

## Limnochemische Untersuchungen im Schlachtensee von Berlin unter besonderer Berücksichtigung der Phosphor-Bilanz während der Sommermonate 1978–1979

Elys Szymanski-Bucarey

Lake Schlachtensee belongs to the chain of Grunewald Lakes. These lakes were originally fed by groundwater. Due to the use of the lake as source for drinking-water after shore line infiltration the water level had sunk and is now maintained at 31.7 m above sea-level by pumping water from the Havel system to the lake chain. A strong eutrophicating effect was induced by high P-concentration of this Havel water. In summer 1978 a minimum secchi disk reading of 0.30 m was obtained. At the same time an oxygen saturation of 300 % was measured in the surface water while there were anaerobic conditions in the hypolimnetic water. There a maximum concentration of 22 mg H<sub>2</sub>S/l was measured. Nitrogen and phosphorus were present in excessive quantities during the summer stagnation. A further increase of the phosphorus concentration during summer in the lake shows that both the contribution of phosphorus by the Havel water, and the recycling of phosphorus from the sediment are highly significant phosphorus-sources resulting in a heavy algal bloom-situation during summer.

*Eutrophic lake, phosphorus budget, Schlachtensee.*

### 1. Einleitung

Der Schlachtensee wurde wie die meisten Berliner Seen nach dem Rückzug der Gletscher der letzten Eiszeit in der sogenannten Grunewaldseenrinne gebildet. Diese Rinne war schon in der Saale-Eiszeit vorgebildet worden.

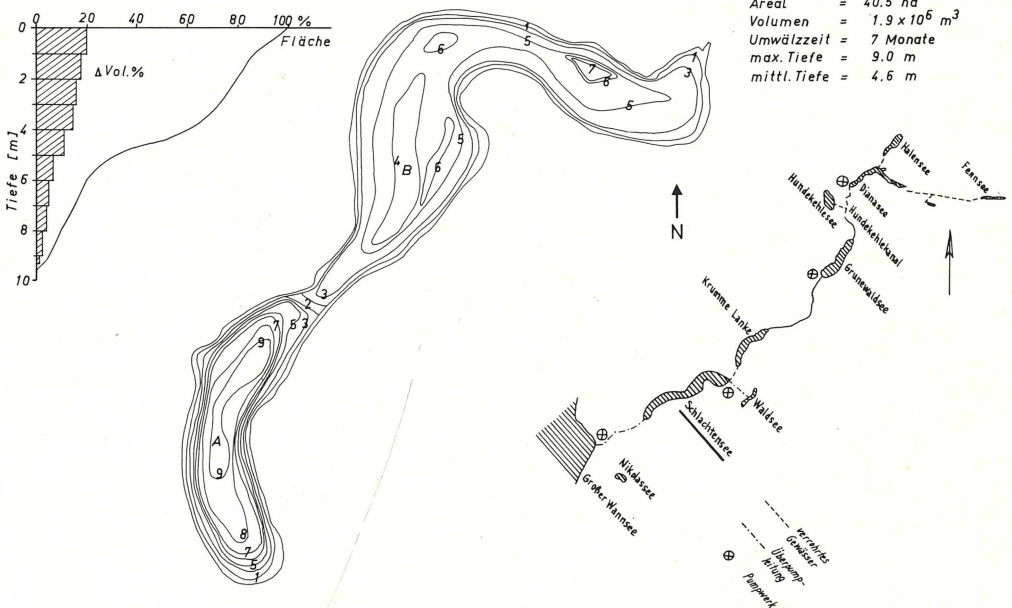


Abb. 1a + b) Tiefenkarte vom Schlachtensee

A, B = Probenahmestellen (die Tiefenkarte wurde freundlicherweise vom Fischereiamt Berlin zur Verfügung gestellt).

c) Lageplan der Grunewaldseen (nach KLOOS 1973).

Frühere Fließrichtung vom Halensee zum Schlachtensee; nach der Havelwassereinleitung fließt das Wasser in umgekehrter Richtung, d.h. vom Schlachtensee zu den anderen Grunewaldseen.

Die Seen dort waren ursprünglich reine Grundwasserseen, d.h. ihr Wasserspiegel war vom Grundwasserstand abhängig. Durch stark zunehmende Nutzung des Grundwassers ist der Grundwasserspiegel im Berliner Raum im Vergleich zum langjährigen Mittel bis 1959 um ca. 1.20 m abgesunken (mündl. Mitt. aus dem Wasserwerk Berlin).

