

## **Beispiele für Neutralisierungsversuche am Steinberger See (Bayern) und Zieselsmaar (Nordrhein-Westfalen) - aus der UBA-Studie „Tagebauseen in Deutschland“**

Mike Hemm, Anja Schlundt, Maria Kapfer & Brigitte Nixdorf

Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Gewässerschutz, Forschungsstation  
Bad Saarow, Seestr. 45, 15526 Bad Saarow, E-Mail: hemm@limno-tu-cottbus.de

*Keywords: Braunkohlentagebauseen, Versauerung, Seenstatistik, Seemonographien*

### **Abstract**

The study presented comprises data of more than 500 mining lakes, of which 239 are situated in the main open cast mining districts in Germany and described in more detail. The mining lakes in Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and North Rhine-Westphalia are going to be among the largest lakes in Germany. Chemical as well as morphometrical properties vary substantially between lakes and overall acidification is the main problem concerning water quality. Different neutralisation measures in two mining lakes, the lake Steinberger See (Bavaria) and the lake Zieselsmaar (NRW), are presented and reasons for reacidification are discussed considering the continuous inflow of acidic groundwater.

### **Einleitung**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden von September 1998 bis Dezember 2000 die wichtigsten bestehenden und zukünftigen Braunkohlentagebauseen in Deutschland nach Bergbaugebieten bzw. -revieren, ihrer Genese, der Morphometrie und Wasserbeschaffenheit erfasst und zum Teil dokumentiert (Nixdorf & Hemm 2001). Die Braunkohlentagebauseen in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen (NRW) werden nach Abschluss der Füllungsphase mit zu den größten Seen in Deutschland gehören. Sie weisen zum Teil sehr unterschiedliche chemische und morphometrische Eigenschaften auf. In allen Revieren ist die Versauerung das größte Gewässergüteproblem, wobei das Ausmaß im Lausitzer Revier am gravierendsten ist. Hier soll die Reaktion von zwei sauren Tagebauseen aus Bayern und NRW auf unterschiedliche Neutralisierungsversuche beschrieben werden.

### **Braunkohlentagebauseen in Deutschland**

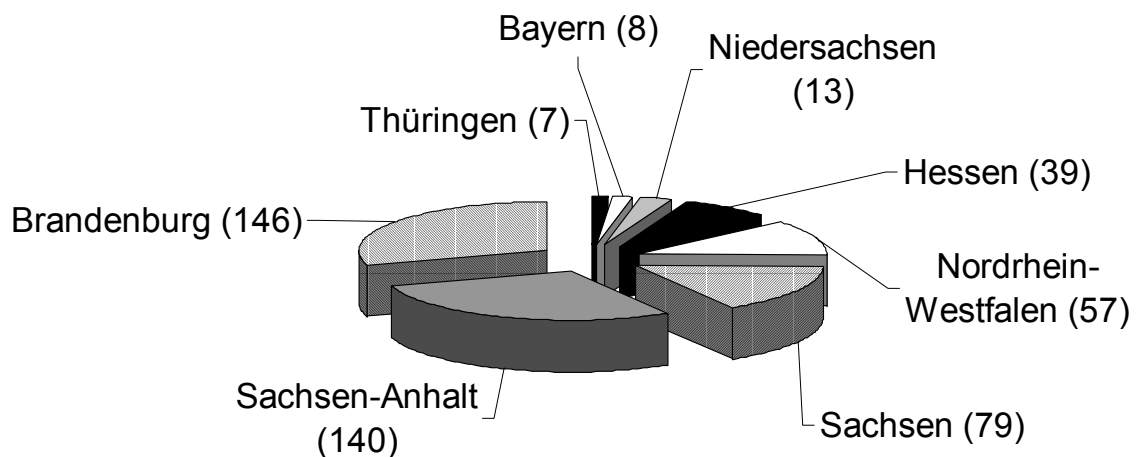
In der Bundesrepublik Deutschland wurde und wird Braunkohle in sechs Regionen gefördert (Abb. 1). Die zahlenmäßige Verteilung der Seen auf die einzelnen Bundesländer zeigt Abbildung 2.

