

Chemische und biologische Bestandsaufnahmen als Grundlage zur Beurteilung von Umweltveränderungen wurden im niedersächsischen Küstengebiet (vgl. Luck & Michaelis 1976) und im angrenzenden Flachland (u. a. Mühlenberg 1973, Neumann 1973) schon mehrfach unternommen. — Hier soll am Beispiel eines am Rand neuer Autobahn-Bauten entstandenen Baggersees bei Oldenburg ein Sachverhalt mitgeteilt werden, der einem kontinuierlichen Wandel unterliegt und daher im Interesse einer naturkundlichen Landesaufnahme auch in Zukunft verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen als Studien- und Forschungsprojekt dienen wird. Red.

## Bornhorster See — Prognose einer ökologischen Entwicklung

Thomas Höpner \*

**Abstract :** The future ecological state of an artificial lake near Oldenburg is estimated on the basis of the inflow of nutrients and bacteria. The lake (surface 0,32 km<sup>2</sup>) originated from sand dredging and will be used as a high water reservoir. The results show, that the additional utilization for bathing and spare time will be limited because of the expected hypertrophication and contamination by bacteria. The report includes proposals for improvement and managing of the ecological development.

### Einführung

Durch Gewinne von Sand und Kies und durch Anlage von Hochwasserrückhaltebecken sind in den letzten Jahren viele neue Wasserflächen in Nordwest-Niedersachsen entstanden. Zusammen mit den Erweiterungen der Poldersysteme stellen sie einen nicht zu unterschätzenden Eingriff in das ökologische Gefüge unserer Landschaft dar.

Grundsätzlich gehört die Schaffung neuer Wasserflächen zu den positiven Eingriffen des Menschen in seine Umwelt. Dies zeigen Stichworte wie Erholungsgebiete, Vogelreservate, Wasserregeneration durch längere Verweilzeiten, Überschwemmungsschutz. Doch gibt es auch Beispiele dafür, daß bei der Planung und Herstellung von Wasserflächen gravierende Fehler gemacht werden können, wenn nicht die Erfahrungen der Raumplanung und Landschaftspflege eingebracht werden. Die Netheener Seen in der Gemeinde Rastede, bei denen dieses nicht stattgefunden hatte, mußten im Sommer 1975 durch die Gesundheitsbehörden gesperrt werden. Ein krasserer Beispiel ist ein Autobahnsee in München, der, ohne dafür vorbereitet

\*) als Berichterstatter einer Arbeitsgruppe des Projektes „Lebensraum Haarenniederung“ an der Universität Oldenburg: W. Ebenhöf, H. Harder, W. E. Krumbein, L. Lüsing-Hauert, B. Müller, C. Orliczek, B. Pichulla, P. Reichert, R. Schmalz, D. Schuller, U. Strech, W. Ulland, M. Witte.

worden zu sein, von zehntausenden Badelustigen gestürmt wurde unter totaler Zerstörung der Uferzone. Gegen die Einsprüche der Gemeinde Unterförhning und ihre Forderung nach Zufahrtswegen und Parkmöglichkeiten wurde der See von der Autobahnverwaltung schließlich an eine Sportfirma zwecks Abhaltung von Tauchkursen verpachtet und damit einer Nutzung durch die Allgemeinheit entzogen.

Im Raum Oldenburg wurde mit dem Großen Bornhorster See (Abb. 1) aus Anlaß von Sandentnahmen für den Bau der Autobahn „Jadelinie“ ein Hochwasserrückhaltebecken im Zuge der Erweiterung des Poldersystems und der Revision des Hochwasserschutzes der Hunteniederung geschaffen.

Die verkehrsgünstige Lage führte zu dem Vorschlag, den See zusammen mit dem anliegenden ebenfalls neuen Kleinen Bornhorster See (einem reinen Grundwassersee von ca. 20 ha Größe) zum Mittelpunkt eines Freizeitgebietes zu machen. Damit war die Frage nach der Nutzbarkeit der Wasserfläche aufgeworfen. Da dies mit dem künftigen ökologischen Zustand eng gekoppelt ist, wurden der Nährstoffeintrag gemessen und eine mikrobiologische Analyse durchgeführt. Dies war möglich über die Analyse der Wahnbäke/Geestrandgraben (vgl. Abb. 1) als dem einzigen bestehenden Zulauf (HÖPNER 1976).