Im Süden Berlins wurde zu Anfang dieses Jahrhunderts das Wasserwerk Beelitzhof gebaut und in Betrieb genommen. Das führte im Schlachtensee zu einer Absenkung des Wasserspiegels um mehr als einen Meter. Seit 1913 wird daher Havelwasser in den Schlachtensee gepumpt. Für die Krumme Lanke und den Schlachtensee wurde vom Senator für Bau- und Wohnungswesen das Stauziel auf 31.7 m über NN festgesetzt. Vom Schlachtensee wird Wasser in den Waldsee sowie in die Krumme Lanke und weiter in den Grunewaldsee gepumpt (Abb. 1).

Die Einleitung von Havelwasser in den Schlachtensee löste das Problem der Erhaltung des Grundwasserspiegels, brachte aber gleichzeitig eine Anreicherung des Schlachtensees mit Nährstoffen; denn es ist sehr nährstoffreich und wurde bis zum Zeitpunkt dieser Untersuchung ohne Vorbehandlung in den Schlachtensee gepumpt. Im Rahmen eines zweijährigen Programms wurde hauptsächlich im Schlachtensee die Phosphor- und Stickstoffbelastung während der Sommermonate untersucht. Morphometrische Daten sind aus Abb. 1 ersichtlich. Der Schlachtensee hat keinen natürlichen oberirdischen Zufluß, ist jedoch durch einen gedeckten Kanal mit der Krummen Lanke verbunden.

Proben wurden in zwei vertikalen Profilen in Tiefenabständen von 1 m entnommen (Abb. 1) und am selben Tag im Labor bearbeitet (s. Methodik in SZYMANSKI-BUCAREY et al., 1978).

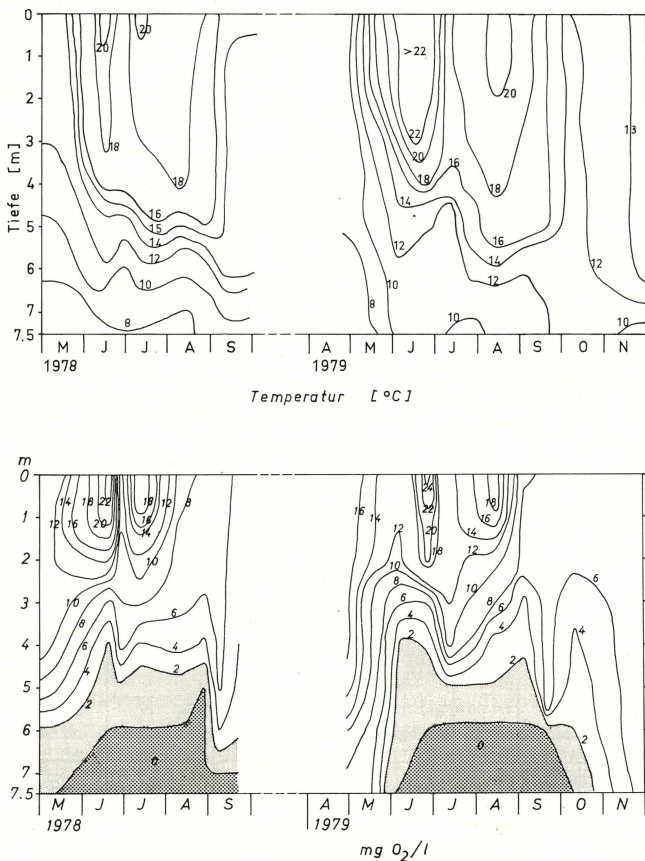


Abb. 2: Isoplethenverlauf der Temperatur in °C, Sauerstoffgehalt in mg/l. Die dunkel schraffierte Schicht entspricht der anaeroben Schicht mit Schwefelwasserstoffbildung. Die Ergebnisse wurden im Zeitraum Frühjahr bis Herbst 1978 bzw. 1979 im Schlachtensee gewonnen.

## 2. Ergebnisse

Bei der Entnahmestelle A kam es im Sommer zur Ausbildung eines deutlichen Epilimnions. Das Temperaturmaximum lag im Jahre 1978 bei 20 °C und im Sommer 1979 bei 22 °C. Das Metalimnion befand sich zwischen 4 und 6 m Tiefe; darunter war das Hypolimnion mehr oder weniger ausgeprägt.

