophyten sowie die Muschelkrebse werden beschrieben. Der See weist ein großes Arteninventar auf. Ein Vergleich der Trophieabschätzung zwischen chemischen und biologischen Parametern zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Im Bereich der Aussickerungen aus einer Deponie, die sich am Rande des Sees befindet, konnte keine akute Toxizität festgestellt werden.

#### Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist die erweiterte schriftliche Fassung eines Vortrages, der im Rahmen des UFZ-Workshops "Bergbaurestseen" im November 1994 in Bad Lauchstädt gehalten wurde.

Der Hufeisensee liegt am östlichen Rand der Stadt Halle/Saale. Er stellt ein wichtiges Naherholungsgebiet für die Großstadt mit Bade- und Wassersport sowie Freizeitfischerei dar. Im See befindet sich eine Deponie (Abb. 1). Mit dem Beitrag soll der Frage nachgegangen werden, ob sich die Deponie schädigend auf das Ökosystem See auswirkt und damit die Nutzungen einschränkt. Zu folgenden Teilaspekten liegen Beiträge vor: Chemie (Scharf), Phytoplankton (RÖNICKE), Ufervegetation (RICHTER), submerse Makrophyten (MELZER), Muschelkrebse (Scharf) und Schadstoffbelastung (DERMIETZEL).

#### Entstehung

Der Hufeisensee ist ein künstliches Gewässer im Osten der Stadt Halle/Saale, das in seiner jetzigen Form aus einem gefluteten Braunkohletagebau mit nachfolgender Sand- und Kiesgewinnung (Saale-Hauptterrasse) im Norden und Osten der Bergbauhohlform entstanden ist. Das Restloch des Braunkohletagebaues wurde zum Teil als Kippe verfüllt, bis 1984 auch partiell als Deponie für industrielle und kommunale Abfälle verwendet (Abb. 1). Diese ungeordnete Deponie stellt für den See eine potentielle Gefahr dar. Nach CARMIENKE et al. (1987) handelt es sich um eine reine Schadstoffdeponie.

#### Wasserstände

Die Flutung des Sees begann nach 1940. Der Wasserstand erreichte 1945 einen ersten Höchststand. Später wurde er zum Sand- und Kiesabbau wieder künstlich abgesenkt. Nach Beendigung der Trockenauskiesung im Jahr 1964 ist der Wasserspiegel wieder angestiegen und erreichte zwischen 1974 und 1993 eine Höhe um 91,0 m NN. Nach strenger Reduzierung der Brauchwasserentnahme für landwirtschaftliche Beregnungszwecke stieg der Seespiegel auf die Höhe von mehr als 92,0 m NN. Bei dem derzeitigen Wasserstand beträgt die maximale Tiefe des Sees 29 m (Abb. 2).

Der Hufeisensee ist bislang ohne oberirdischen Abfluß. Er hat ein sehr kleines oberirdisches Einzugsgebiet und wird im wesentlichen durch Grundwasser gespeist. Es fließt aus den Kiessanden der Saale-Hauptterrasse aus Nordwesten zu.

#### Chemie

Der Chemismus des Seewassers wird durch die trockene und nasse Deposition, das aus der Saale-Hauptterasse zufließende Grundwasser, die Deponie und durch kommunale Zuflüsse, im wesentlichen Regenwasser, beeinflußt. Tab. 1 gibt einen Überblick über die Schwankungsbreite einiger physikalischer und chemischer Parameter in den oberen 10 m während der Jahre 1993 und 1994.

Der Hufeisensee ist ein meromiktisches Gewässer, d.h. in der Tiefe des Sees befindet sich ein Wasserkörper, der ganzjährig von der Durchmischung ausgeschlossen ist. Aus Abb. 3 ist ersichtlich, daß dieser Wasserkörper, das Monimolimnion, in etwa 25 m Tiefe beginnt. Von dort ab steigt z.B. die Temperatur und die Leitfähigkeit an und dieses zu einem Zeitpunkt der winterlichen Zirkulation. Die Temperatur ist im Monimolimnion deutlich über und im durchmischten Bereich deutlich unter 4 °C. Sie liegt im unteren Bereich des Monimolimnions bei 7 °C und damit etwa 2 °C unter der Grundwassertemperatur.

Aufgrund seines Salzgehalts muß der Hufeisensee als oligohalin eingestuft werden (0,5 - 5 % Salzgehalt). Die Ursachen für den erhöhten Salzgehalt sind bezüglich ihrer geogenen und anthropogenen Quellen (Zuflüsse im oberflächennahen und tiefen (?) Grundwasser, Auslaugung von Salzkohleaschen und Bauschutt in der Deponie) schwer quantifizierbar.

Nach dem Gesamt-Phosphorgehalt mit einer Schwankungsbreite zwischen 16 und 33  $\mu$ g/I und der Sichttiefe befindet sich der See in einem mesotrophen Zustand (vgl. OECD (1992) zur Abschätzung des Trophiegrades).

#### Phytoplankton

Eine Abschätzung des Phytoplanktons aus den Jahren 1993 und 1994 kommt zu folgendem Ergebnis:

· Cyanophyceen spielen quantitativ eine untergeordnete Rolle.

Hauptvertreter sind Dinophyceen (Peridinium, Gymnodinium) aus dem Stamm Chromophyta sowie chlorococcale Grünalgen (Coelastrum, Oocystis, Scenedesmus. Ankistrodesmus).

Desmidiaceen sowie Bacillariophyceen treten artenmäßig, aber nicht biomasse-

mäßig in Erscheinung.

· Die nach dem "Elastischen Teilkammerzählverfahren" (UTHERMÖHL 1958) ermittelten Abundanzen (Zellzahl und Biomasse) verweisen grundsätzlich auf niedrige Algenkonzentrationen. Es wurden im Durchschnitt Phytoplanktonkonzentrationen ermittelt, die deutlich unter 1 mg/l lagen (gewogene Mittelwerte) (Tab. 2).

Die Algenstruktur stellt sich als vom Zooplankton gut ingestierbare Gesellschaft vor. Vor allem die Chlorophyceen sind ideale Futteralgen.

 Die großen Untersuchungsabstände ließen nur eine stichprobenartige Analyse der Abundanzen zu. Extremwerte, wie kurzfristige peakartige Massenentwicklungen, waren bei dem großen zeitlichen Raster nur zufällig anzutreffen.

· Bei intensiver Beprobung, vor allem im Sommerhalbjahr, sind mit Sicherheit noch

weitere Phytoplanktonarten zu diagnostizieren.

#### Makrophyten im Uferbereich

Die Kartierung der Ufervegetation wurde im Spätsommer 1992 durchgeführt.

Im ufernahen Bereich lassen sich die Differenzierungen in der Verbreitung charakteristischer Pflanzenarten in den meisten Fällen auf die stark wechselnden Bodenverhältnisse zurückführen. Die verritzten guartären Deckschichten des "äußeren" Ufers (Ost-, Nord- und Westufer) mit überwiegend vegetationsfreundlichen bindigen Bodenarten (Sandlöß, Moränenbildungen, Kiese und Sande der Saale-Hauptterrasse sowie deren Umlagerungsprodukte), aber auch die zugemischten Müllkomponenten, liefern günstige edaphische Verhältnisse. Das Gemeine Schilfrohr (Phragmites australis) zeichnet diese Verhältnisse am besten nach (Abb. 4). Unterhalb der Uferlinie deckt sich das Bild recht gut mit der Verbreitung der Wasserhahnenfußarten (Ranunculus circinatus und R. trichophyllos). Es wird lediglich der südwestexponierte wilde Badestrand im Norden des östlichen Teilbeckens gemieden (Abb. 4).

Am "inneren" Bogen der Uferlinie steht mit steiler, erosiver Böschung (Abb. 2), die überwiegend aus bindigem Tertiär aufgebaute Mischkippe ("Innenkippe") an. Deren Uferabschnitte sind im Inundationsbereich fast unbesiedelt und werden auch über lange Zeit ohne massive Hilfsmittel schwer besiedelbar bleiben. Lediglich im Bereich der Unterflurkippe, die am westlichen Fuß der Innenkippe mit geringem Gefälle in den See ausstreicht, konnten sich relativ ausgedehnte, gesellschaftsbildende Röhrichtbestände entwickeln. Sie verweisen darauf, daß bei geeigneten Neigungsverhältnissen sehr wohl als vegetationsunfreundlich eingestuftes Tertiär eine nachhaltige, standortgerechte Spontanbesiedlung erfahren kann.