#### Methoden

Aus außerhalb unseres Einflusses liegenden Gründen (Benutzung der Wahnbäke und des Geestrandgrabens als Spülwasserrücklauf) konnten die Analysen nur in den Monaten Februar/März 1976 bei Temperaturen um 0 °C durchgeführt werden. Für die chemischen Analysen wurden Proben mit Hilfe automatischer Probennehmer der Firma CONTEC entnommen (jeweils 12 Stunden lang stündlich eine 0,5-l-Probe). Durch Mischen wurde eine „Tag-Probe“ (6–18 Uhr) und eine „Nacht-Probe“ (18–6 Uhr) erhalten. Die Proben wurden sofort oder nach Lagerung bei –20 °C verarbeitet.

Probennahmezeitpunkte am Einfluß des Geestrandgrabens in den See (Punkt P der Kartenskizze): 23. II. 76 (11.00 Uhr), 29. II. (11.00), 1. III. („Tag-Probe“), 1./2. III. („Nacht-Probe“), 12. III. („Tag-Probe“), 12./13. III. („Nacht-Probe“). Entnahme der Probe für die mikrobiologische Untersuchung am 1. III. 11.00 Uhr. Am Ausfluß der Kläranlage Wahnbek (Punkt K der Kartenskizze): 24. II. (11.00), 8. III. (12.00), 9. III. (12.00), 10. III. (9.30), 11. III. (16.30), 12. III. (15.30) und 15. III. (18.00). Probe für die mikrobiologische Untersuchung 1. III. (11.30).

Chemische Analysen: Nitrat und Nitrit wurden nach den Deutschen Einheitsvorschriften (1975) bestimmt, Ammonium nach einer von uns in die Wasseranalytik eingeführten enzymatischen Methode unter Verwendung von Glutamatdehydrogenase (da FONSECA-WOLLHEIM et al. 1974), Orthophosphat mit der Molybdänblau-Methode mit 1.2.4-Aminonaphtholsulfonsäure als Reduktionsmittel (LINDBERG and ERNSTER 1956). Für gebundene Phosphate sind den Orthophosphatwerten ca. 20 % zuzurechnen. Dies wurde unter vergleichbaren Bedingungen von uns ermittelt und gilt nur für die winterlichen Verhältnisse. Schwermetallkonzentrationen (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb und Zn) wurden mittels Atomabsorptionsspektroskopie gemessen (LÜSINGHAUERT 1976).

Die Proben für die mikrobiologischen Analysen wurden steril mit dem ZoBell-Schöpfer entnommen und innerhalb von zwei Stunden verarbeitet. Die Bestimmung der Gesamtkeimzahl erfolgte nach der AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1971), die der Coliformen nach DUTKA (1976), die Identifizierung von *Escherichia coli* nach LENNETT et al. (1974).

#### Ergebnisse

Die für die Aussagen dieses Berichts wichtigste Probennahmestelle ist der Einfluß des Geestrandgrabens in den Großen Bornhorster See. Im Berichtszeitraum haben