Der pH-Wert lag während der beiden Untersuchungsjahre stets nahe 9, im Juni 1978 erreichte er ein Maximum von 10.2.

Die Sichttiefe war vom Juni bis September 1978 sehr niedrig und lag zwischen 30 und 40 cm, während im gleichen Zeitraum 1979 Sichttiefen zwischen 70 und 95 cm gemessen wurden.

In den Monaten Juni und Juli kam es - verursacht durch intensive Primärproduktion der Algen - zu einer Sauerstoff-Übersättigung; sie erreichte die Größenordnung von 300 % am 14.7.1979 (Abb. 2). Am Ende der Sommerstagnation waren dagegen sehr niedrige Sauerstoffkonzentrationen und eine starke Untersättigung zu verzeichnen. Dieser Zustand beruhte vor allem auf dem starken Abbau von Algenmassen. Im Meta- und Hypolimnion nahm der Sauerstoffgehalt schnell ab; im Hypolimnion bildete sich Schwefelwasserstoff, dessen Maximum mit 22 mg H<sub>2</sub>S/l am 6.9.79 gemessen wurde.

Bei einem Vergleich der Sauerstoffversorgung während der beiden Untersuchungsperioden ist festzustellen, daß die Sauerstoffversorgung 1978 viel geringer war als 1979. So wurde 1978 bereits Mitte Mai unterhalb 7.5 m Tiefe eine sauerstofffreie Zone gefunden, die Ende August bis zu 5 m Tiefe reichte, während bei 4 m Tiefe nur 3 mg O<sub>2</sub>/l gemessen wurden. Im Jahr 1979 war eine sauerstofffreie Zone erst drei Wochen später, im Juni unterhalb von 7 m Tiefe, festzustellen; sie breitete sich allerdings sehr schnell in die oberen Schichten aus und reichte bereits einen Monat später bis 5 m unter die Seeoberfläche.

Der hohe Sauerstoffgehalt im Epilimnion, die geringe Sichttiefe und der hohe Chlorophyll-a-Gehalt - ein grobes Maß für die Algenbiomasse - deuten den eutrophen Zustand des Sees an (Abb. 3). 1978 wurden extrem hohe Chlorophyll-a-Konzentrationen gemessen: Im Epilimnion wurde ein Mittelwert von 126 mg/m<sup>3</sup> errechnet, während dieser 1979 54 mg/m<sup>3</sup> betrug. Die große Algenbiomasse von 1978 erklärt die schnelle Sauerstoffzehrung im Hypolimnion sowie die starke Sauerstoffuntersättigung im Herbst mit nur 40 % gegenüber 78 % im Jahre 1979.