Die wilden Müllkippungen an weiten Uferabschnitten des Hufeisensees werden durch die kontinental verbreitete alte Kultur- und heutige Ödlandpflanze Pfefferkraut (Lepidium latifolium) dokumentiert (Abb. 4). Durch Ausläuferbildung besitzt die Spezies ein großes Beharrungsvermögen und dringt selbst in die Uferröhrichte ein. Ihre Ansiedlung erfolgte fast ohne Rücksicht auf die bisher beschriebenen Bodenverhältnisse. Ähnlich verhält sich der Huflattich (siehe unten).

Die biologische Indikation von Grundwasseraustritten erfolgte am Westufer in scharfer Abgrenzung durch die Blaue Bimse (Juncus inflexus) im Verbreitungsgebiet durchfeuchteter Lehme (Abb. 4). Auf kiesig-sandigem Grund (Grundwasserleiter) setzt die Art aus. Im Ostteil der nördlichen Bucht siedelte an ihrer Stelle auf sandigen Quellbändern das Weiße Straußgras (Agrostis stolonifera) (Abb. 4). - Huflattich (Tussilago farfara), der auf bindigen Rohböden als Nässezeiger gilt, war am Hufeisensee für diese Aussage ungeeignet (Abb. 4). Seine weite Verbreitung wird durch flugfähige Samen ermöglicht und bezeugt lediglich eine umfassende Besiedlung der rohen Böden in der Frühphase der Bildung und Gestaltung der Beckenböschungen. Zahlreiche Jungpflanzen auf trockenfallenden Uferabschnitten belegten im Kartierungszeitraum diese Eigenschaft (kleine Punkte in Abb. 4). Der Huflattich besitzt in den unbenetzten Uferabschnitten ein ähnliches Beharrungsvermögen wie das Pfefferkraut.

Die hydrochemischen Verhältnisse lassen im See kaum ungewöhnliche Bedingungen erwarten. Das klare Wasser ermöglichte eine ausgedehnte Unterwasservegetation bis über 10 m Tiefe. Der <u>Salzgehalt</u> im oligohalinen Bereich (0,5 - 5 %o) förderte die Entwicklung einer Reihe von Pflanzenarten mit ökologischem Schwerpunkt in Habitaten mit Brackwassereinfluß. Die verschiedenen Arten sind in ihren Standortansprüchen allerdings wieder vielfältig differenziert. Terrestrisch verbreitet ist das salztolerierende Pfefferkraut (siehe oben; Abb. 4). Ähnliches gilt für die seltenere Mähnengerste (Hordeum jubatum) (Abb. 5). Sie hatte auf der Deponie ihr Entwicklungsoptimum und drang in mehreren Fällen in den schütteren Röhrichtgürtel ein. Mit relativ großer Häufigkeit war dagegen die Salzaster (Aster tripolium) in Ufernähe zu finden (Abb. 5).

Unter den Röhrichtbildnern sind Salz-Teichsimse (Schoenoplectus tabernaemontani) (Abb. 5) und die Gemeine Strandsimse (Bolboschoenus maritimus) (Abb. 5) erwähnenswert. Interessant ist ihre vom Gemeinen Schilfrohr abweichende Hauptverbreitung in der Zone stark schlammiger Sedimente.

Die Isolierung des Hufeisensees von benachbarten Oberflächengewässern und die offensichtlich geringen lokalen Einflüsse von zwei kommunalen Regenwassereinleitungen haben nur wenigen Arten mit erhöhten Nährstoffansprüchen die Ansiedlung an eng begrenzten Stellen ermöglicht. So fehlt bis auf Einleitungsnähe das Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*). Die Wasserschwertlilie (*Iris pseudacorus*) und Ästiger Igelkolben (*Sparganium ramosum*) konzentrieren sich in gleicher Weise auf wenige Punkte in der Umgebung der Regenwassereinleitung (Abschnitt 6 in Abb. 11).

Der Hufeisensee wurde über viele Jahre durch die Entnahme von Beregnungswasser in der Höhe seines Wasserspiegels erheblich beeinflußt. Das führte zur sommerlichen Trockenlegung des Röhrichtgürtels und zur Freilegung eines meist sehr schmalen vegetationslosen Ufersaumes. Die Nährstoffarmut dieser Standorte ließ keine typische Teichbodenflora aufkommen. Die spätsommerlichen Zweizahnfluren erschienen lediglich als vegetationsgeschwächte Rumpfgesellschaften. Knöterichbestände fehlten ebenso wie charakteristische Zwergbinsengesellschaften. Bemerkenswert ist lediglich die Verbreitung der sonst seltenen Froschbinse (Juncus ranarius) als salztolerierender sommerlicher Schlammbesiedler (Abb. 5).

Die wenigen Beispiele lassen erkennen, daß die Pflanzenwelt des Hufeisensees wichtige Hinweise bezüglich Art und Umfang für <u>landschaftsgestalterische Maßnahmen</u> und die Notwendigkeit eines massiven Uferschutzes liefert. Das Gemeine Schilfrohr (Abb. 4) erscheint als ingenieurbiologisch bedeutendste Art und meistert selbst sehr schwierige Standortverhältnisse, wie am Ostufer, das von Betonteilen durchsetzt ist. Im

Bereich der Uferlinie läßt sich der Schutz mit Hilfe von Silberweiden (Salix alba) erheblich verbessern, während Pappeln dafür nicht geeignet sind (Abb. 6).

#### Submerse Makrophyten

Die qualitative und quantitative Verbreitung der submersen Makrophytenvegetation des Hufeisensees wurde im August 1993 durch Tauchkartierung untersucht. Um die Verbreitung der einzelnen Arten entlang des Tiefenprofils möglichst genau erfassen zu können, wurde bei der Kartierung eine getrennte Aufnahme der vorkommenden Arten in vier verschiedenen Tiefenstufen vorgenommen. Diese lagen in Bereich von 0 bis 1 m, 1 bis 2 m, 2 bis 4 m Tiefe und von 4 m Tiefe bis zur unteren Grenze der Vegetation. Über weite Strecken stehen gebliebene Bäume erschwerten bis in 6 m Tiefe die Tauchkartierung erheblich.

Die quantitative Abschätzung der vorkommenden Arten erfolgte nach einer fünfstufigen Skala. Dabei bedeuten:

1 = sehr selten

2 = selten

3 = verbreitet

4 = häufig

5 = massenhaft

Das Ufer eines Sees wird bei der Tauchkartierung nach MELZER in einheitliche Abschnitte untergliedert und für jeden Abschnitt wird ein Makrophytenindex ausgewiesen. Dieser errechnet sich - ähnlich dem Saprobienindex - aus der Summe der Häufigkeiten der einzelnen Pflanzenarten, multipliziert mit einem jeder Pflanzenspecies zugeordneten Indikatorwert (Tab. 3). MELZER (1993) konnte eine gute Korrelation zwischen dem über alle Uferabschnitte gemittelten Makrophytenindex und der Konzentration des Gesamt-Phosphors während der Frühjahrsvollzirkulation aufstellen (Abb. 7).

Die Methode der Kartierung der submersen Makrophyten sowie der weiteren Verarbeitung der im Freiland gewonnenen Ergebnisse ist z.B. bei MELZER (z.B. 1993) oder bei Melzer et al. (in Vorbereitung) sehr genau beschrieben.