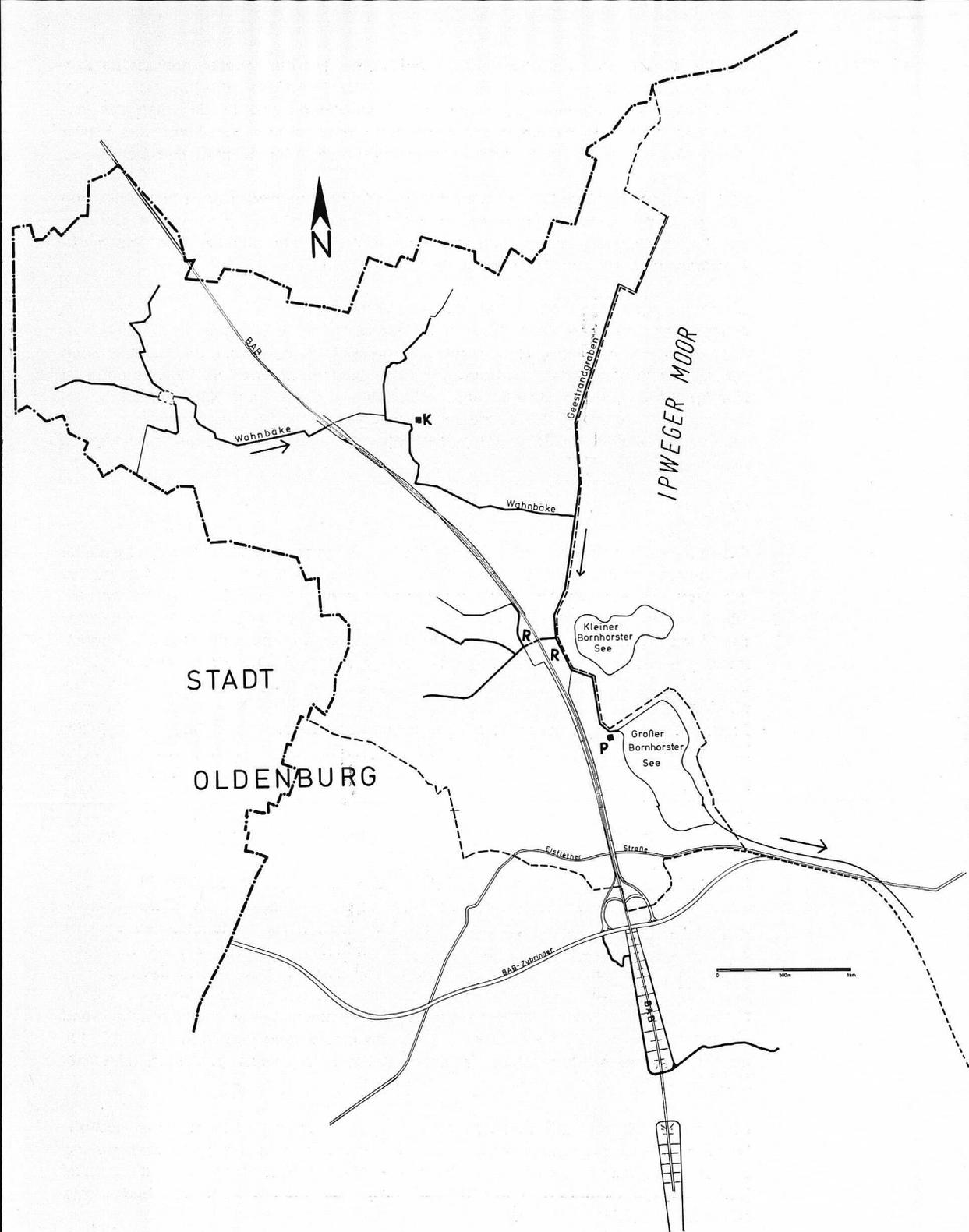


Abb. 1: Lage des Großen und Kleinen Bornhorster Sees bei Oldenburg (Grenze des Wassereinzugsgebietes: - - - = Ost- und Südgrenze; - · - · - = Nord- und Westgrenze. --► Fließrichtung. K = Kläranlage Wahnbäk. P = Haupt-Probennahmestelle. R = Autobahn-Rastplatz.

wir die Schüttung dort mit  $8 \text{ m}^3/\text{min}$  gemessen. Sie lag damit unter, aber im Bereich des Jahresdurchschnitts von  $12 \text{ m}^3/\text{min}$  (MOORRIEM-OHMSTEDER SIELACHT 1971). In Tabelle 1 sind gefundene Höchst- und Niedrigstwerte und die für die Kalkulationen der Tabelle 3 verwendeten mittleren Werte zusammengestellt. Die beobachteten Schwankungen sind typisch für Gewässer, die einen Kläranlagenausfluß aufnehmen (z. B. FISCHER et al. 1973, bestätigt von uns für die Ofener Bäke/Kläranlage Metjendorf, für die Wahnbäke liegt eine entsprechende Dauermessung noch nicht vor). Die dadurch bedingten Unsicherheiten treffen mehr als auf die Daten dieses Berichts auf die Vergleichsdaten der Tabelle 3 zu, weil dort nur punktuelle Analysen zugrundeliegen.