- Rheinisches Revier in Nordrhein-Westfalen
- Lausitzer Revier in Ostsachsen und Brandenburg
- Mitteldeutsches Revier in Westsachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen
- Helmstedter Revier in Niedersachsen
- Wetterauer Revier in Hessen bei Kassel
- Oberpfälzer Revier in Nordbayern



**Abbildung 1:** Braunkohlenreviere in Deutschland (verändert nach Brecht 1992).

Die meisten Tagebauseen befinden sich im Land Brandenburg (Abb. 2). Hier ist auch der Anteil der sauren Seen am höchsten.



**Abbildung 2:** Anzahl der Braunkohlentagebauseen in den einzelnen Bundesländern Deutschlands (n = 489) (Hemm & Nixdorf 2001).

## Steinberger See und Zieselsmaar – zwei saure Tagebauseen

Im folgenden werden aufgrund ihrer limnologischen Besonderheiten, insbesondere des niedrigen pH-Wertes, der Steinberger Sees und das Zieselsmaars vorgestellt.

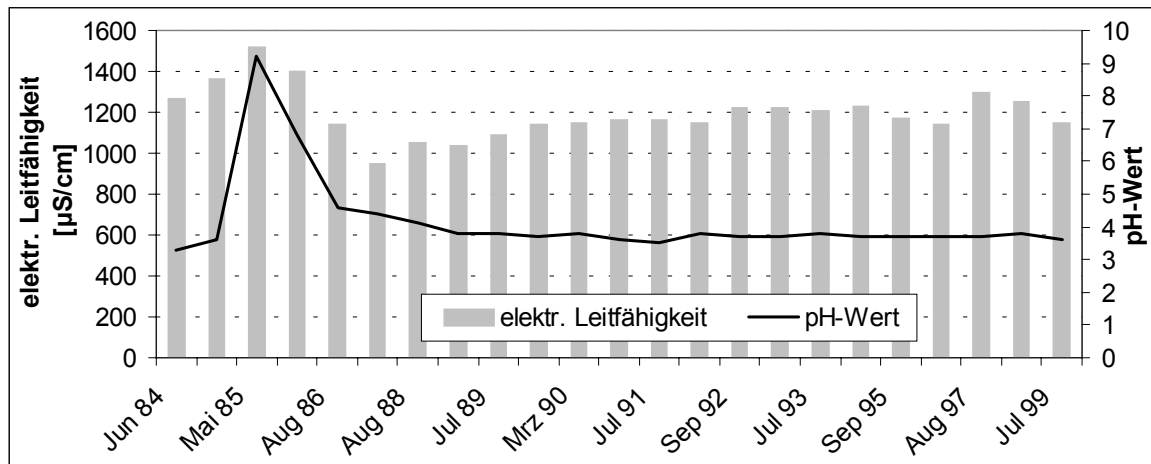
Der **Steinberger See** entstand im Abbaugbiet Wackersdorf, das bis 1982 betrieben wurde. Er befindet sich ca. 30 km nördlich von Regensburg, westlich der Autobahn (A 93). Die Uferränder und die Wellenschlagzone wurden bereits während des noch laufenden Abbaubetriebes gestaltet, indem eine 12 m breite Uferzone angelegt wurde, auf der die Wellen auslaufen können und gebrochen werden. Die Flutung wurde 1981 begonnen. Mit Erreichen seines Endwasserstandes nimmt der Steinberger See eine Wasserfläche von 184 ha ein und ist damit der größte bayerische Braunkohlentagebausee.

Mit einer maximalen Tiefe von 47 m ist der Steinberger See während der Sommermonate thermisch stabil geschichtet. Das Epilimnion erstreckt sich in 7,5 bis 10 m Tiefe, das darunterliegende Metalimnion liegt in 10 bis 20 m Tiefe. Das Wasser des Steinberger Sees ist meist klar. Seit 1984 wurden Sichttiefen zwischen 1,4 und 8,8 m gemessen.