Zur Kartierung des Hufeisensees wurde das Gewässer in 15 Abschnitte untergliedert (Abb. 8 - 11). Erfaßt wurde folgende Arten:

Röhrichtarten	Alisma plantago-aquatica, Caltha palustris, Iris pseudacorus, Bolboscho nus maritimus, J. inflexus, Phragmites australis, Schoenoplectus lacustr S. tabernaemontani, Sparganium emersum, Typha angustifolia, T. latifo
Schwimmblattarten	Polygonum amphibium
Submerse Arten	Chara contraria, C. delicatula, C. fragilis, C. hispida, C. rudis, C. toment sa, C. vulgaris, Nitella opaca, Nitellopsis obtusa, Myriophyllum alterniflorum, M. spicatum, Potamogeton berchtoldii, P. crispus, P. pectinatus, pusillus, Ranunculus circinatus, R. trichophyllus, Zannichellia palustris

In Abb. 8 bis 10 sind die Verbreitungskarten der Arten Chara hispida, Potamogeton pusillus und Zannichellia palustris wiedergegeben. Die ausgewählten Arten gehören unterschiedlichen Indikatorgruppen an (vgl. Tab. 3). Abb. 11 zeigt die Indexkarte für die einzelnen Abschnitte. Aus dem Indexwert der einzelnen Abschnitte ergibt sich ein mittlerer Wert von 2,91. Dieses entspricht nach der z.B. bei MELZER (1993) aufgeführten Korrelation einem Gesamt-Phosphor-Gehalt von 19,2 +/- 4,9 µg/l. Im Hufeisensee wurde ein Gesamt-Phosphor-Gehalt gemessen, der von 16 bis 33 µg/l schwankt (Tab.

1). Der Vergleich zeigt, daß die beiden auf ganz unterschiedliche Weise ermittelten Werte sehr gut übereinstimmen.

#### Muschelkrebse

Im September 1993 wurden lebende und subfossile Muschelkrebse (Crustacea, Ostracoda) an verschiedenen Stellen im Hufeisensee nach der bei SCHARF (1980) beschriebenen Methode gesammelt (Abb. 12 und Tab. 4). Das Ergebnis der Untersuchung ist in Tab. 5 zusammengefaßt. Folgende Schlüsse lassen sich aus der Untersuchung ziehen:

- Es konnten insgesamt 13 Arten nachgewiesen werden. Das ist eine hohe Anzahl für ein relativ junges und künstliches Gewässer. Die Artenvielfalt erklärt sich durch die Vielzahl an unterschiedlichen Habitaten, die sich auch in der hohen Zahl von submersen Makrophyten ausdrückt.
- Der leicht erhöhte Salzgehalt läßt Arten hinzukommen, die im limnischen Bereich fehlen: Heterocypris salina und Plesiocypridopsis newtoni.
- Die Probestelle 10 weist die meisten Muschelkrebsarten auf. Kies mit einer dünnen Detritusauflage, zudem durch einige Makrophyten beruhigt, bietet für viele dieser Tiere ideale Lebensbedingungen: Schutz zwischen den Kieselsteinen und reichlich Nahrung durch die Detritusauflage. Zudem sind in der hier vorliegenden geringen Tiefe von 0,5 m auch die Sauerstoffverhältnisse sehr gut. Ähnliche Verhältnisse liegen auch bei der Probestelle 9 vor.
- Die Aussickerungen auf der Ostseite der Deponie sind gezielt beprobt worden (Probestelle 16 und 17). An beiden Stellen konnten 8 Arten nachgewiesen werden, also nicht viel weniger als an der Probestelle 10. Das Wasser und Sediment in diesem Bereich kann also nicht akut toxisch sein. Es ist auffällig, daß die salzliebenden Species Heterocypris salina und Plesiocypridopsis newtoni nur an diesen beiden Probestellen vorkamen. Daraus kann man schließen, daß aus der Deponie salzhaltiges Wasser austritt (was durch die zeitliche Differenz zwischen Probennahme und Probenauswertung nicht durch eine Leitfähigkeitsmessung überprüft wurde). Die Stelle wurde durch das einzige Vorkommen des polyhalinen Milchkrautes (Glaux maritima) auch geobotanisch charakterisiert.

## Schadstoffbelastung durch polycyclische Aromaten (PAK) und polychlorierte Biphenyle (PCB)

Verbindungen der Stoffgruppe PAK bestehen aus zwei oder mehr annelierten Kohlenstoffringen mit aromatischer Struktur. Diese entstehen beim Erhitzen organischer Substanzen über 700 °C sowie bei unvollständig verlaufenden Verbrennungsvorgängen. Hausbrand mit festen Brennstoffen und der Kraftfahrzeugverkehr sind die Hauptemissionsquellen für die ubiquitäre Verbreitung der PAK in der Umwelt. Daneben waren und sind Gaswerke und Kokereien, die Mineralölwirtschaft und verschiedene chemische Produktionszweige für punktuelle Belastungen verantwortlich.

Wegen ihrer Persistenz und Toxizität haben die PAK zunehmende Aufmerksamkeit als Umweltchemikalien gefunden. In Tab. 6 sind die Verbindungen aufgelistet, die nach der amerikanischen Norm EPA 610 bei der Trinkwasseruntersuchung zu prüfen sind.

PCB wurden wegen ihrer hohen thermischen und chemischen Stabilität sowie ihrer dielektrischen Eigenschaften als Flüssigkeiten in Transformatoren, Kondensatoren und hydraulischen Systemen großtechnisch eingesetzt. Trotz des in Deutschland geltenden PCB-Anwendungsverbots ist auf Grund der hohen Persistenz mit Umweltbelastungen zu rechnen. PCB-Komponenten können über den Luft- und Wasserpfad in die Umwelt gelangen und über die Nahrungsaufnahme in Organismen angereichert werden.

Die Analysen mehrerer Tiefenprofile des Seewassers zeigten, daß eine Belastungssituation in Bezug auf PAK nicht vorliegt. Der Mittelwert der PAK-Konzentrationen von acht Analysen des oberflächennahen Seewassers (< 10 m) lag bei  $0,015~\mu g/l$ .

PCB-Komponenten konnten im Seewasser nicht nachgewiesen werden, so daß die Konzentrationen der einzelnen Verbindungen unterhalb der Nachweisgrenze (derzeit 0,1 µg/l) anzusetzen sind.

Sedimentproben wurden an vier verschiedenen Stellen des Sees entnommen: aus dem Dammbereich zur Deponie, dem Ost- und Westbecken und der Nordbucht. Die höchsten PAK-Belastungen wurden im Bereich der Nordbucht mit Werten zwischen 3 und 18 mg/kg Trockenmasse festgestellt (Tab. 7), wobei die Komponenten Phenanthren, Fluoranthen und Pyren den Hauptanteil ausmachen. Die B-Werte der niederländischen Liste werden weder für Einzelkomponenten noch in der Summe überschritten. Die festgestellte Konzentrationsverteilung der PAK im Sediment spricht nicht für einen Eintrag aus dem Bereich der Deponie, sondern eher für eine Zuführung aus zeitweiligen Abwassereinleitungen im Bereich der Nordbucht. In der Regel wurde eine Konzentrationsabnahme der PAK in den tieferen Sedimentschichten festgestellt (Tab. 7).

Wegen ihrer lipophilen Eigenschaften werden organische Schadstoffe, die nur in geringsten Spuren in einem Gewässer vorhanden sind, im Körpergewebe von Wasserorganismen stark angereichert. Es lag daher nahe, die PAK- und PCB-Analysen auch auf die Biosphäre des zu untersuchenden Gebietes auszudehnen. Im August und September 1993 wurden Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*)

von insgesamt fünf Standorten aus dem Hufeisensee gesammelt und sowohl auf PAK als auch auf PCB untersucht (Abb. 12). Zum Vergleich wurde eine Probe aus dem Kulkwitzer See, einem Tagebaurestsee im Westen von Leipzig, herangezogen.

Die aus dem Hufeisensee entnommenen Muscheln sind nicht einheitlich belastet, sondern Minimum und Maximum liegen bei den PAK um den Faktor 30 und bei den PCB um den Faktor 60 auseinander (Tab. 8). Das ist möglicherweise auf die unterschiedliche lokale Situation zurückzuführen. Die Dreikantmuscheln wurden bevorzugt auf Unterlagen angetroffen, die eindeutig anthropogenen Ursprungs sind, wie Ziegelschutt und Autowrackteile.

Da es bisher nicht gelang, PCB direkt im Wasser nachzuweisen, ergibt sich aus den Befunden die Möglichkeit, bei Kenntnis des Anreicherungsfaktors auf die Größenordnung der PCB-Konzentration im Wasser zu schließen.

Zur Abschätzung des Anreicherungsfaktors der PCB muß auf Literaturangaben zurückgegriffen werden. Bei einem Belastungsniveau von 100 ppb PCB in der Elbe wurde bei Effektmonitoring-Versuchen mit *Dreissena polymorpha* in der Meßstation

Schnackenburg (ARGE ELBE, 1991) für die sechs PCB-Repräsentanten (Tab. 8) ein Anreicherungsfaktor von durchschnittlich 18.000 (Minimum: 9.100, Maximum: 42.000) gefunden.