Tab. 1:

Gefundene Höchstwerte und Mindestwerte (in  $\text{mMol/l}$ ) sowie für die Kalkulationen der Tabelle 3 verwendete mittlere Werte im Geestrandgraben vor Einmündung in den Großen Bornhorster See.

	Mindest	Höchst	Mittel
Nitrit	0.0013	0.0093	*
Nitrat	0.12	0.78	0.35
Ammonium	0.21	1.80	1.00
Phosphat	0	0.088	0.04

\*) Wegen geringer Konzentration nicht berücksichtigt

Die Schwermetallanalysen ergaben keine zu irgendwelchen Bedenken Anlaß gebenden Ergebnisse. Die Eisengehalte lagen, wie situationsbedingt zu erwarten, hoch.

Zur Ermittlung von Verschmutzern wurden an sieben weiteren Entnahmestellen Proben gezogen. Die wichtigste Stelle ist der Ablauf der Kläranlage Wahnbek, wo bei einem Ausstoß von ca.  $250 \text{ m}^3/\text{Tag}$  bis  $66 \text{ mg/l}$  Nitrat-Stickstoff, bis  $67 \text{ mg/l}$  Ammoniak-Stickstoff und bis  $31 \text{ mg/l}$  Orthophosphat-Phosphor gefunden wurden. Daraus ließ sich der Beitrag der Kläranlage zur Gesamtverschmutzung abschätzen: die Kläranlage liefert zwar nur  $16\%$  des in den See gelangenden Stickstoffs, aber  $56\%$  des Phosphors, ein wichtiger Ansatzpunkt für Therapievorschläge. Die übrigen sechs Entnahmestellen betrafen die Wahnbäke oberhalb der Kläranlage, die Abwassereinleitungen der Hefe- und Branntweinfabriken Hilbers und Hullmann, den Geestrandgraben oberhalb der Einmündung der Wahnbäke und den Kummerkampgraben. Dabei wurden rechtswidrige Abwassereinleitungen der Fabriken dokumentiert und vor allem ein nicht unerheblicher Beitrag der oberen Wahnbäke festgestellt.

Tab. 2:

Keimzahlen (Keime pro ml) an den Probennahmestellen 2 (Auslauf der Kläranlage Wahnbek), 4 (Wahnbäke vor der Einmündung in den Geestrandgraben) und 7 (Geestrandgraben vor der Einmündung in den Großen Bornhorster See).

Probennahmestelle	2	4	7
Staphylokokken	75	4	4
Denitrifizierer	200	75	2
Coliforme *	$1.4 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$
Gesamtkeimzahl	$8.6 \times 10^4$	$2.2 \times 10^4$	$8.2 \times 10^3$

\*) Nachweis von E. coli in allen Fällen positiv.

Die Resultate der mikrobiologischen Untersuchungen faßt Tabelle 2 zusammen. Hier ist der Hinweis auf den Untersuchungszeitraum und die Wassertemperaturen besonders wichtig. Die Keimzahlen können in der warmen Jahreszeit um Zehnerpotenzen höher liegen. Zu besonderen Bedenken geben die Colititer als Hinweis auf das mögliche Vorkommen pathogener Keime Anlaß. Berücksichtigt man, daß nach Festsetzungen des Bundesgesundheitsamtes (HÖLL 1970) in Freibadegewässern maximal 100 Coliforme pro ml nachweisbar sein sollen, so bedeuten die gefundenen Keimzahlen eine massive Nutzeinschränkung für den See. Die Tabelle 2 zeigt auch, daß die Kläranlage Wahnbek als wesentlicher bakterieller Verschmutzer gelten muß.