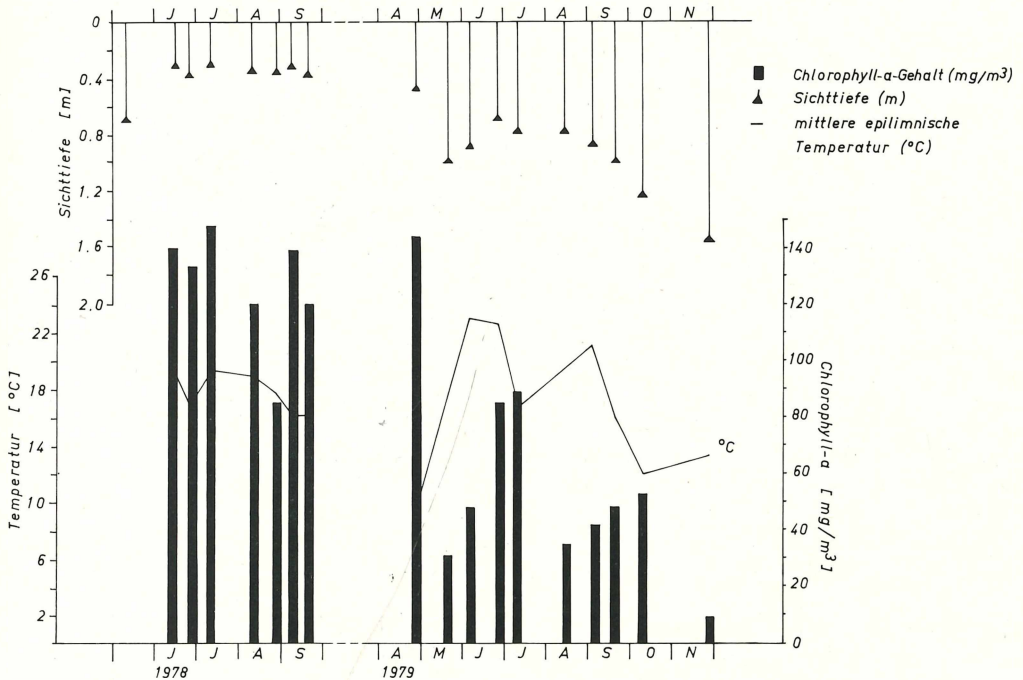


Abb. 3: Sichttiefen an den Probenahmetagen, Mittlere Chlorophyll-a-Konzentration im Epilimnion, Mittlere epilimnische Temperatur während der Sommerstagnationsperiode 1978/79 im Schlachtensee.

Die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff (Abb. 4) waren während des ganzen Untersuchungszeitraums vorhanden. Wie in allen eutrophen Seen mit einer sauerstofffreien Zone wurde ein Teil des Phosphors aus dem Sediment herausgelöst; diese Freisetzung aus dem Sediment erhöhte den Orthophosphatgehalt im sedimentnahen Bereich bis zu  $3.8 \text{ g P/m}^3$  ( $28.8.78$ ) bzw.  $2.8 \text{ g P/m}^3$  ( $19.9.79$ ). Beim Massenauf-treten von Algen geht der O-Phosphatgehalt zurück, blieb im Epilimnion aber immer noch in beträchtlicher Höhe vorhanden. Der niedrigste O-Phosphatgehalt im Epi-limnion betrug  $0.10 \text{ g P/m}^3$ . Dort liegt der größte Teil des gesamten Phosphor-gehaltes als "partikulärer" Phosphor vor. Im September 1978 erreichte dieser 71 % des Gesamtgehaltes von  $0.65 \text{ g P/m}^3$  gegenüber 22 % eines Gesamtgehaltes von  $0.56 \text{ g P/m}^3$  im Jahr 1979.

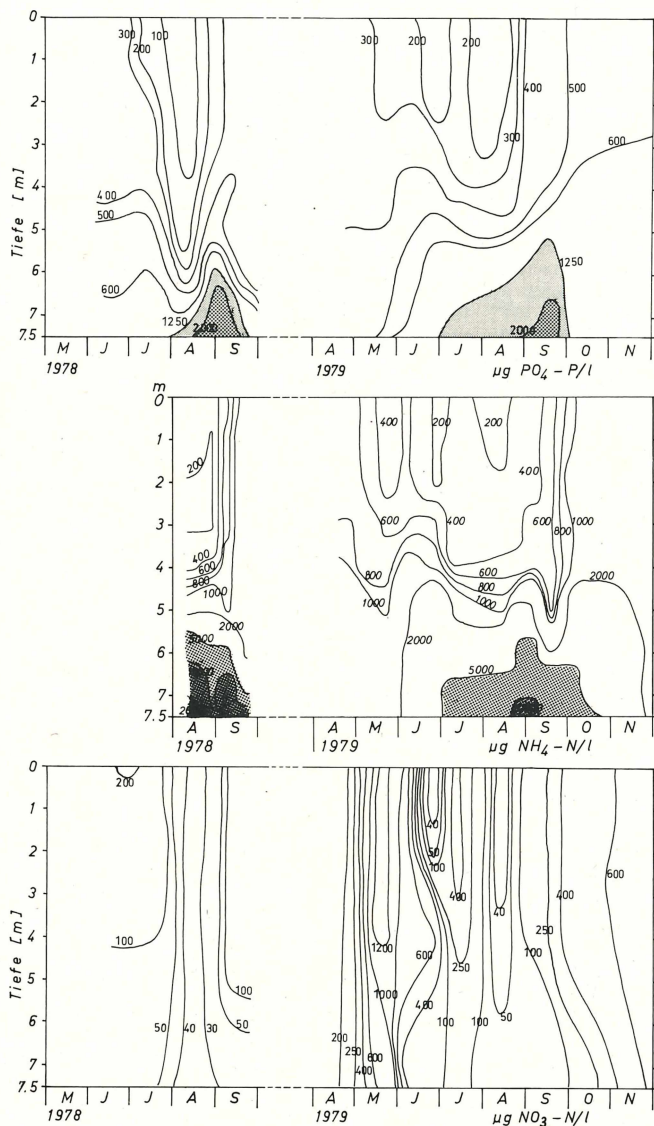


Abb. 4: Nährstoffkonzentrationen im Schlachtensee für den Zeitraum Frühjahr bis Herbst 1978 bzw. 1979. Der punktierte Teil entspricht den maximalen Konzentrationen.