Für die PAK ergibt sich aus den eigenen Ergebnissen für die Größenordnung des Anreicherungsfaktors ein Wert zwischen 4.000 und 120.000.

Setzt man die Größenordnung des Anreicherungsfaktors mit 10<sup>4</sup> an, so kommt man für vier der fünf Muschelproben aus dem Hufeisensee mit einer mittleren PCB-Konzentration von 97 µg/kg auf eine resultierende PCB-Konzentration im Wasser von 0,01 µg/l. Zur Umrechnung auf die Gesamtsumme der 209 möglichen PCB-Kongenere muß dieser Wert vereinbarungsgemäß um den Faktor 5 hochgerechnet werden, so daß sich eine durchschnittliche Gesamtbelastung von 0,05 µg/l ergeben würde. - Der in der Tagespresse publizierte Wert von 5,6 µg/l PCB für das Wasser des Hufeisensees erscheint demgegenüber unrealistisch hoch.

#### Diskussion

Der Hufeisensee Kanena unterscheidet sich durch seine günstigen hydrochemischen Verhältnisse von vielen (meist sauren) Tagebaurestseen im mitteldeutschen Raum. Das hat in der etwa 50jährigen Entwicklung trotz seiner Isolierung, den teilweise erheblichen Spiegelschwankungen, wechselnden Bodenverhältnissen im Anstehenden sowie der ungünstigen Beckenmorphologie die Ausbildung eines relativartenreichen Bestandes an Makrophyten ermöglicht.

Verteilung, Häufigkeit und Vitalität lassen enge Beziehungen zur Form der Ufer, den Böden und trophischen Bedingungen erkennen. Die Beziehungen zum Umland sind erheblich. Windverbreitete Arten und solche, die durch Müllablagerungen in das Seebecken gelangten, spielen eine wichtige Rolle. Bei den echten Wasserpflanzen dürfte der Eintrag im wesentlichen durch Vögel erfolgt sein.

Mäßige Nährstoffversorgung und leichte Salzbelastung haben die Ansiedlung anspruchsvoller Arten allerdings weitgehend verhindert und die Entwicklung einer Reihe von Brackwasserarten begünstigt. Etwa 50 Arten wurden mit zwei verschiedenen Methoden kartiert. Sie lassen sich als biologische Indikatoren nutzen und gestatten eine vielschichtige Charakterisierung der Iimnologischen Verhältnisse.

Erosionsufer mit anstehenden bindigen Kippmassen des Tertiärs erweisen sich für künftige Gestaltungs- und Sicherungsarbeiten als ingenieurbiologische Problemzonen, während man bei gleicher Bodenart auf flachem Ufer durchaus standortgerechte Röhrichtbestände vorfinden kann. Die häufigen Ansätze zu gürtelartiger ufernaher Vegetation konzentrieren sich auf das Verbreitungsgebiet vegetationsfreundlicher quartärer Bodenarten. Das Gemeine Schilfrohr als wichtigste Spezies dominiert dort an vielen Abschnitten und ermöglicht sogar bei Wellenbelastung einen erkennbaren Uferschutz, unterstützt durch die standortgerechte Silberweide. Brackwasserröhricht konzentriert sich auf geschütztere, zur Verschlammung neigende Uferabschnitte. Es ist für den Erosionsschutz weniger bedeutend.

Die submersen Makrophyten gestatteten ähnlich wie in natürlichen Seen eine gute Charakterisierung der Belastungszustände und Nährstoffsituation im ufernahen Bereich. Aus ihrer Verteilung lassen sich Schlüsse auf Störungen des Gewässers, insbesondere im Sediment, ziehen. Die Einflüsse der Deponie am Hufeisensee, wie der Regen- und Abwasserzuflüsse, erwiesen sich bisher jedoch als relativ unbedeutend. Das bestätigen auch die Untersuchungen an den Muschelkrebsen und jene zur Akkumulation organischer Laststoffe an der Dreikantmuschel.

Das Gesamtbild der PAK- und PCB-Belastung im Hufeisensee, einschließlich der Sedimente und wasserfiltrierender Lebewesen stellt sich nach den vorliegenden Ergebnissen als unkritisch dar.

Ein Schadstofftransport von der Deponie durch den Dammbereich zum Hufeisensee müßte sich durch erhöhte Belastungen der Sedimente und Organismen aus diesem Bereich zu erkennen geben. Dafür gibt es jedoch bis jetzt keine Hinweise. Das Vorkommen der Muschelkrebse im Hufeisensee läßt zwar auf eine erhöhte Salzkonzentration im Austrittsbereich der Deponiesickerwässer schließen, weist aber auf keine akute Toxizität hin.

Was unter den gegebenen Umständen als erhöhte Belastung einzustufen ist, muß durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Die Ergebnisse der Referenzprobe aus dem Kulkwitzer See deuten an, daß PAK- und PCB-Anreicherungen auch ohne eine Deponie in der Nachbarschaft eines Stillgewässers stattfinden.

Gesicherte Aussagen über die Herkunft der im Seewasser gefundenen Spurenkonzentrationen von PAK sind nicht möglich. Sie können jedoch zwanglos als Folge diffuser Einträge über den Luftpfad interpretiert werden. Geht man von einer PAK-Summenkonzentration von 0,02 µg/l aus, so kommt man bei einem Wasservolumen von 3.5 Mio m<sup>3</sup> auf ein Gesamtinventar von 70 g PAK im Hufeisensee. Diese Menge könnte bereits durch das jährliche Niederschlagsvolumen eingetragen werden, wenn man von einer mittleren PAK-Konzentration von 0,2 µg/l im Regenwasser ausgeht. Tatsächlich wurden PAK-Summenkonzentrationen zwischen 0,1 und 2 µg/l und PCB-Konzentrationen bis maximal 0,25 µg/l in Niederschlagswasser nachgewiesen (SCHLEYER et al. 1991). Schwebstoffeinträge aus der Luft werden möglicherweise einen noch größeren Beitrag zum PAK-Gehalt des Seewassers leisten. Wie eingangs erwähnt, ist der private Hausbrand auf Braunkohlenbasis eine ergiebige PAK-Emissionsquelle. Auf der Basis von Rauchgasanalysen und der gelieferten Menge an Braunkohlenbriketts wurde die nur von den privaten Haushalten der Stadt Leipzig im Jahre 1991 emittierte PAK-Menge auf über 20 t geschätzt (ENGEWALD et al. 1993).

#### Literaturverzeichnis

- ARGE ELBE (1991): Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe: Biologisches Effektmonitoring mit der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* in der Meßstation Schnackenburg. Wassergütestelle Elbe, Februar 1991
- CARMIENKE, I., TAUCHNITZ, J. & G. KIESEL (1987): Mikrobiologische Untersuchungen an deponiebeeinflußten Wässern unter besonderer Berücksichtigung sulfatreduzierender Bakterien. Acta hydrochim. hydrobiol. 15, 587-602.
- ENGEWALD, W., KNOBLOCH, T. & J. EFER (1993): Flüchtige organische Verbindungen in Emissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle. Z. Umweltchem. Ökotox. 5, 303-308
- GLÄßER, W. & H. KLAPPER (1992): Stoffumsätze beim Füllprozeß von Tagebaurestseen.
   Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen. Boden, Wasser und Luft S. 19-23
- HENNIG, G. et al. (1992): Gefährdungsabschätzung einschließlich Sicherungs-/Sanierungskonzeption für den Standortbereich der Deponie am Hufeisensee Kanena. - Harres Pickel Consult (HPC) Merseburg, Merseburg/Berlin/Halle
- MELZER, A. (1993): Ermittlung der Nährstoffbelastung im Uferbereich von Seen mit Hilfe des Makrophytenindex. Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei und Flußbiologie 47, 156-172
- MELZER, A., RICHTER, W. & B.W. SCHARF (in Vorbereitung): Application of macrophyte index to a man-made lake. Arch. Hydrobiol.
- OECD (1982): Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris 154 S.
- UTHERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. - Mitt. d. Internat. Vereinig. f. Limnologie 9, 38 S.
- Scharf, B.W. (1980): Zur rezenten Muschelkrebsfauna der Eifelmaare (Crustacea: Ostracoda). Mitt. Pollichia 68, 185-204
- Schleyer, R., Renner, I. & D. Mühlhausen (1991): Beeinflussung der Grundwasserqualität durch luftgetragene organische Schadstoffe. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes (WaBoLu) Hefte 5/1991
- STEINBERG, C., KERN, J., PITZEN, G., TRAUNSPURGER, W. & H. GEYER (1992): Biomonitoring in Binnengewässern. Grundlagen der biologischen Überwachung organischer Schadstoffe für die Praxis des Gewässerschutzes. Landsberg/Lech (Ecomed-Verlag) 312 S.