### Diskussion

Die Tabelle 3 formuliert die Analysenergebnisse in Form von Volumen- und Flächenbelastungen. Volumenbelastungen bestimmen die Nährstoffkonzentrationen unter der Annahme völliger Durchmischung, die wegen der Windverhältnisse unterstellt werden kann. Die Flächenbelastung bestimmt die Primärproduktion wegen der Flächenabhängigkeit des Lichteinfalls und den oxidativen Abbau wegen der Flächenabhängigkeit des Sauerstoffeintrags. Wegen der im Verhältnis zum Volumen relativ kleinen Fläche des Bornhorster Sees ist die Flächenbelastung durch Stickstoff mit  $250 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Jahr}$  sehr hoch, während die durch Phosphor mit  $16 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Jahr}$  den Wert der Thülsfelder Talsperre fast erreicht.

Der zwischen den Zahlen für die Thülsfelder Talsperre und das Zwischenahner Meer liegende Umgebungsarealfaktor ließ eine starke Belastung erwarten, die Meßwerte übertreffen sogar noch die Erwartung.

Tab. 3:

Flächen- und Volumenbelastung von Bornhorster See, Thülsfelder Talsperre und Zwischenahner Meer.

	Bornhorster See	Thülsfelder Talsperre	Zwischenahner Meer
Fläche ( $\text{m}^2$ )	$0.32 \cdot 10^6$	$1.30 \cdot 10^6$	$5.50 \cdot 10^6$
Volumen ( $\text{m}^3$ )	$5.4 \cdot 10^6$	$3.2 \cdot 10^6$	$8.8 \cdot 10^6$
Umgebungsarealfaktor	42	101	17.5
Eintrag Stickstoff ( $\text{g/Jahr}$ )	$79 \cdot 10^6$	$140 \cdot 10^6$	$135 \cdot 10^6$
$\text{g Stickstoff/Jahr} \cdot \text{m}^2$	250	108	24.5
$\text{g Stickstoff/Jahr} \cdot \text{m}^3$	14	44	15.3
Eintrag Phosphor ( $\text{g/Jahr}$ )	$5 \cdot 10^6$	$22 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$
$\text{g Phosphor/Jahr} \cdot \text{m}^2$	16	17	2.4
$\text{g Phosphor/Jahr} \cdot \text{m}^3$	0.9	6.8	1.5
Atomverhältnis N/P	35	14.3	23

### Legende zu Tabelle 3:

Bornhorster See: Meßwerte in diesem Bericht; Thülsfelder Talsperre: NEUMANN 1973 a. (Der Abschätzung des Volumens wurde eine durchschnittliche Wassertiefe von 2,50 m zugrundegelegt); Zwischenahner Meer: NEUMANN 1973. Hier sind die N- und P-Konzentrationen der drei Zuflüsse angegeben, nicht aber deren Schüttungen. Deshalb wurde die angegebene Abflußrate nach Maßgabe der Flächen der jeweiligen Entwässerungsgebiete auf die Zuflüsse verteilt. Dies scheint angemessen, weil keine weiteren Zuflüsse existieren und wegen des Abwasser-Ringkanals auch keine weiteren N- und P-Quellen infrage kommen.

Umgebungsarealfaktor: Verhältnis der Fläche des in den See entwässerten Gebietes zur Fläche des Sees.

Nach neueren Diskussionsergebnissen (DAHLEM-KONFERENZ 1976) kann ein optimales Algen- und Mikroorganismenwachstum bei einem Atomverhältnis Stickstoff/Phosphat von 16 erwartet werden. Ist dieser Wert für ein Gewässer überschritten, wird Phosphor zum limitierenden Wachstumsfaktor. Diese Rolle des Phosphats ist heute allgemein anerkannt (HUTCHINSON 1957, VALLENTYNE 1970, SUCH 1974) und überdies durch Freiland-Experimente mit Seen bestätigt (SCHINDLER 1974). Limitierung des Wachstums durch andere Faktoren, z. B. Spurenelemente, scheint auf Ausnahmesituationen beschränkt zu sein. Das N/P-Verhältnis im Zufluß des Bornhorster Sees liegt bei 35 (Tabelle 3) und kennzeichnet damit eine ökologische Situation, die über die Änderung des Phosphateintrags manipulierbar ist.