Der Nitratgehalt sank im Laufe der Sommerstagnation stark ab, vor allem im August, wo nur ca. 40 mg  $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$  im Epilimnion nachgewiesen wurden, während etwa 170-180 mg  $\text{NH}_4\text{-N/m}^3$  vorlagen. Im Herbst, bei Vollzirkulation, stiegen der Nitratgehalt bis zu 50 mg  $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$  an, der Ammoniumgehalt bis 1500 mg  $\text{NH}_4\text{-N/m}^3$  und die Phosphatkonzentration bis 580 mg  $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$ .

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß der Schlachtensee ein stark eutropher See ist, bei dem Phosphor nicht das Wachstum begrenzt. Ähnlich eutrophe Verhältnisse wurden in den meisten Berliner Seen gefunden (MULJADI 1978; SZYMANSKI-BUCAREY et al. 1978; BLUME et al. 1979).

### 3. Das Phosphor-Budget

Für den Zeitraum Juni bis September wurde jeweils ein Phosphor-Budget für den Schlachtensee erstellt (Abb. 5). Die Phosphorbelastung wurde auf der Basis von Gesamtphosphormengen hergeleitet, wobei die Phosphorbelastung des Schlachtensees durch Regenwasser und der Eintrag an Phosphor direkt aus dem Einzugsgebiet in den Schlachtensee nicht berücksichtigt werden konnten, da keine Messungen durchgeführt worden waren.

Da die wenigen vorliegenden Gesamt-P-Werte des Havelwassers durchschnittlich den P-Konzentrationen des Schlachtenseewassers entsprachen, wurden die gepumpten Wassermengen mit der Gesamt-P-Konzentration für die Stelle A im Schlachtensee berechnet. Die Meßdaten für Wasserzufluß und Abfluß wurden vom Sen. f. Bau- u. Wohnungswesen Berlin zur Verfügung gestellt. Diese Angaben weisen das monatlich in den Schlachtensee eingeleitete Havelwasser, den Abfluß in den Waldsee sowie den über die Krumme Lanke zum Grunewaldsee aus. Für die Berechnung des Phosphorgehalts im See wurde für jeden Meter Wassersäule die ermittelte Gesamt-P-Konzentration mit dem entsprechenden Wasservolumen multipliziert, um so die Gesamtmenge P (in kg) für den ganzen See zu erhalten.

Der Nettozuwachs der Phosphormenge im See zwischen Juni und September entspricht der Summe von externer und interner P-Bilanz für diesen Zeitraum, während die Differenz Eintrag minus Austrag nur die externe P-Bilanz ausweist. Die Differenz aus Phosphorzunahme im ganzen See und der externen Belastung ist ein Indiz für die interne Rezirkulation des Phosphors aus dem Sediment. Der Zeitraum Juni bis September 1978 brachte für den See eine externe Belastung von 42 % bzw. 207 kg P, der gleiche Zeitraum im Jahr 1979 eine solche von 68 % bzw. 290 kg P (Abb. 5).

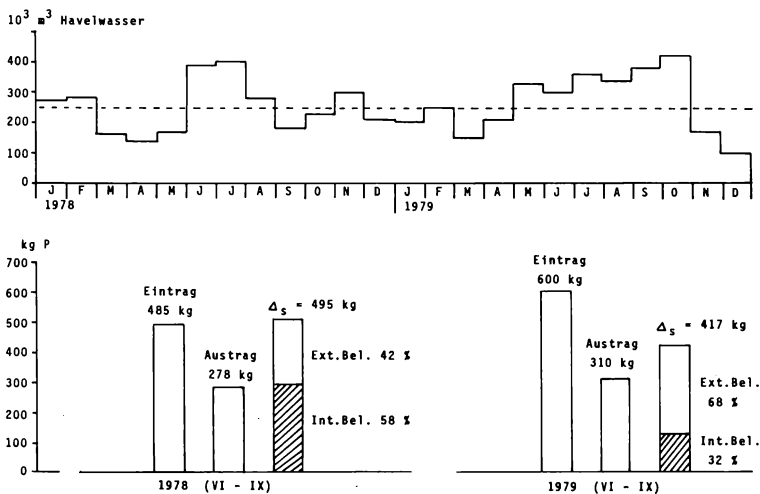


Abb. 5: Phosphor-Budget im Schlachtensee für die Sommermonate Juni bis September 1978 und 1979.