Tab. 1. Physikalische und chemische Kenngrößen in der 0 - 10 m Schicht im Hufeisensee bei Halle in den Jahren 1993-94

Untersuchungsdaten:

<u>1993</u>: 28.01.; 06.05.; 08.07.; 11.08.; 21.10.; 02.12.

<u>1994</u>: 27.01.; 24.02.; 03.05.; 21.06.; 23.08.; 14.09.; 03.11.

Parameter	Maßeinheit	Schwankungsbreite der Meßwerte
Sichttiefe	m	2,9 - 7,4
Leitfähigkeit	mS/cm	2,4 - 2,7
02	mg/l	1,5 - 13,5
рН		7,3 - 8,3
CI-	mg/l	199 - 242
SO4 <sup>2</sup> -	mg/l	962 - 1209
NO3 <sup>-</sup> -N	mg/l	0,1 - 1,0
NH4 <sup>+</sup> -N	mg/l	0,02 - 0,08
Ges. N	mg/l	0,2 - 1,3
Ges. P	mg/l	0,016 - 0,033
GH	°dH	70 - 75
KH	°dH	5,5 - 8,1
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	312 - 361
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	88 - 107
K <sup>+</sup>	mg/l	8,4 - 12,1
Na <sup>+</sup>	mg/l	196 - 208

Tab.2. Quantitative Phytoplanktonanalysen vom Hufeisensee in den Jahren 1993 - 1994. ZZ = Zellzahl in Mio/l; BM = Biomasse in mg/l

Datum	Chrom	ophyta	Chlor	ophyta	Cryptophyta		
	ZZ	BM	ZZ	BM	ZZ	BM	
10.06.93	0,05	0,081	2,29	0,435	0,1	0,101	
08.07.93			0,55	0,061			
02.12.93			2,15	0,257			
27.01.94			3,67	0,435	0,29	0,179	
03.05.94			1,49	0,153	E		
21.06.94			0,85	0,852			
23.08.94	0,15	0,232	1,39	0,154			

Tab. 3. Einteilung ausgewählter Makrophyten in 9 Indikatorgruppen (nach Melzer 1993)

Gruppe 1,0	Gruppe 1,5	Gruppe 2,0
Chara hispida Chara polyacantha Chara strigosa Potamogeton coloratus Utricularia ochroleuca	Chara aspera Chara intermedia Utricularia minor	Chara deticaluta Chara tomentosa Potamogeton alpinus
Gruppe 2,5	Gruppe 3,0	Gruppe 3,5
Chara contraria Chara fragilis Nitella opaca Nitellopsis obtusa Potamogeton gramineus Potamogeton natans Potamogeton x Zizii	Chara vulgaris Myriophyllum spicatum Potamogeton filiformis Potamogeton perfoliatus	Myriophyllum verticillatum Potamogeton berchtoldii Potamogeton lucens Potamogeton praelongus Potamogeton pusillus
Gruppe 4,0	Gruppe 4,5	Gruppe 5,0
Fontinalis antipyretica Hippuris vulgaris Lagarosiphon major Potamogeton pectinatus	Callitriche cophocarpa Elodea candensis Elodea nuttalii Potamogeton crispus Potamogeton obtusifolius Ranunculus circinatus Ranunculus trichophyllus	Ceratophyllum demersum Lemna minor Potamogeton mucronatus Potamogeton nododus Sagittaria sagittifolia Spirodela polyrrhiza Zannichellia palustris

Tab. 4. Probenahmestellen zur Erfassung der Muschelkrebsfauna im Hufeisensee bei Halle. Datum: 14. September 1993

Probestelle	Tiefe (m)	Substrat
1	4	Potamogeton, Chara
2	0,7	Sand
3	3,5	Potamogeton
4	4,5	tote Dreissena, keine Pflanzen
5	12	Detritus
6	2	Chara-Rasen
7	2	Chara (Material vom Anker)
8	1	Sand, Nähe von Chara-Rasen
9	5	Potamogeton
10	0,5	Kies mit Detritusauflage, vor Schilf
11	0,2	zwischen Sparganium, Scirpus und Phragmites
12	5	Potamogeton
13	0,5	Chara, Potamogeton, Sand u. Kies
14	12	Kohle und Detritus
15	0,3	Aufwuchs an Boje
16	0,75	vor Deponie, 0,5 m von Sickerstelle entfernt, Sand u. Kies mit Detritusauflage, wenig Potamogeton
17	1,5	vor Deponie, ca. 3 m vom Ufer entfernt, Sand, Kies

Tab. 5. Verbreitung der einzelnen Ostracoda-Arten an den verschiedenen Probestellen im Hufeisensee bei Halle. Datum: 14. September 1993

Art \ Probestelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Limnocythere inopinata	•												•				
Candona candida			G		•				•				۰	•			
Candona neglecta	0				•					•				•			
Fabaeformiscandona caudata														•			
Fabaeformiscandona hyalina	0			0					•		10			•			
Cyclocypris sp.	0				0	0	0					0		•	•	•	
Cypria ophtalmica	•	•				•			•			•		•	•	۰	
llyocypris bradyi								•									
Darwinula stevensoni												•				0	0
Herpetocypris reptans		0						•			9	•	۰	۰			•
Heterocypris salina										•						0	0
Plesiocypridopsis newtoni																ė	a
Cypridopsis vidua								۰		•	0		9			0	
Anzahl der Arten	9	6	8	5	8	3	2	4	5	5	3	6	5	10	3	8	8

Tab. 6. Namen und Summenformel der 16 PAK-Repräsentanten nach EPA 610. In Fettdruck die gemäß deutscher NORM 38 409-H13 bei Trinkwasseruntersuchungen zu prüfenden Komponenten.

Nr.	Name	Summenformel	Ringe
1	Naphthalen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	2
2	Acenaphthylen	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	3
2	Acenaphthen	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	3
4	Fluoren	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	3
5	Phenanthren	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	3
6	Anthracen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	3
7	Fluoranthen	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	4
8	Pyren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	4
9	Benz(a)anthracen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	4
10	Chrysen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	4
11	Benzo(b)fluoranthen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	5
12	Benzo(k)fluoranthen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	5
13	Benzo(a)pyren	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	5
14	Dibenz(a,h)anthracen	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	5
15	Benzo(g,h,i)perylen	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	6
16	Ideno(1,2,3-c,d)pyren	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	6

Tab. 7. PAK-Analysen von Sedimenten aus der Nordbucht des Hufeisensees. Angabe in mg/kg Trockengewicht. Probenahmedatum: 17.06.1993

Probe: KAN	930617-08	930617- 08	930617- 08	930617- 09	930617- 09
Fraktion/Teufe in cm	8-0	8-18	18-28	0-5	5-10
01: Naphtalen	0,34	0,21	0,03	2,18	0,45
02: Acenaphthylen				1	
03: Acenaphthen	0,19	0,17	0,10	0,91	0,21
04: Fluoren	0,09	0,07	0,04	0,32	0,18
05: Phenantren	0,78	0,61	0,58	2,90	0,48
06: Anthracen	0,08	0,10	0,10	0,44	0,07
07: Fluoranthren	0,83	1,35	0,85	4,51	0,66
08: Pyren	0,94	0,89	0,55	2,95	0,45
09: Benz(a)anthracen	0,36	0,48	0,31	0,82	0,10
10: Chrysen	0,34	0,51	0,29	1,07	0,12
11: Benzo(b)fluoranthen	0,18	0,45	0,23	0,78	0,10
12: Benzo(k)fluoranthen	0,78	0,36	0,16	0,28	0,04
13: Benzo(a)pyren	0,37	0,43	0,23	0,44	0,07
14: Dibenz(a,h)anthracen		0,11	0,05	0,09	0,02
15: Benzo(g,h,i)perylen	0,27	0,34	0,11	0,39	0,09
16: Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0,20	0,25	0,08	0,23	0,03
Summe 01-10	3,95	3,47	2,83	16,10	2,71
Summe 11-16	1,78	1,95	0,86	2,21	0,35
Summe 01-16	5,73	6,32	3,70	18,32	3,05

Tab. 8. PAK- und PCB-Analysen des Muskelfleisches der Dreikantmuschel aus dem Hufeisensee (Probe 1-5) und aus dem Kulkwitzer See (KULK). An gaben in μg/kg Frischgewicht. Probenahme: August/September 1993. Zur Lage der Probestellen im Hufeisensee siehe Abb. 12.