Stellt man dieser Aussage gegenüber, daß 56 % des Phosphats aus der Kläranlage Wahnbek stammen, so liegt hier der erste Ansatz für Therapievorschläge. Es ist heute bei tragbaren wirtschaftlichen Belastungen technisch möglich, durch Fällungsreaktionen den Phosphatgehalt von Klaranlagenausflüssen in „dritten“ Reinigungsstufen um Faktoren um 10 bis 100 herabzusetzen (GLEISBERG et al. 1976). Im Bornhorster See könnte so die Phosphatbelastung auf die Hälfte vermindert werden, was zwar nicht alle Probleme löst, aber ein Schritt in die richtige Richtung wäre. Eine Nachreinigungsstufe würde auch die bakterielle Belastung drastisch über Adsorptions- und Simultanfallungserscheinungen senken. Ein weiterer Therapievor-schlag setzt an der Frage an, wie hoch die zeitliche Beanspruchung des Bornhorster Sees als Rückhaltebecken sein muß. Dazu wäre die Auswertung langfristiger Niederschlagsaufzeichnungen notwendig. Doch kann die Zeit, in der vom Rückhaltebecken abzufangendes Hochwasser auftritt, vorsichtig auf zwei Monate pro Jahr veranschlagt werden.

In der übrigen Zeit gibt es keinen zwingenden Grund, das Wasser der Wahnbäke durch den See zu leiten. Die zuständigen Behörden diskutieren einen „Umleiter“ und haben dafür eine Trasse freigehalten. Im Zuge der jetzt laufenden Maßnahmen ist der Bau allerdings nicht vorgesehen.

Die Verbesserung der Kläranlage Wahnbek und der Betrieb eines Umleiters könnten die Gesamtbelastung durch Stickstoff auf ca. 16 % und die durch Phosphat auf ca. 8 % herabsetzen, das wäre der wirklich entscheidende Schritt. Es ist allerdings zu befürchten, daß er durch neue Verschmutzungsquellen überkompensiert wird: Die Autobahn und der in unmittelbarer Nahе des Kleinen Bornhorster Sees vorgesehene Rastplatz werden bei jedem auf eine Trockenperiode folgenden Starkregen und vor allem in der Zeit der Verwendung von Auftausalzen sehr große Schmutzmengen in den Bornhorster See gelangen lassen, falls das Oberflachenentwasserungssystem nicht Vorrichtungen zur Vorklärung erhält oder besser an das Kanalnetz der Stadt Oldenburg angeschlossen wird. Die Neuanlage des Geestrandgrabens hatte bereits in den vergangenen zwei Jahren Meliorationen zur Folge, die sich fortsetzen werden und zu verstärkter Dungemittelverwendung und -abschwemmung führen werden.

### Prognose

Zu Optimismus hinsichtlich einer „gesunden“ Entwicklung des Großen Bornhorster Sees besteht daher leider kaum Anlaß. Die Nährstoffzufuhr dürfte einen Zustand ähnlich dem der Thülsfelder Talsperre erzeugen, der schon nicht mehr als Eutrophierung, sondern als Hypertrophierung beschrieben werden muß. Dort wird zwar gebadet, aber dies ist kein Optimal-, sondern ein Gerade-Noch-Zustand, der zudem im Sommer 1976 wegen bakterieller Verseuchung zeitweise durch Badeverbot unterbrochen werden mußte. Das zweite Vergleichsgewasser, das Zwischenahner Meer, hat eine sehr viel geringere Nährstoff-Flächenbelastung, gilt aber ebenfalls als eutrophiert.

Selbst hier kommt es zeitweise zu Beeinträchtigungen der Badenutzung durch Algenblüte. Die von uns prognostizierte mikrobielle Belastung liefert zur Zeit die konkreteste Begründung für Nutzungsbeschränkungen des Bornhorster Sees. Die Realisierung des Wunsches, den See zum Baden vorzusehen, müssen wir daher an die Verwirklichung der Therapievorschläge binden.

#### Literatur:

- American Public Health Association (1971): Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 13th ed. New York.
- Dahlem Workshop 1976 on Global Chemical Circles and their Alterations by Man.
- Deutsche Einheitsvorschriften (1975): Bestimmung des Nitrat-Ions (Methode mit 2,6-Dimethylphenol). Fachgruppe Wasserchemie in der GDCh. Weinheim. — Ebenso: Bestimmung des Nitrit-Ions (Methode mit Indol).
- DUTKA, J. B. ed. (1976): Methods for Microbiological Analysis of Waters. Burlington.
- FISCHER, E., MERKENICH, K., und KANDLER, J. (1973): Versuche zur Eliminierung von Phosphaten aus kommunalen Abwässern. Seifen-Fette-Öle-Wachse 1973, 1–7.
- DA FONSECA-WOLLHEIM, F., BERGMAYER, H. U., und GUTMANN, I. (1974): Ammoniak. — In BERGMAYER, H. U. ed.: Methoden der enzymatischen Analyse: 1850–1853, Weinheim.
- GLEISBERG, D., KANDLER, J., ULRICH, H., und HARTZ, P. (1976): Eutrophierung und Abwasserreinigung. — Angew. Chem. **88**, 354–365.
- HÖLL, K. (1970): Wasser. Berlin.
- HÖPNER, TH. (Berichterstatter) (1976): Bornhorster See — Analysen, Prognosen, Therapievorschläge (Gutachten, erstellt im Auftrag der Stadt Oldenburg). — „info intern“ des Projektes Lebensraum Haarenniederung, **9**: 1–27. Oldenburg.
- HUTCHINSON, G. E. (1957): The Phosphorus Cycle in Lakes. In A Treatise in Limnology, **1**. New York.
- LENNET, E. H., SPAULDING, E. H., and TRUANT, J. P. eds. (1974): Manual of Clinical Microbiology.
- LINDBERG, O., and ERNSTER, L. (1956): Determination of organic Phosphorus Compounds. In Methods of Biochemical Analysis, **3**: 1–22. (GLICK, D. ed.) New York.
- LUCK, G., und MICHAELIS, H. (1976): Chemische und biologische Bestandsaufnahmen als Grundlage der Beurteilung von Umweltveränderungen im Niedersächsischen Küstengebiet. — N. Arch. f. Nds., **25**: 241–250.
- LÜSING-HAUERT, L. (1976): Wasseruntersuchungen im Raum Bornhorst-Wahnbek. Schwermetalluntersuchungen mit Hilfe der Atomabsorptions-Spektrophotometrie. — Hausarbeit zur Prüfung für das Lehramt an Realschulen. Universität Oldenburg.
- MÜHLENBERG, W., DEMBKE, K., HÖPKEN, W., und LÜDDEMANN, E. (1973): Über die Folgen der Belastung des Steinhuder Meeres mit Abwasser. Städtehygiene, **24**: 245–252.
- NEUMANN, H. (1973): Beiträge zur Limnologie des Zwischenahner Meeres, unter besonderer Berücksichtigung der Nährstoffbelastung und der Reinhaltemanahmen im Einzugsgebiet. — Vom Wasser, **41**: 163–186.
- NEUMANN, H. (1973a): Thülsfelder Stausee. Gutachten vom 12. 9. 1973, gerichtet an das Wasserwirtschaftsamt Cloppenburg.
- SCHINDLER, D. W. (1974): Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management. — Science, **184**: 897–898.
- SUCH, W. (1974): Sanierung von Seen. — Umschau, **74**: 610–612.

VALLENTYNE, J. R. (1970): Phosphorus and the Control of Eutrophication. — Can. Res. Dev., **3** (3): 36–49.

Wasserwirtschaftsamt Brake (1971): Moorriem-Ohmsteder Sielacht: Entwurf zum Neubau eines Geestrandgrabens mit Rückhaltebecken in Bornhorst.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Thomas Höpner, Fachbereich IV der Universität Oldenburg, Ammerländer Heerstraße 67–99, D-2900 Oldenburg