Oben: In den Schlachtensee in den Jahren 1978-1979 eingeleitete Havelwassermenge;  
 ---- = Jahresdurchschnitt.

Unten: Durch Eintrag, Austrag und P-Zunahme im See berechnete externe Phosphorbelastung und interne Phosphorrezirkulation.

Eintrag = P im eingeleiteten Havelwasser;

Austrag = P im zum Waldsee und zu den restlichen Grunewaldseen weitergeleiteten Wasser.

#### 4. Diskussion

Die Berechnungen zeigen, daß der Phosphorvorrat im Sediment des relativ seichten Schlachtensees eine wichtige Rolle für die Produktion des Sees spielt.

Die Phosphorbelastung zeigte für die Sommermonate Juni bis September 1978 und 1979 sehr unterschiedliche Ergebnisse, die auf die unterschiedlichen gepumpten monatlichen Wassermengen zurückzuführen sind. 1978 wurde im Vergleich zu 1979 weniger Wasser dem See zugeleitet (Tab. 1). Die Schönwetterperiode im Mai 1978 verursachte darüber hinaus einen Algenzuwachs und eine schnelle Sauerstoffzehrung im tieferen Bereich. Obwohl während des Zeitraums Juni bis September nur ca. 207 kg P mit dem Havelwasser in den See eingeleitet wurden, gab es eine Phosphorzunahme von 495 kg P im See (Abb. 5). Das weist auf die große Bedeutung der P-Rezirkulation aus dem Sediment hin.

1981 wird im Beelitzhof eine Entphosphatungsanlage in Betrieb genommen. Sie hat die Aufgabe, das Havelwasser des Großen Wannensees vor Einleitung in den Schlachtensee von Phosphaten bis auf einen Restgehalt von 30 mg  $PO_4/m^3$  zu befreien (KLOOS 1980). Die Erholung des Systems kann sich allerdings verzögern, da die Sedimente durch ihren hohen Phosphorvorrat den relativ seichten See belasten und damit weiterhin Nährstoffe für die Algen zur Verfügung stehen.

In verschiedenen schwedischen Flachseen (BENGTSSON 1975; RYDING, FORSBERG 1977; BJÖRK et al. 1979; ANDERSSON 1979; BENGTSSON, LEONARDSON 1979) wurden nach der Reduktion der externen Belastung weitere Algenblüten beobachtet; sie wurden durch die interne Phosphor-Belastung bzw. Phosphor-Abgabe aus dem Sediment ermöglicht.

Tab. 1: Phosphorbudget des Schlachtensees während der Sommermonate Juni bis September 1978 und 1979.

$\Delta_s$  = P-Zunahme im See, berechnet aus der P-Differenz von Juni bis September

Eintrag = P-Zufluß mit dem Havelwasser

Austrag = P-Abfluß aus dem Schlachtensee

E - A = Eintrag minus Austrag

1978	Eintrag Wasser Vol. $10^3 \times m^3$	Austrag Wasser Vol. $10^3 \times m^3$	kg P See	P Eintrag kg P	P Austrag kg P	Ext.Bel. kg P E - A
VI	382	223	1010	154	90	64
VII	387	231	1333	146	86	60
VIII	274	157	1537	95	54	41
IX	172	92	1505	90	48	42
$\Sigma$	1215	703	$\Delta_s$ 495	485	278	207

1979						
	Eintrag Wasser Vol. $10^3 \times m^3$	Austrag Wasser Vol. $10^3 \times m^3$	kg P See	P Eintrag kg P	P Austrag kg P	Ext.Bel. kg P E - A
VI	293	192	1036	138	91	47
VII	347	264	1126	133	101	32
VIII	333	195	1033	80	48	32
IX	369	125	1453	244	70	174
$\Sigma$	1342	776	$\Delta_s$ 417	595	310	285

## 5. Zusammenfassung

Der Schlachtensee gehört zu der Grunewaldseenkette und war ursprünglich ein Grundwassersee. Die Nutzung des Seewassers für Trinkwasserzwecke nach Uferfiltration brachte eine starke Absenkung des Wasserspiegels. Durch eingeleitetes Havelwasser wird der Wasserspiegel auf 31.7 m über NN gehalten. Die Einleitung von nährstoffreichem Havelwasser in den Schlachtensee verursachte eine starke Eutrophierung des Sees.