Probe	1	2	3	4	5	KULK
01: Naphtalen	17	1	6			
02: Acenaphthylen						İ
03: Acenaphthen	18	5	37	13	192	5
04: Fluoren	8 95	3	19	9 78 3 69	142	10
05: Phenantren	95	24	19 154	78	503	26
06: Anthracen	9			3	17	1
07: Fluoranthren	81	19	180	69	313	18
08: Pyren	15	4	23	18	604	11
05: Phenantren 06: Anthracen 07: Fluoranthren 08: Pyren 09: Benz(a)anthracen 10: Chrysen 11: Benzo(b)fluoranthen 12: Benzo(k)fluoranthen 13: Benzo(a)pyren 14: Dibenz(a,h)anthracen	18	3	76	18		12
10: Chrysen	33	6	107	38 23		6
11: Benzo(b)fluoranthen	31		109	23		<b></b>
12: Benzo(k)fluoranthen	9	<u> </u>	6	4		
13: Benzo(a)pyren			4	1		2
14: Dibenz(a,h)anthracen			i i		i i	
15: Benzo(g,h,i)perylen						
16: Indeno(1,2,3-c,d)pyren	:		·		-	
Summe 01-10	243	55	419	190	1771	71
Summe 11-16	40	0	119	28	0	2
Summe 01-16 (PAK)	283	55	538	218	1771	73
PCB28	9,0			52,1	96,9	
PCB52				52,1 102,0	445,0	
PCB101	30,4	6,3	11,3	46,5	336,0	37,2
PCB138	13,8	12,2	17,6	14,0	445,0	19,8
PCB153	29,7	8,2	6,8	18,9	279,0	20,3
PCB180	2,8	1,1	1,7	2,5	49,9	5,4
Summe PCB	85,7	27,8	37,4	236,0	1651,8	82,7

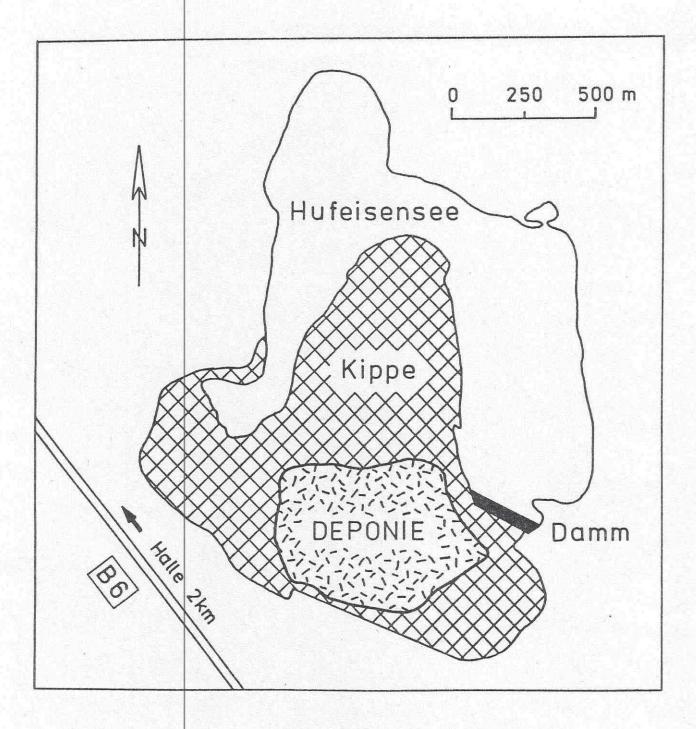


Abb. 1. Lageplan des gefluteten Tagebaurestloches "Hufeisensee" mit der Deponie Kanena bei Halle (aus GLÄßER & KLAPPER 1992)

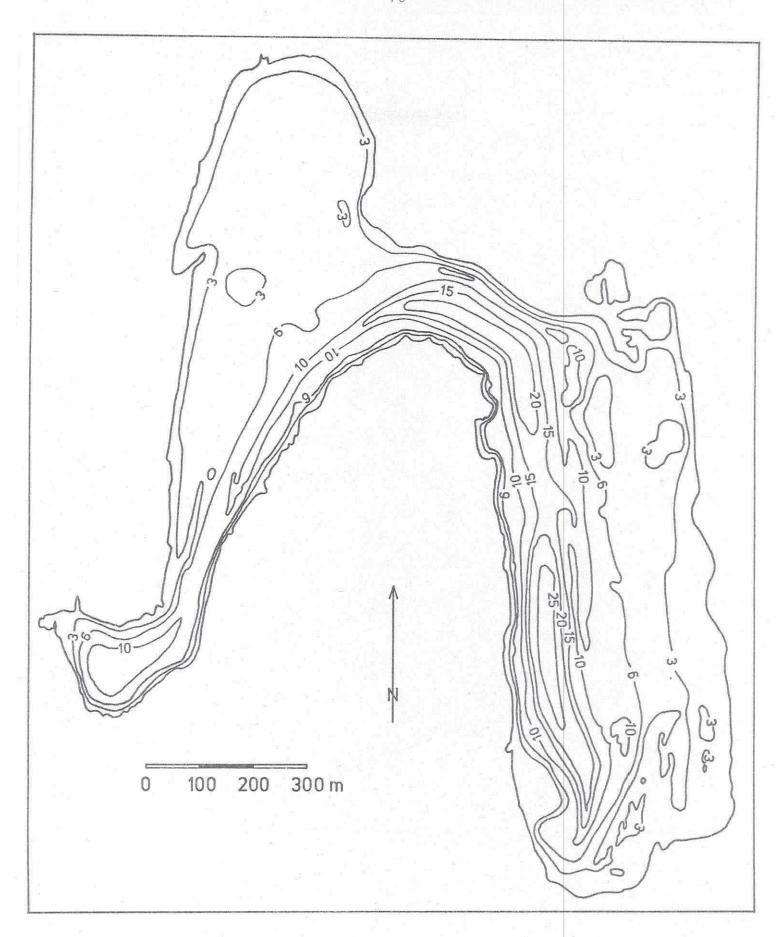


Abb. 2. Tiefenkarte des Hufeisensees bei Halle (Tiefenangabe in m bei Wasserspiegel 91,0 m NN) (nach: WIESER & RICHTER, UFZ-Sektion Hydrogeologie, 1993)