**Tabelle 1:** Morphometrische und limnologische Daten (Oberflächenwasserprobe vom 14.07.99) des Steinberger Sees (n. Wasserwirtschaftsamt Amberg 1999)

Morphometrische Parameter			Limnologische Parameter		
Endwasserstand	[mNN]	+358	pH - Wert		3,6
Seewasservolumen	[Mio. m <sup>3</sup> ]	40	Gesamteisen	[mg/l]	0,3
Seefläche	[ha]	184	Sulfat	[mg/l]	657
maximale Tiefe	[m]	47	Leitfähigkeit	[µS/cm]	1150
mittlere Tiefe	[m]	21,7	TOC	[mg/l]	<0,5
maximale Länge	[m]	1930	Gesamtphosphor	[µg/l]	<5
maximale Breite	[m]	1370	Chlorophyll a	[µg/l]	3
Schichtungstyp		dimiktisch	Sichttiefe	[m]	7,8

Die pH-Werte des Steinberger Sees liegen zwischen pH 3,5 - 4. Im Jahr 1985 wurde mit dem Ziel, den stark sauren pH-Wert des Steinberger Sees zu erhöhen, Asche aus dem Kraftwerk Schwandorf eingespült. Die Asche stammte aus der Verbrennung von Braunkohle, der Kalksplit zur Entschwefelung der Rauchgase beigemischt worden war (Weilner 1989). Die Ascheeinspülung hatte keinen dauerhaften Erfolg. Der pH-Wert erhöhte sich zunächst drastisch auf 9,2 und am Gewässergrund sogar bis auf 10,4. Nach Beendigung der Aktion fiel der pH-Wert innerhalb eines Jahres wieder auf 6 ab, nach zwei Jahren auf 4,6 ab. 1999 wurde in der gesamten Wassersäule maximal pH 3,9 gemessen. Leichte Schwankungen ergeben sich durch den Zufluss aus dem Schreckerbach in den Steinberger See.



**Abbildung 3:** Entwicklung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit im Steinberger See (n. Wasserwirtschaftsamt Amberg 1999)

Durch die vorübergehende Alkalinisierung sind jedoch die Konzentrationen der gelösten Metallionen durch Ausfällungsreaktionen nachhaltig reduziert worden: z.B. sanken die Konzentrationen von Eisen, Aluminium, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink z.T. unter die Nachweisgrenzen. Mit der sukzessiven Rückversauerung war allerdings im Laufe der Jahre ein leichter Wiederanstieg zu verzeichnen. Weitere Nebeneffekte der zeitweiligen pH-Erhöhung waren ein Anstieg der Leitfähigkeit auf bis zu 1700 µS/cm, sowie eine Verringerung der Sichttiefe. Außerdem war mit den anhaltend neutralen pH-Verhältnissen in der Zone unterhalb 40 m Tiefe eine Sauerstoffverarmung gekoppelt, die hier von 1986 bis 1994 zu anoxischen Verhältnissen führte. In den Sommermonaten wurden dagegen in ca. 10 m Tiefe häufig Sauerstoffmaxima von über 160 % Sättigung gemessen. In diesen Tiefen wurden Chlorophyll a-Konzentrationen zwischen 1 – 12 µg/l nachgewiesen, die in der Regel höher als an der Gewässeroberfläche (meist ca. 1 µg/l) waren.

Im Juli 1993 wurden die Dinophyceen *Peridinium* sp. und *Gymnodinium* spp., *Dactylococcopsis acicularis* und die zentrische Kieselalge *Cyclotella radiosa* nachgewiesen. Steinberg et al. (1998) fanden ebenfalls Dinophyceen und Chlorophyceen. Nach Angaben von Weilner (1989) konnte sich im Steinberger See ein Fischbestand etablieren, der sich aber vor allem im Bereich der Zuflussstelle des neutralen Schreckerbaches aufhält.