Im Sommer 1978 schwankte die Sichttiefe zwischen einem Minimum von 0.30 m und einem Maximum von 0.45 m. Im epilimnischen Bereich wurden eine maximale Sauerstoffübersättigung von 300 % und bei völlig anaeroben Verhältnissen in tieferen Schichten Schwefelwasserstoffkonzentrationen bis zu 22 mg H<sub>2</sub>S/l gemessen.

Die O-Phosphorkonzentrationen während der Sommerstagnation lagen im Epilimnion über 100 mg/m<sup>3</sup>. Eine Wachstumsbegrenzung durch Phosphor lag also nicht vor. Die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im See sind relativ hoch. Bei den anorganischen Stickstoffverbindungen dominierten die Ammonium-, bei Phosphor die Orthophosphatfraktion mit Ausnahme der Zeit im Sommer im Epilimnion, wo diese Nährstoffe zum Großteil in den Organismen gebunden sind.

Für die Sommerperioden 1978 und 1979 wurde ein Phosphorbudget erstellt und die Bedeutung der internen Phosphorrezirkulation aus dem Sediment ermittelt. Die Phosphorbilanz während der Monate Juni bis September zeigt, daß die Zunahme der Phosphorkonzentration in dieser Zeit durch das eingeleitete Havelwasser und durch Abgabe aus dem Sediment verursacht wurde. Beides sind wichtige Nährstoffquellen für die im Sommer jährlich auftretenden Algenblüten im See.

Mein Dank geht an Herrn Prof. Dr. W. Ripl für seine kritische Revision des Manuskriptes und an Frau M. Rohrbeck für ihre Hilfe in einem Teil der Analysen.

## Literatur

- ANDERSSON G., 1979: Internal loading of phosphorus and how to reduce it. Some examples from Lake Trummen. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 13: 43-48.
- BENGTSSON L., 1975: Phosphorus release from a highly eutrophic lake sediment. Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 1107-1116.
- BENGTSSON L., LEONARDSON L., 1979: Changes in nitrogen metabolism in connection with lake management. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 13: 38-43.
- BLUME H.-P. et al., 1979: Chemisch-ökologische Untersuchungen über die Eutrophierung Berliner Gewässer unter besonderer Berücksichtigung der Phosphate und Borate. Schriftenr. Ver. Wasser-, Boden- und Lufthyg. 48:
- BJÖRK S. et al., 1979: Lake management studies and results at the Institute of Limnology in Lund. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 13:
- KLOOS R., 1973: Berlin, die Stadt der Seen. Sen. f. Bau- u. Wohnungswesen.
- KLOOS R., 1980: Maßnahmen zur Reinhaltung der Berliner Seen. Sen. f. Bau- u. Wohnungswesen.
- MULJADI S., 1978: Verhalten des Bors in Berliner Seesedimenten unter Berücksichtigung der Eutrophierung. Diss. TU Berlin: 120 S.
- RYDING S.O., FORSBERG C., 1977: Sediments as a nutrient source in shallow polluted lakes - Interactions between sediments and fresh-water.
- SZYMANSKI-BUCAREY E. et al., 1978: Limnochemische Ergebnisse aus einer Ökosystemstudie eines stark eutrophen Berliner Stadtrandgewässers. Soc. Int. Limnol. (Karlsruhe): 88-96.

## Adresse

Dr. Elys Szymanski-Bucarey  
Institut für Ökologie - Limnologie  
Technische Universität  
Hellriegelstr. 6  
D-1000 Berlin 33

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [9\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Szymanski-Bucarey Elys

Artikel/Article: [Limnochemische Untersuchungen im Schlachtensee von Berlin unter besonderer Berücksichtigung der Phosphor-Bilanz während der Sommermonate 1978-1979 223-229](#)