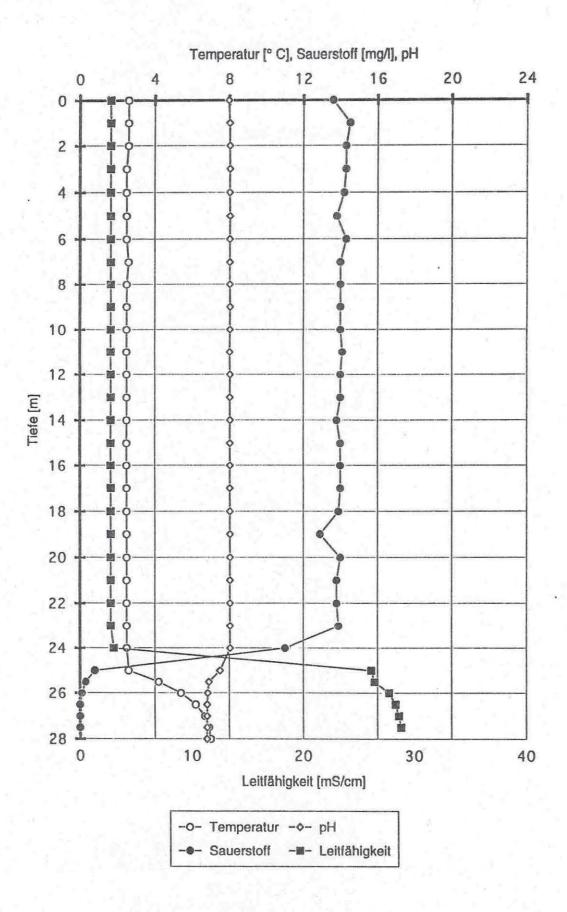
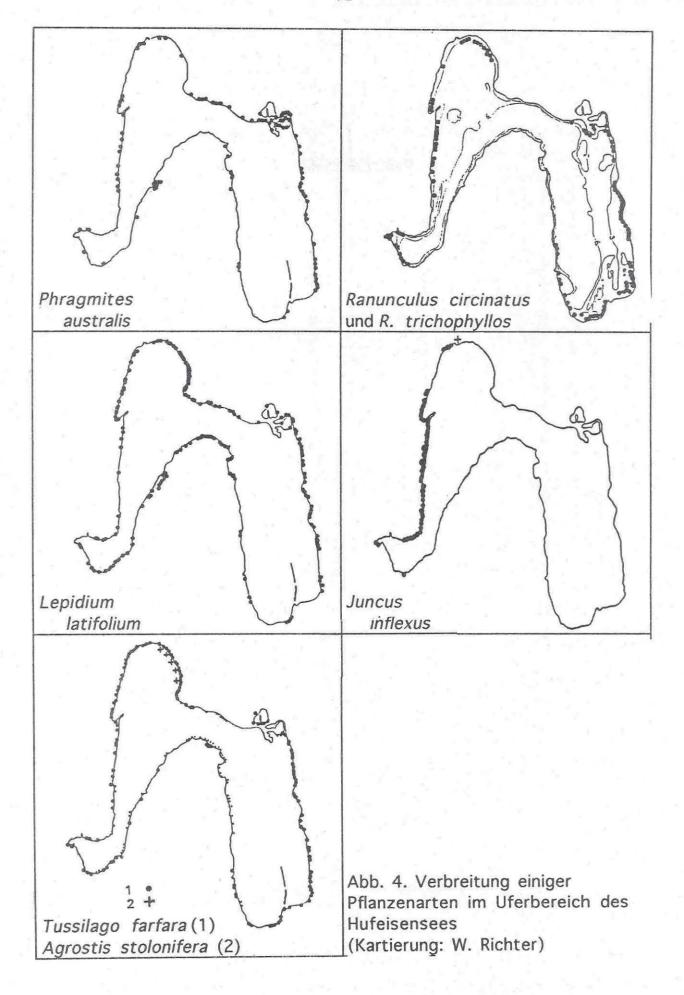
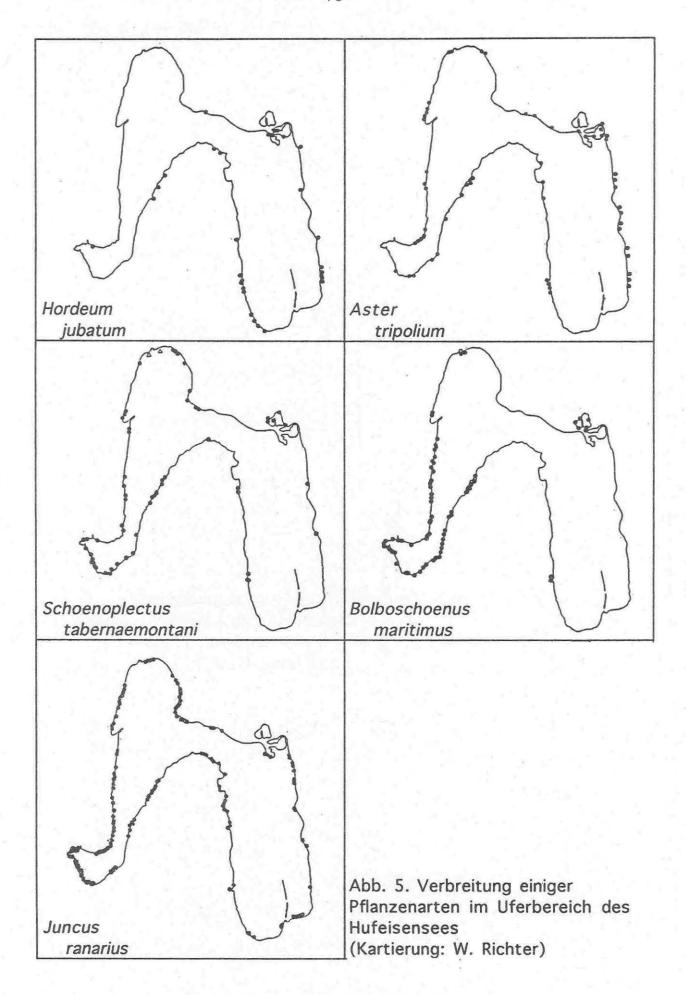


Abb. 3. Tiefenverteilung von Temperatur, Sauerstoff, pH und Leitfähigkeit im Hufeisensee am 9.12.1993





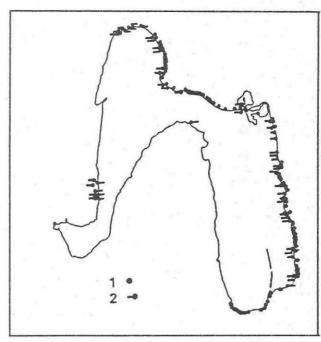


Abb. 6. Spontanaufwuchs von Pappelhybriden (*Populus*) (1) und Silberweide (*Salix alba*) (2) (Kartierung: W. Richter)

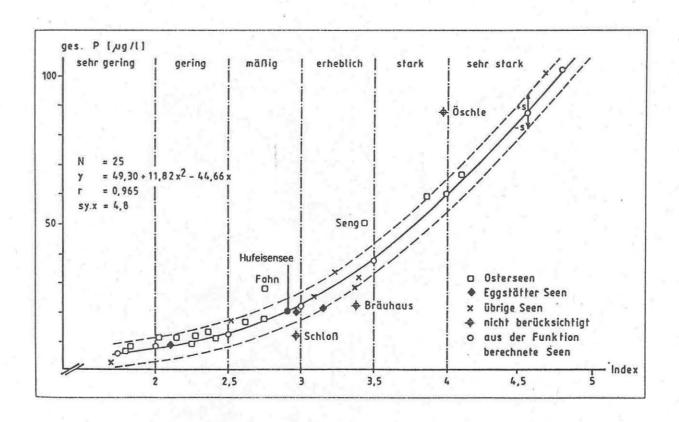


Abb. 7. Korrelation zwischen dem Gesamt-Phosphor während der Frühjahrsvoll zirkulation und dem durchschnittlichen Makrophytenindex sowie Eintei lung in Klassen verschiedener Nährstoffbelastung (aus MELZER 1993, verändert)

## HUFEISENSEÉ

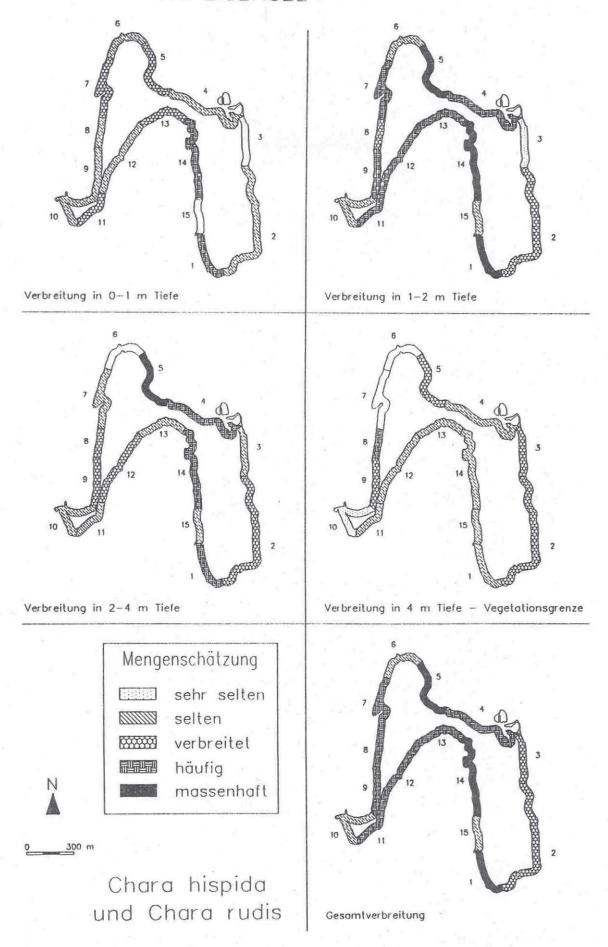


Abb. 8. Verbreitung von Chara hispida und Chara rudis im Hufeisensee bei Halle (Kartierung: MELZER)