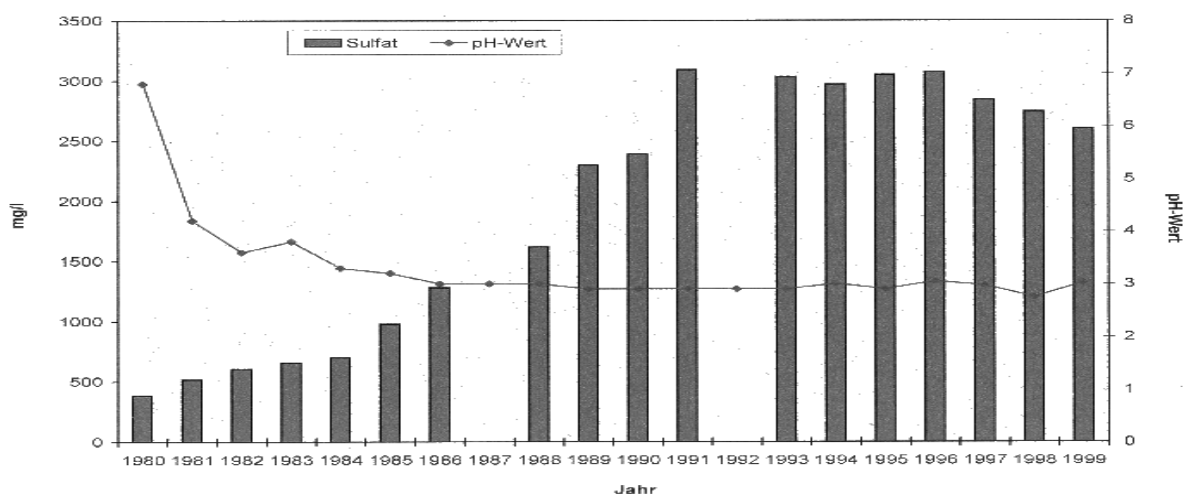
Das Zieselsmaar in **Nordrhein-Westfalen** befindet sich westlich der Autobahn (A 1) und nördlich der Ortschaft Kierdorf. Es entstand 1966 als eines von etwa 40 Gewässern im Bergbaurevier der Ville. In unmittelbarer Gewässernähe befinden sich Altablagerungen in Form von Braunkohlenaschen aus verschiedenen Kraftwerken. Die Flächen im Bereich des Sees sind seit 1984 als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen, wovon Bereiche seit einigen Jahren als FKK-Vereinsgelände genutzt werden. Andere Nutzungsformen sind nicht zu beobachten. Der Grundwasserstrom stellt gegenwärtig die Hauptzuflussform dar und wird durch kleinere periodische oberirdische Zuflüsse aus dem Umland ergänzt. Das Wasser fließt über einen Überlauf in einen Graben ab, der mit dem Kocherbach in Verbindung steht. Im Zieselsmaar erreicht die Verzahnung von Wasser und Land mit einer Uferentwicklung von 1,36 einen für die Ville-Seen durchschnittlichen Wert. Das Seebecken steigt zum Ufer relativ

steil an. Nur im Norden, dem Bereich der Liegewiesen, sind die Ufer etwas flacher. Die größte ermittelte Tiefe wird im südlichen Gewässerteil erreicht.

1980 lag der pH-Wert noch im neutralen Bereich und die Sulfatkonzentration unter 500 mg/l. Dann setzte mit Beendigung der Sümpfung ein Anstieg des Grundwasserspiegels ein (Christmann 1995). Dieser erreichte die eisensulfidreiche Abraumkippe der Berrenrather Börde. Eisensulfide (Pyrit, Markasit) wurden unter Luftzutritt oxidiert und Schwefelsäure freigesetzt, was zu einer Versauerung des Sees führte. In den letzten Jahren stagniert diese Entwicklung und seit 1996 kann ihre schwache Umkehrung beobachtet werden. Dieses ist auf regelmäßige Kalkungen, als Voraussetzung für die Nutzung als Badegewässer, zurückzuführen. Gegenwärtig ist die Sulfatkonzentration im Zieselsmaar im Vergleich zu den anderen Ville-Seen mit Abstand am Höchsten. Die normalerweise in Oberflächengewässern nachweisbaren 10 - 30 mg/l Sulfat werden hier um das Hundertfache überschritten. Durch die Verringerung des pH-Wertes wurden zunehmend größere Stoffmengen mobilisiert, so dass 1988/89 durchschnittlich 10 µg/l Chrom, 570 µg/l Nickel, 710 µg/l Mangan und 4,2 µg/l Arsen im Seewasser nachgewiesen wurden.

**Tabelle 2:** Morphometrische und limnologische Daten (Jahresmittelwert 1988/89) vom Zieselsmaar (Christmann 2000).

Morphometrische Parameter			Limnologische Parameter		
Seewasservolumen	[Mio. m <sup>3</sup> ]	0,28	pH - Wert		um 3
Seefläche	[ha]	5,8	Gesamteisen	[mg/l]	175
maximale Tiefe	[m]	10,1	Sulfat	[mg/l]	2057
Mittlere Tiefe	[m]	4,8	Leitfähigkeit	[µS/cm]	2856
maximale Länge	[m]	440	Gesamtphosphor	[µg/l]	10
maximale Breite	[m]	245	Sichttiefe	[m]	1,2
Uferentwicklung		1,36			
Tiefengradient		2,35	Schichtungstyp		meromiktisch



**Abbildung 4:** Entwicklung von pH-Wert und Sulfatkonzentration im Zieselsmaar (Christmann 2000).

Besondere chemische Verhältnisse im See sind für die Meromixie verantwortlich. Der Wasserkörper ist lediglich bis in 5 bzw. 6 m Tiefe durchmischt und in der oberen Schicht sind zeitweise schwache Sauerstoffübersättigungen festzustellen. In 4 m Tiefe fällt die Konzentration jedoch auf < 4 mg/l und ab 5 m Tiefe fehlt der Sauerstoff völlig.

Die planktische Besiedlung des Sees zeichnet sich durch eine deutliche Artenarmut aus. Beim Phytoplankton konnten 1989 nur 3 Taxa (Arten bzw. höhere systematische Taxa) nachgewiesen werden. Hierbei handelte es sich um *Euglena mutabilis*, einen Vertreter der Euglenophyceae, um Vertreter der  $\mu$ -Algen, eine systematisch uneinheitliche Gruppe, und um eine Gattung der Chlorophyta (*Chlamydomonas*). Diese erreichten im Oktober mit mittlerer Häufigkeit das größte Aufkommen der nachgewiesenen Taxa. Von den Zooplanktern waren nur die Rotatoria mit einigen Individuen der Gattung *Cephalodella* vertreten. Eine schwache Besiedlung war außerdem durch Vertreter der Heteroptera mit Jungtieren der Corixidae und ausgewachsenen Exemplaren von *Sigara nigrolineata*, zu beobachten. Außerdem sind noch drei Arten der Coleoptera im See beheimatet. Amphibien und Fische konnten nicht nachgewiesen werden. Sie finden bei so niedrigen pH-Werten keine ausreichenden Lebensbedingungen vor. Von den Wasservögeln hielten sich lediglich einige Exemplare von *Anas platyrhynchos* (Stockente) längere Zeit auf dem See auf. Ein Flußuferläufer (*Tringa hypoleucos*) und vier Seeschwalben konnten als Durchzügler beobachtet werden. Die Gewässerversauerung beeinflusste nicht zuletzt die makrophytische Besiedlung des Zieselsmaars, die 1988 vorrangig durch Zuchtformen von *Nymphaea* repräsentiert wurden. Auf eine Adaptation von *Phragmites australis* weist die in den letzten Jahren wiedergewonnene Vitalität der Röhrichte hin. Im terrestrischen und semiterrestrischen Bereich insbesondere der Liegewiesen siedeln u.a. sieben *Juncus*-Arten sowie *Iris pseudacorus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Lysimachia vulgaris*, *Epilobium hirsutum* und andere Gefäßpflanzen.

## Literatur

- Brecht, 1992: Braunkohlereviere in Deutschland. Bergbau, Öl und Gas, Elektrizität, Chemie, Jahrbuch 99. Verlag Glückauf: 82-107.
- Christmann, K.-H., 1995: Die Seen im rekultivierten Tagebau „Ville“ (Nordrhein-Westfalen) – ein limnologischer Überblick. In W. Geller & G. Packroff (Hrsg.), Abgrabungsseen - Risiken und Chancen. Limnologie aktuell 7: 67-76.
- Christmann, K.-H., 2000: Die Seen im rekultivierten Tagebau „Ville“ (Nordrhein-Westfalen) – Zieselsmaar - aktuelle Datenreihe.
- Nixdorf, B. & M. Hemm, 2001: Tagebauseen in Deutschland - ein Überblick. UBA-Bericht 35/01: 1-519.
- Steinberg, C.E.W., H. Schäfer, W. Beisker, 1998: Do acid-tolerant cyanobacteria exist? Acta hydrochim. hydrobiol. 26: 13-19.
- Wasserwirtschaftsamt Amberg, 1999: Limnologische Messdaten 1982-1999. Bereitgestellt vom Wasserwirtschaftsamt Amberg.
- Weilner, C., 1989: Entstehung einer Seenlandschaft bei Wackersdorf. Zur Geschichte der Bayerischen Braunkohlenindustrie AG und ihre Auswirkung auf die Ökologie. Naturw. Zeitschrift f. Niederbayern. 31: 125-149.