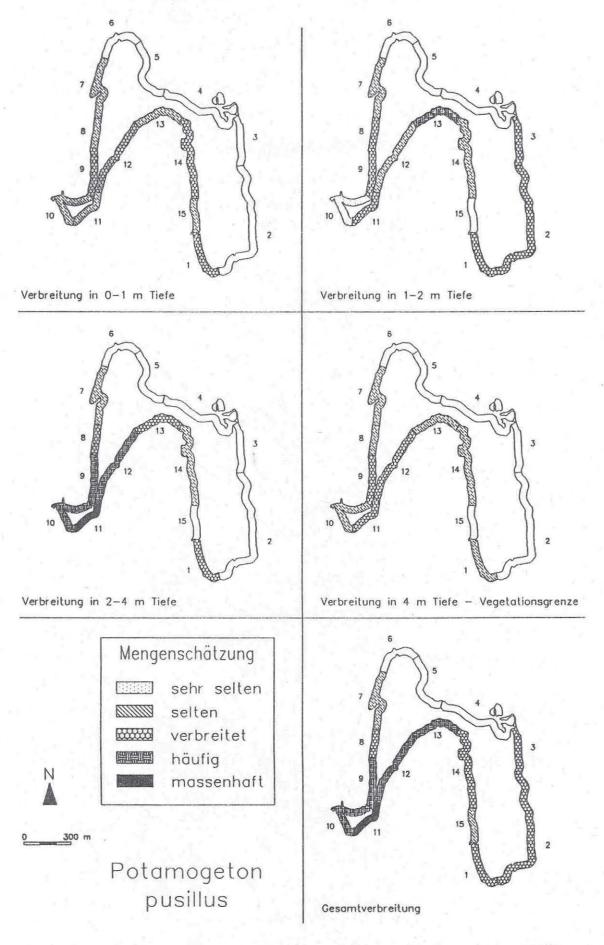


Abb. 9. Verbreitung von Potamogeton pusillus im Hufeisensee bei Halle (Kartierung: MELZER)

### HUFEISENSEE

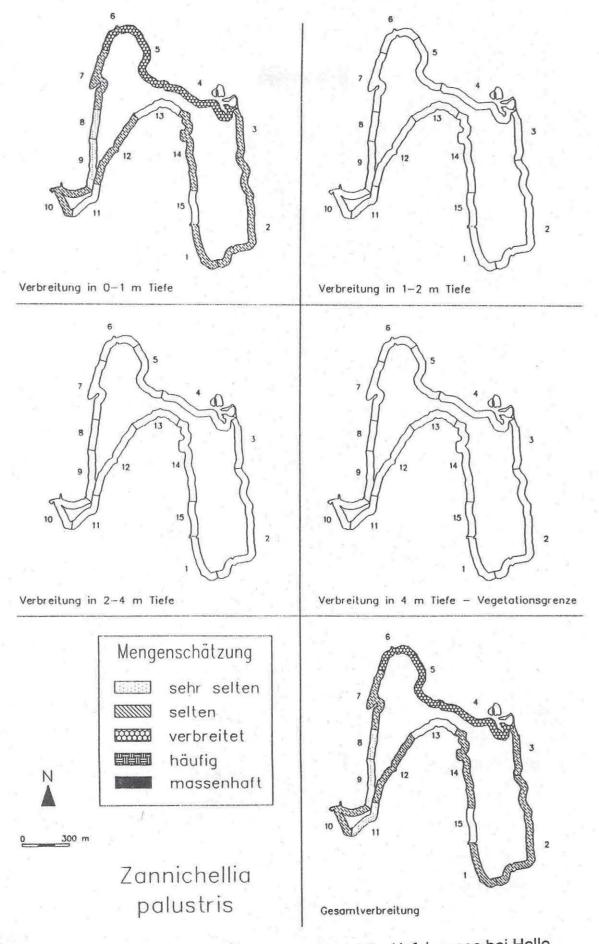


Abb. 10. Verbreitung von Zannichellia palustris im Hufeisensee bei Halle (Kartierung: MELZER)



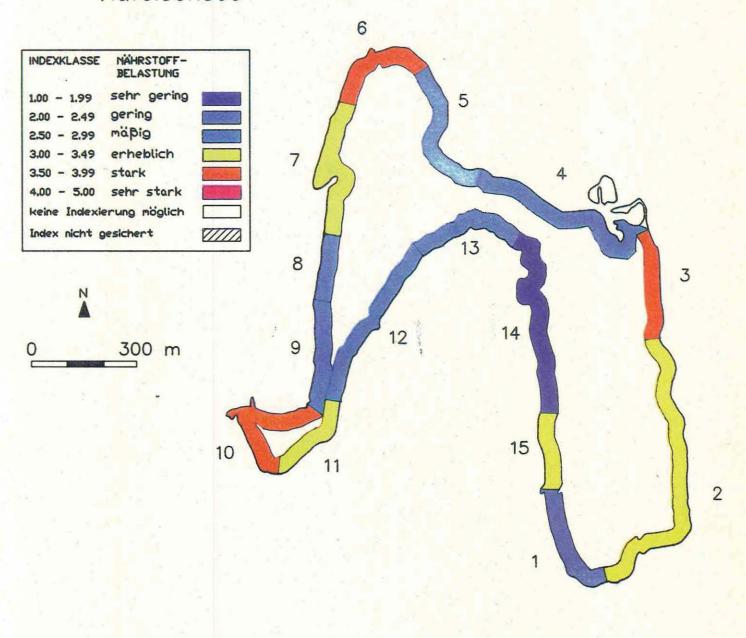


Abb. 11. Makrophytenindex im Hufeisensee bei Halle (Kartierung: MELZER)

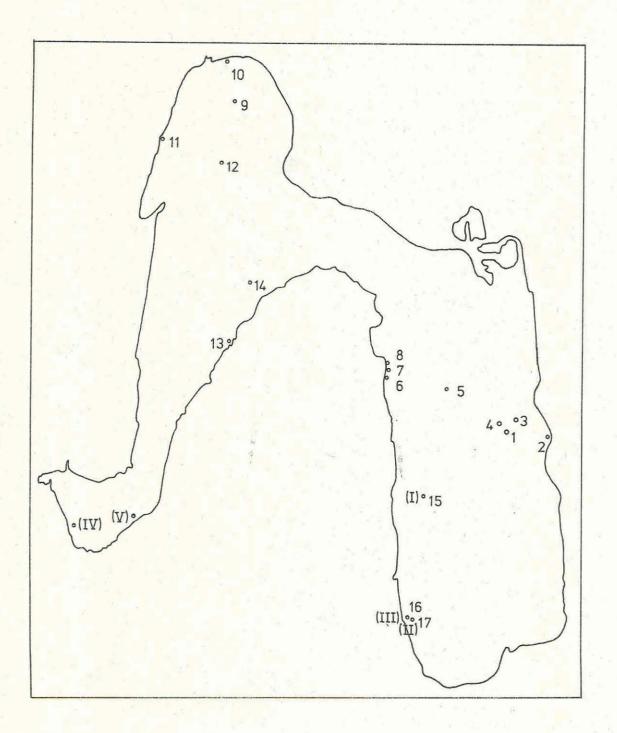


Abb. 12. Lage der Probestellen im Hufeisensee bei Halle, an denen Muschelkrebse gesammelt wurden (Probestellen 1-17) und an denen Dreikantmuscheln für toxikologische Untersuchungen entnommen wurden (Probestellen (I) - (V)).



# UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

Nr. 4/1995

Beiträge zum Workshop "Braunkohlebergbaurestseen"

24.-25. November 1994 in Bad Lauchstädt

Sektion Hydrogeologie UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH