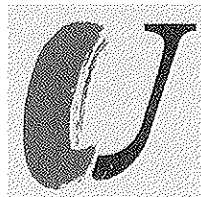


Studien und Tagungsberichte
Band 8

Die Havel



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Impressum

Studien und Tagungsberichte
Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg
ISSN: 0948-0838

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam
Tel. (0331) 2323-259

Redaktion Band 8 „Die Havel“:
Projektgruppe Ökologische Grundsatz- und Querschnittsangelegenheiten des Landesumweltamtes Brandenburg
Für den Inhalt der Einzelbeiträge zeichnen die Autoren verantwortlich
Dezember 1995

Kartengrundlage: Topographische Karte 1:100 000, Kreiskarte Land Brandenburg, Landkreis Havelland
Vervielfältigt mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Brandenburg vom 20.11.1995 Nummer GB 205/95

Foto Seite 6: L. Kalbe

Gesamtherstellung: Märker · Wildpark-West

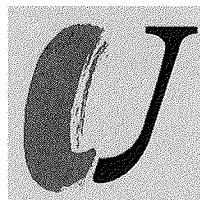
Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.
Schutzgebühr 15 DM

**Studien und Tagungsberichte
Band 8**

Die Havel

**Naturwissenschaftliche Grundlagen und
ausgewählte Untersuchungsergebnisse**



**LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG**



Inhalt

Vorwort Matthias Freude, Landesumweltamt Brandenburg	3
Die Havel als Bestandteil einer einzigartigen Flußlandschaft Die Naturräume des Havellandes Eckhard Jupé, Landesumweltamt Brandenburg	7
Hydrographische und hydrologische Charakteristik Almut Naumann, Landesumweltamt Brandenburg	11
Geographische und geologische Kennzeichnung Udo Klost, Landesumweltamt Brandenburg	15
Die Eutrophierung der Havel und ihr bestimmender Einfluß auf Ökosystem und Nutzungen Helmut Klose, Landesumweltamt Brandenburg	16
Entwicklung der Eutrophierung von Spree und Havel im Zeitraum von 1955 - 1990 Lutz Höhne, Landesumweltamt Brandenburg	33
Der Tegeler See - ein Beispiel der Eutrophierungsbekämpfung im Ballungsraum Berlin Dietrich Jahn und Matthias Klein, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin	38
Die Sedimente der Havelseen und deren jahreszeitliche Dynamik Georg Schettler, GeoForschungszentrum Potsdam	46
Zur Problematik der Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten der Potsdamer Havelseen Eberhard Rohde, Landesumweltamt Brandenburg	57
Die Bedeutung der Havel im naturschutzbezogenen Fließgewässer-Biotopverbundsystem Dietrich Braasch und Rolf Scharf, Landesumweltamt Brandenburg	61
Die Fischfauna der Havel Detlef Knuth, Institut des Gewässerkataster und angewandte Gewässerökologie e.V.	63
Die Amphibien und Reptilien der Havel Norbert Schneeweiß, Landesumweltamt Brandenburg	73
Bedeutung der Havel für die Vogelwelt Lothar Kalbe, Landesumweltamt Brandenburg	76
Die Havel als Lebensraum für Säugetiere Dietrich Dolch, Landesumweltamt Brandenburg	78
Gewässernutzungen und Gewässergüte im Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie Lothar Kalbe und Rainer Bock, Landesumweltamt Brandenburg	82

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

kein anderer Fluß beeinflußt Charakter und Oberflächengestalt Brandenburgs so nachhaltig wie die Havel. Für viele ist sie gerade ein Synonym für brandenburgische Fließgewässer.

Daß die Havel nach allen Regeln der Namensgebung unterhalb der Spandauer Zitadelle eigentlich „Spree“ heißen müßte, schmälert ihren Bekanntheitsgrad ebensowenig wie die Tatsache, daß sie über weite Strecken eher einer Seenkette als einem Fließgewässer ähnelt.

Obwohl in vielen Teilen durch Flußbegradigung, Staustufen, Hochwasserdämme und überhöhten Nährstoffeintrag beeinflußt, weist die Havel in bemerkenswertem Umfang doch naturnahe, sogar natürliche Abschnitte auf. Einem Netzwerk gleich ist sie mit ihren Nebengewässern – und diese wiederum untereinander – engmaschig verknüpft. Auch wenn die Maschen dieses Netzes teilweise aus menschengestalteten naturfernen Grabensystemen bestehen, besitzt es eine nicht hoch genug einzuschätzende Bedeutung für den regionalen Landschaftswasserhaushalt und als Biotopverbundsystem.

Vielgestaltigkeit und Naturnähe machen den „Lebensraum Havel“ nicht nur für eine Vielzahl hochgradig bedrohter einheimischer Pflanzen und Tiere attraktiv, sondern auch für Zugvögel. So übernachteten im Winterhalbjahr allein am Gülper See bis zu 120.000 nordische Gänse und 6.000 Kraniche.

Gegenstand der vorliegenden Studie ist vor allem der Havelabschnitt unterhalb Berlins mit der Potsdamer Havel, Sacrow-Paretzer Kanal und den weitgehend naturbelassenen Gewässern mit zahlreichen Altwässern, Nebenarmen, Verlandungsbereichen, Inseln und Feuchtgebieten. Dieser Abschnitt ist neben seinem Reichtum an seltenen Pflanzen und Tieren und seinem nahezu ursprünglichen Charakter als typi-

scher Niederungsfluß besonders wegen seiner Lage einschließlich der Wasserbeschaffenheit unterhalb einer 3,5 Millionenstadt von überregionalem Interesse.

Zielstellung der Studie ist die Darstellung des Flusses in seinen Bezügen zur Belastung, den Nutzungsanforderungen, den Schutzbestrebungen und als Wirtschaftsfaktor. Dazu gehören u.a. Einzeldarstellungen zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit, der hydrologischen Verhältnisse und die Bedeutung für den Naturschutz, den Tourismus, die Trinkwassergewinnung, die Fischerei und die Schifffahrt.

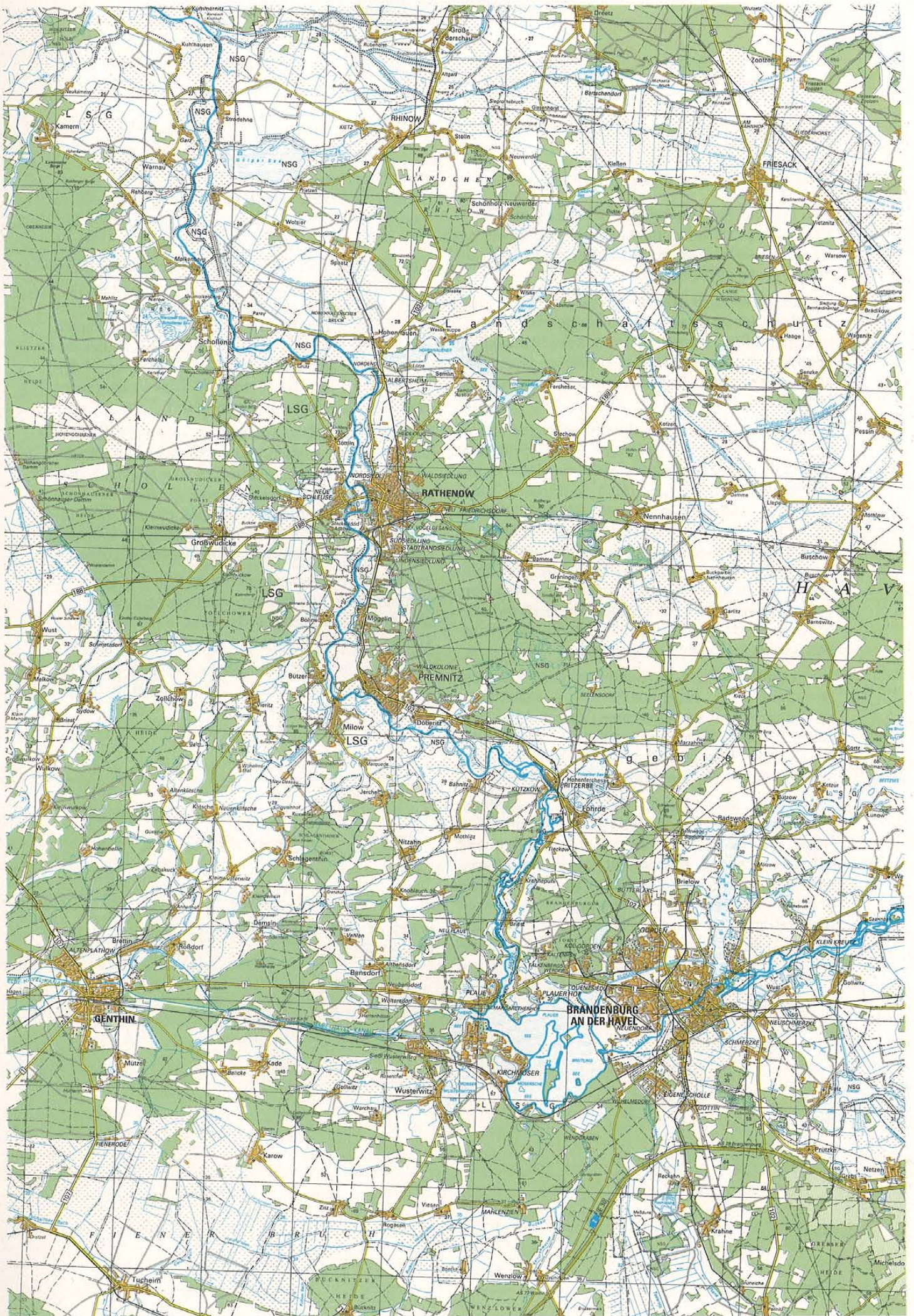
Die Studie ist als Datensammlung, aber auch als Hilfestellung für ökologisch begründete und ökonomisch vertretbare Entscheidungen zum Management konzipiert. Im wesentlichen werden Ergebnisse des Landesumweltamtes zusammengefaßt, das seit dem Beginn seines Bestehens in vielfältiger Hinsicht Untersuchungen zur Umweltsituation der Havel durchführte.

Es bleibt zu wünschen, daß das vorliegende Grundlagenmaterial einen breiten Interessentenkreis findet und Aufmerksamkeit auf das weiterhin hochbrisante Thema „Gewässernutzung – Gewässerschutz“ lenkt.

In einem Land wie Brandenburg, das zwar viele Gewässer, aber wenig Wasser hat, erscheint mir dieser Aspekt besonders wichtig.



Dr. rer. nat. Matthias Freude
Präsident des Landesumweltamtes
Brandenburg







Die Havel als Bestandteil einer einzigartigen Flußlandschaft

Die Naturräume des Havellandes

Von Norden kommend und schließlich wieder gen Norden fließend beschreibt die Havel, als der wohl bekannteste brandenburgische Fluß einen weiten Bogen.

Von ihrem Quellraum an der Grenze zu Mecklenburg-Vorpommern bis zur Mündung in die Elbe bei Havelberg hat sie immerhin eine Strecke von über 341 Kilometern zurückgelegt. Damit ist sie zugleich der längste Fluß innerhalb unseres Landes.

Der Oberlauf bei Fürstenberg ist durch zahlreiche, von ihr durchflossene Seen gekennzeichnet. Eine zweite große Seenkette beginnt mit dem Niederneendorfer See, nordwestlich von Berlin und endet unterhalb der Stadt Brandenburg im Plauer See.

Erst die einmündende Spree bei Spandau macht den kleinen Fluß zu einem größeren Gewässer. Nachdem die vereinigte Wasser von Havel und Spree vier Kilometer lang als Pichelsdorfer Havel dahingeflossen sind, eröffnet sich am Pichelsdorfer Gemünd ein weiter Blick in die nun folgende Kladower Seenstrecke. Vorbei an den Inseln Lindwerder und Schwanenwerder umspült sie nun die Pfaueninsel am links abzweigenden Großen Wannensee. Flußabwärts von der Berliner Stadtgrenze aus reiht sich an den Ufern der Havel Schloß an Schloß: Glienicke, Babelsberg, Cecilienhof [1, 2].

„Das wohl berühmteste von allen, Schloß Sanssouci, liegt zwar nicht direkt an der Havel, läßt aber über das an der Neustädter Havelbucht gelegene, minarettartige Wasserwerk die Wasserspiele seines Parks mit Havelwasser speisen“ [1].

Kurz vor Potsdam, im Jungfernsee, biegt der Fluß nach Süden ab und bildet von hier an die Potsdamer Havel. Dem stärkeren Gefälle des nach Westen aus dem Jungfernsee abzweigenden Sacrow-Paretzer-Kanal folgend, verläßt aber ein größerer Teil des Havelwassers sein angestammtes Bett, und nimmt den kürzeren Weg über den Kanal.

Wir folgen der Havel in ihrem natürlichen Bett. Nach Passieren der Glienicker Brücke mündet von links über die Glienicker Lake der Teltowkanal und danach die Nuthe, die aus dem Fläming kommt. Am westlichen Potsdamer Stadtrand wird der Fluß im Templiner See durch einen künstlich geschütteten Eisenbahndamm eingeeengt, dasselbe wiederholt sich kurz darauf auf natürliche Weise im Caputher Gemünd. Hinter Caputh folgt mit dem 870 ha großen Schwielowsee die größte Ausbuchtung der Havel [1].

Sie schlängelt sich dann an der Stadt Werder, gleichzeitig der zweitgrößten Havelinsel, vorbei. Hinter Werder mündet von rechts die Wublitz in den Fluß; sie bildet eine natürliche Verbindung zum Sacrow-

Paretzer-Kanal. Nach einer Trennung von fast dreißig Kilometern vereinigt sich die Potsdamer Havel im Göttingsee wieder mit dem Sacrow-Paretzer-Kanal. An der Vereinigungsstelle mündet von rechts noch der bereits erwähnte, von der Oberen Havel kommende Havelkanal ein, so daß an diesem Punkt ein regelrechtes Wasserstraßenkreuz entsteht. Nach diesem „Wasserstraßenkreuz“ folgt auf den nächsten zwanzig Fließkilometern der Havel bis Brandenburg ein Gewirr von abzweigenden und einmündenden Neben-, Seiten- und Altarmen, unterbrochen von seenartigen Erweiterungen, so daß es Mühe bereitet, den Hauptlauf der Havel nicht aus den Augen zu verlieren. Kurz vor Brandenburg mündet von links der Emster-Kanal in den Fluß, der die in Lehnin endenden Emster Gewässer bündelt. Vor dem Beginn des Brandenburger Stadtgebietes fließt die Havel aus der in Richtung Silokanal weiter verlaufenden Hauptwasserstraße über den Stadtkanal und die Wehre der Staustufe Brandenburg in Richtung Niederhavel ab. Analog zur Potsdamer Havel erfolgt hier eine Teilung. Der größere Teil des Havelwassers nimmt vom Beetzsee an den kürzeren Weg über den künstlich geschaffenen Silokanal, der „Rest“ fließt über die Brandenburger Niederhavel ab [1].

Beide Teile vereinigen sich wieder im letzten See der zweiten Havelseenplatte, dem Plauer See. Der Plauer See bildet zusammen mit dem Quenzsee, dem Breiting- und Mörserschen- sowie dem Wendsee das größte zusammenhängende Seengebiet der Havel [1].

Die teils naturnah verlaufende, teils kanalisierte Havel durchfließt von hier aus träge die Niederungsgebiete bei Premnitz, Rathenow bis nach Havelberg, um danach in mehreren Armen die Elbe zu erreichen.

Wenn wir nun den Blick vom Fluß weg auf das angrenzende Terrain richten, wird erkennbar, daß das Havelland morphologisch, bodenkundlich und geografisch keine Einheit bildet. Der Landschaftscharakter ist vielmehr geprägt durch einen häufigen Wechsel kleiner inselförmiger Diluvialflächen und weiter Niederungsgebiete. In seinem Abwechslungsreichtum hat das Havelland Anteil an mehreren naturräumlichen Einheiten: dem Luchland, den Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen sowie an der Elbtalniederung. Einige dieser Einheiten stellen bereits ein in sich sehr differenziertes gegensatzreiches Gefüge dar [3].

In dem hier betrachteten Abschnitt der Havel offenbaren sich Unterschiede in den Einzellandschaften.

Das Potsdamer Seen- und Hügelland setzt sich aus Grundmoränen und Endmoränen bzw. Kames (Hügelgelände aus Sand und Geröll) sowie aus schwach bis mäßig vernäbten, meist seenreichen Niederungen

zusammen. Die Brandenburger Havelniederung umfaßt weite Talauen und großflächige Talsandgebiete mit nur vereinzelt herausragenden Grundmoräneninseln [4].

Die vielgestaltige Vegetation reicht von den Wasserpflanzengesellschaften der Havelseen bis hin zu den Kiefernwäldern der Sander, von kaltnassen Mooren bis zu trockenheißen Steppenhügeln.

Das Havetal mit seinen Niederungen beherbergt eine Anzahl typischer Stromtalpflanzen, die in Mitteleuropa im wesentlichen an die großen Täler gebunden sind. Die meisten davon gehören zur Gruppe der Sommerwärme liebenden subkontinentalen Stromtalpflanzen, wie Sumpfwolfsmilch (*Euphorbia palustris*), Sumpfgänsedistel (*Sonchus palustris*), Sumpfkreuzkraut (*Senecio paludosus*) u.a. Charakteristisch für die Havelniederungen ist ferner der Erzengelwurz (*Angelica archangelica*), eine bis 2,5 Meter aufragende Hochstaude der Ufersäume. In den Inundationsflächen der Havel unterhalb Rathenows sind die ehemals sehr ausgedehnten, durch Melioration jetzt jedoch zurückgedrängten Wiesen mit Rohrglanzglas (*Phalaris arundinaceae*) und mit Wasserschwaden (*Glyceria maxima*) charakteristisch. Die Seekanne (*Nymphoides peltata*) mit seerosenartigen, aber kleineren Blättern, kommt nur an der mittleren und unteren Havel sowie an der unteren Elbe und Oder vor. Ihre Bestände bei Ketzin gehören zu den reichsten Brandenburgs. Früher waren die Havelseen auch reich an Laichkräutern und anderen untergetauchten Wasserpflanzen. Eutrophierung und zunehmender Bootsverkehr haben zu einem starken Rückgang dieser Pflanzen geführt [4].

Mit einer weiteren Gefährdung wertvoller Bestände muß gerechnet werden. Ein Beleg hierfür gibt eine Auswahl gefährdeter bzw. vom Aussterben bedrohter Pflanzenarten der unteren Havelaue [8].

Vom Aussterben bedroht:

Gestreifter Klee (*Trifolium striatum*)
Hahnenfußähnlicher Irgelschlauch (*Baldellia ranunculoides*)
Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*)
Schwarzblütige Binse (*Juncus atratus*)
Sibirische Schwertlilie (*Iris sibirica*)

Stark gefährdet:

Berg-Haarstrang (*Peucedanum oreoselinum*)
Braunes Zyperngras (*Cyperus fuscus*)
Färber-Scharte (*Serratula tinctoria*)
Gräben-Veilchen (*Viola stagnina*)
Rauhblättriger Schwingel (*Festuca trachyphylla*)
Kleines Flohkraut (*Pulicaria vulgaris*)
Ohrlöffel-Leimkraut (*Silene otites*)
Rasen-Schmiele (*Deschampsia caespitosa*)
Salz-Bunge (*Samolus valerandi*)
Sumpf-Brenndolde (*Cnidium dubium*)
Spießblättriges Helmkraut (*Scutellaria hastifolia*)
Sumpf-Wolfsmilch (*Euphorbia palustris*)

Zierliches Tausendgüldenkraut (*Centaureum pulchellum*)

Zierliches Schillergras (*Scutellaria hastifolia*)

Gefährdet:

Echtes Labkraut (*Galium verum*)
Feld-Beifuß (*Artemisia campestris*)
Gekniertes Fuchsschwarzgras (*Alopecurus geniculatus*)
Gemeiner Gilbweiderich (*Lysimachia vulgaris*)
Grasnelke (*Armeria elongata*)
Heide-Nelke (*Dianthus deltoides*)
Krauser Ampfer (*Rumex crispus*)
Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*)
Rohrartiges Schwingelschilf (*Scolochloa festucacea*)
Rohrglanzgras (*Phalaris arundinaceae*)
Schlanke Segge (*Carex gracilis*)
Sumpf-Knöterich (*Polygonum amphibium*)
Sumpf-Labkraut (*Galium palustre*)
Sumpf-Blatterbse (*Lathyrus palustris*)
Wasser-Greiskraut (*Senecio aquaticus*)
Wasser-Sumpfkresse (*Rorippa amphibia*)
Weißes Straußkraut (*Agrostis stolonifera*)
Wilde Sumpfkresse (*Rorippa sylvestris*)
Zweizeilige Segge (*Carex disticha*)

Die vielen Gärten und Parkanlagen des Gebietes haben die Ausbreitung und Einbürgerung ursprünglich nicht heimischer Arten (*Neophyten*) gefördert. Teils auf Anpflanzung, teils auf spontaner Verwilderung beruhen die Vorkommen einer Anzahl nicht einheimischer Gehölze in den Wäldern, so von Lärche (*Larix decidua*), Roteiche (*Quercus rubra*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*), Später Traubenkirsche (*Prunus serotina*), Besenfelsenbirne (*Amelanchier ovalis*), Mahonie (*Mahonia aquifolium*) u.v.a..

Aus Potsdamer Parkteichen breitete sich um 1860 die Wasserpest (*Elodea canadensis*) stürmisch in den Havelseen aus und entwickelte sich nach wenigen Jahren vielerorts so stark, daß sie bald die Fischerei behinderte. In krautreichen, bodenfrischen Wäldern und Waldsäumen bürgerte sich u.a. das allseits bekannte Kleine Springkraut (*Impatiens parviflora*) ein.

Weidengebüsche und Gruppen von Silberweiden (*Salix alba*) und Schwarzpappeln (*Populus nigra*), welche sich stellenweise in Havelnähe zu lockeren Wäldern zusammenschließen, durchsetzen die offenen Luchflächen. Auf nährstoffreichen flußnahen Überschwemmungsstandorten mit starken Wasserspiegelschwankungen war der Silberweiden-Pappeln-Auenwald (Weichholzaue) ursprünglich weit verbreitet. Dagegen fehlt an der Havel der an Auelehmdecken gebundene Stieleichen-Ulmen-Auenwald entweder gänzlich, oder er ist nur stellenweise am Mineralbodenrand entwickelt [4].

Der Erlenbruchwald besaß auf ständig stark vernässten Moorstandorten ehemals eine weite Verbreitung. Auch heute noch gibt es stellenweise gut ausgebildete Bestände, beispielsweise an Wublitz und Schlä-

nitz bei Uetz und Marquardt sowie im Elsbruch nördlich der Götzer Berge. Dieser von der Erle (*Alnus glutinosa*) beherrschte Bruchwald enthält außer Faulbaum (*Frangula alnus*), Sumpffarn (*Thelypteris palustris*), Hopfen (*Humulus lupulus*) und Sumpfschilf (*Carex acutiformis*) zahlreiche weitere Sumpfpflanzen und läßt sich nur schwer durchdringen [4].

Für das Klima im Havelgebiet zwischen Potsdam und Brandenburg sind verhältnismäßig hohe Sommertemperaturen und milde Winter, eine lange Vegetationsperiode sowie das Niederschlagsmaximum im Sommer, das durch Starkregenfälle verursacht wird, charakteristisch. Das Havelland liegt somit, großklimatisch gesehen, im Übergangsbereich zwischen dem westlichen, mehr atlantisch-maritim und dem östlichen, stark kontinental beeinflussten Klima des Binnenlandes mit fließenden Übergängen [4].

Die Menschen am Fluß

Die Havel ist ein lebendiger Bestandteil unserer heimatlichen Landschaft, durch den ihr Gesicht, ihre wirtschaftliche und kulturelle Entwicklung wesentlich beeinflusst werden.

Bereits in slawischer Zeit erfolgten, vor allem an den Niederungsrändern, starke Eingriffe in die natürliche Vegetation, wobei besonders der Stieleichen-Hainbuchen-Wald betroffen wurde, der im Gebiet fast vollständig verschwunden ist.

Während des hochmittelalterlichen Landausbaus rodeten man weitgehend die eichenreichen Wälder der Hochflächen, von denen nur auf Moränenkuppen Reste erhalten geblieben sind.

Das spätere Mittelalter brachte auf den Gemarkungen wüst gewordener Dörfer Wiederbewaldungen.

Die umfangreiche Schafhaltung der frühen Neuzeit führte zu ausgedehnten heideartigen Schaftriften. Auch die steilen Moränenhügel dienten vielfach als Schafweide und wurden dadurch entwaldet und offengehalten.

In günstigen Hanglagen legten die Bewohner Weinberge an, besonders auf den Werderschen Bergen. An ihre Stelle traten nach deren Auflassen umfangreiche Obstgärten, die in jüngerer Zeit zu Obstplantagen ausgeweitet wurden [4].

Die Wälder des Gebietes haben, bedingt durch die Nähe günstiger Wasserwege, seit dem Mittelalter starke Holznutzung erfahren, durch welche die Laubhölzer zugunsten der Nadelhölzer zurückgedrängt wurden. Die planmäßige Forstwirtschaft brachte im 19. und 20. Jahrhundert eine weitere Begünstigung der Kiefer.

In neuerer Zeit versucht man die monotonen Kiefernbestände stellenweise in Mischbestände umzuwandeln, um das Waldbild wieder zu beleben und

den Wald widerstandsfähiger gegen Schädlinge zu machen [4].

In den früher periodisch überschwemmten Niederungen an der Havel gab es ehemals Großseggenriede mit einer vielgestaltigen Vegetation, die landwirtschaftlich aber nur extensiv zu nutzen waren. Bereits im 18. Jahrhundert begann ihre schrittweise Zurückdrängung mit Hilfe von Eindeichungen und Entwässerungen. Heute gibt es solche Riede nur noch in unmittelbarer Nähe der Havel.

Zu großen Eingriffen in die Landschaft kam es ferner durch die Ziegelindustrie. Die früheren Tongruben sind heute fast sämtlich aufgelassen und haben sich entweder mit Wald überzogen oder sie sind mit Wasser gefüllt [4].

Die ausgehöhlten Tonhügel der sogenannten „Glin-dower Alpen“ sind mit reichlichem Baumbestand überzogen. Die bedeutendsten Tonvorkommen waren bei Ketzin zu finden. Durch den günstigen Wassertransportweg nach Berlin, verbunden mit einem wachsenden Bedarf an Baumaterialien besonders nach 1870, profitierte Ketzin und die hier ansässigen, zahlreichen Schiffer über ein halbes Jahrhundert [5].

Besonders die Stadt Brandenburg ist von alters her mit der Schifffahrt verbunden gewesen. Im wirtschaftlichen Leben einer so großen Stadt spielten viele Faktoren eine Rolle. Es bot sich für viele Erwerbszweige Raum, die jedoch mittelbar mit dem reichlich vorhandenen Wasser der Havel zu tun hatten [5].

Der künstliche Stau zwischen Ober- und Unterhavel hatte schon früh zur Anlage von zahlreichen Mühlen geführt, die sich zum Teil zu Großbetrieben entwickelten und das Wasser als Antriebskraft und Transportweg nutzten.

Aber auch die später hinzukommende Industrie siedelte sich fast ausnahmslos am Wasser an. Wichtig war der billige Kohletransport, aber auch Rohmaterial oder Fertigwaren wurden verschifft. Die Stärkefabriken ließen sich die Kartoffeln und die Rohrweberei die Rohrbündel mit dem Kahn bringen. Die Ziegeleien standen in unmittelbarer Verbindung mit dem Wasser. Auch die kleinsten Wasserarme wurden genutzt. Viele Mühlengerinne innerhalb der Stadt sind noch geblieben [5].

„Es vollzog sich eine Entwicklung, die für die Mark Brandenburg, die an sich an Bodenschätzen und aus ihnen erwachsenen Produktionsstätten arm war, typisch ist. Mit Hilfe der reichlich vorhandenen und gut befahrbaren Wasserwege und günstigen Uferlagen konnten Handel, Fischerei und Gewerbe einen größeren Aufschwung nehmen. So entstanden im ganzen Lande wirtschaftlich wichtige Städte und Industrieanlagen an den Flüssen und Kanälen“ [5].

Für die landwirtschaftlichen Betriebe, deren Ackerflächen aus leichten Böden bestand waren die Havel-

wiesen ein sehr wertvolles Gut. Durch Hochwasser, das die Wiesen düngte gab es gutes und reichliches Heu. Ein besonders ausgeprägtes Beispiel bietet das Dorf Strodehne, dessen Wiesen die hauptsächliche Existenzgrundlage für die Bauern bildete.

Das reichlich gewonnene Heu kam auf dem Wasserwege zu den Garnisonen nach Potsdam und Berlin. Die Pferdeställe der Speditionen und Brauereien und die Kuhställe der zahlreich vorhandenen Melkbetriebe hatten ebenfalls einen hohen Bedarf an Rauhfutter [6].

Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß sehr lang anhaltendes Hochwasser, bedingt durch den

Rückstau von der Elbe her, die Landwirtschaft auch schädigte.

Daher kam es seit dem vorigen Jahrhundert zu wirksamen Abhilfemaßnahmen. Die Verbesserungen für die Schifffahrt hatten ihren Anfang weitaus früher.

Die Anfänge der Flußregulierung liegen schon im Mittelalter. Die Anlegung der Kammerschleusen in Brandenburg und Rathenow dienten der Verbesserung der Schifffahrt.

Dennoch wiesen die Wasserverhältnisse auf der unteren Havel viele Mängel auf.

Folgender Überblick soll die Entwicklung bis in die Gegenwart veranschaulichen [1]:

um 1300	Anlegung von Mühlenstauen und Flutrinnen in Brandenburg und Rathenow	Schiffsverkehr durch Flutrinne und Ausnutzung der Wasserkraft
um 1550	Bau von Kammerschleusen in Brandenburg und Rathenow	großer Fortschritt für die Schifffahrt
um 1870 bis 1900	Anlage des Sacrow-Paretzer Kanals und Regulierung der unteren Havel, Erweiterung der Schleusen in Brandenburg und Rathenow	Verkürzung des Wasserweges, Vertiefung der Fahrrinne
um 1900 bis 1914	Bau des Silokanals in Brandenburg Anlage der Staustufen in Bahnitz, Grütz und Garz (Schleuse und Nadelwehr)	Verhinderung des Elberückstau oberhalb von Garz, bei Niedrigwasser Haltung des Wasserstandes, bei Hochwasser Fahrt durch die freigegebenen Nadelwehre
um 1935 um 1935 (vollendet 1954)	Vertiefung der Havel unterhalb von Garz, Bau der Schleuse Havelberg Beginn der Verlegung der Havelmündung bis Gnevsdorf einschließlich Bau der Wehrgruppe Quitzöbel	Verbesserung der Vorflutverhältnisse des Havelmündungsgebietes und Verlegung des Rückstaupunktes der Elbe bis Gnevsdorf

Von diesen Eingriffen in die Landschaft sind schon damals Flora und Fauna betroffen gewesen.

Dafür soll folgendes Zitat stehen:

„Es fiel Baum um Baum, das ganze Ufer wurde kahl; Störche und Reiher, die über Land flogen, fanden sich kaum noch zurecht“ [7].

Trotz allem hat die Havel neben kanalisierten Abschnitten auch solche von beeindruckender Vielfalt und Weite. Hier hat sie sich eine große Naturnähe und unaufdringliche Schönheit bewahrt, deren Erhalt zugleich Aufgabe und Anspruch sein sollte.

- [5] BUCHHOLZ, U.: „Schifffahrt im Havelgebiet um Brandenburg“, in Brandenburger Blätter, Band 3 1981, S. 47 - 49
- [6] MAHRENHOLTZ, K.-H.: „Strodehne in der DDR, eine Chronik“, Msk. um 1950-60 maschinenschriftlich: unveröffentlicht, 1985
- [7] KOTZDE, W.: „Frau Harke“, Roman einer Landschaft, Stuttgart, 3. Auflage, 1920, S. 151
- [8] FISCHER, W.; KUMMER, V.; PÖTSCH, J.: „Zur Vegetation des Feuchtgebietes internationaler Bedeutung (FIB) Untere Havel“ in: Z. „Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg“, Heft 4/1994, Heft 1/1995, S. 14, 15

Literatur

- [1] UHLEMANN, H.J.: „Die Havel im Strom der Geschichte“ (Havelserie Teil 3), in Berliner Zeitung Nr. 299, 1993
- [2] Führer auf den deutschen Schifffahrtsstraßen 4. Teil: Das Gebiet der Märkischen Wasserstraßen, Berlin 1911
- [3] RIBBE, W.: „Das Havelland im Mittelalter“, aus Berliner historische Studien Band 13, Seite 23, Germania Slavica V
- [4] FALK, G.; KRAUSCH, H.-D.: „Havelland um Werder, Lehnin und Ketzin“, aus Werte der deutschen Heimat 1992, Band 53, Seite 1, 6 - 11, 44, 45, 66, 67

*Dipl.-Ing. (FH) Eckhard Jupé
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Gewässerschutz und Wasserwirtschaft
Ref. Grundlagen Gewässergestaltung, Wasserbau, Hochwasserschutz*

Hydrographische und hydrologische Charakteristik

1. Gliederung des Einzugsgebietes

Die Havel ist mit einem Einzugsgebiet von rund 24.000 km² der größte rechtsseitige Zufluß der Elbe. Ihren Ursprung hat die Havel in der Südmecklenburgischen Seenplatte bei Pieverstorf. Sie hat eine Lauflänge von 325 km und fließt in einer großen Schleife, deren südlichster Punkt der Schwielowsee bei Potsdam ist, der Elbe zu. Der relativ geringe Höhenunterschied zwischen der Havelquelle (63 m über NN) und der Mündung in die Elbe als Gnevsdorfer Vorfluter (22 m über NN), die große Zahl der durchflossenen Seen, viele seenartige Erweiterungen sowie zahlreiche Verzweigungen und kanalisierte Abschnitte prägen den Charakter dieses Tieflandflusses. Ihre Wasserstände und Abflüsse werden durch Stauhaltungen nachhaltig beeinflusst.

Die Havel nimmt unterhalb der Schleuse Spandau die wesentlich wasserreichere Spree auf. Diese entspringt in der Oberlausitz und fließt überwiegend in nördliche Richtung. Sie hat mit ca. 10.000 km² bei ihrer Vereinigung mit der Havel ein fast dreimal so großes Einzugsgebiet wie die Havel oberhalb der Schleuse Spandau. Da sie auch eine höhere Wasserführung, eine größere Lauflänge und eine höher gelegene Quelle als die Havel aufweist, könnte die Havel unterhalb Berlins auch „Spree“ heißen.

Einzugsgebietsgrößen der Havel:

		Anteil vom Gesamteinzugsgebiet	
		km ²	%
Havel bis Spree		3.476	14,4
Spree (Nebenfluß)		10.137	42,1
Havel mit Spree		13.613	56,5
Nuthe (Nebenfluß)		1.787	7,4
Havel bei Ketzin		16.173	67,1
Emster (Nebenfluß)		210	0,9
Havel bei Brandenburg		16.525	68,6
Havel bei Rathenow		19.288	80,0
Havel Mündung in Elbe		24.096	100,0

Das Einzugsgebiet der Havel ist überwiegend durch meliorierte Niederungen gekennzeichnet. Nur im Süden des Einzugsgebietes treten mit dem Fläming höhere Erhebungen auf. Hier liegt mit 201 m auch der höchste Berg des Landes Brandenburg (Hagelberg bei Belzig).

2. Wasserstände

Die Wasserstände unterliegen einem relativ geringen Schwankungsverhalten. Die in Abbildung 1 und Tabelle 1 dargestellten Meßergebnisse am Pegel Ketzin verdeutlichen diese Feststellung. Die Differenz zwi-

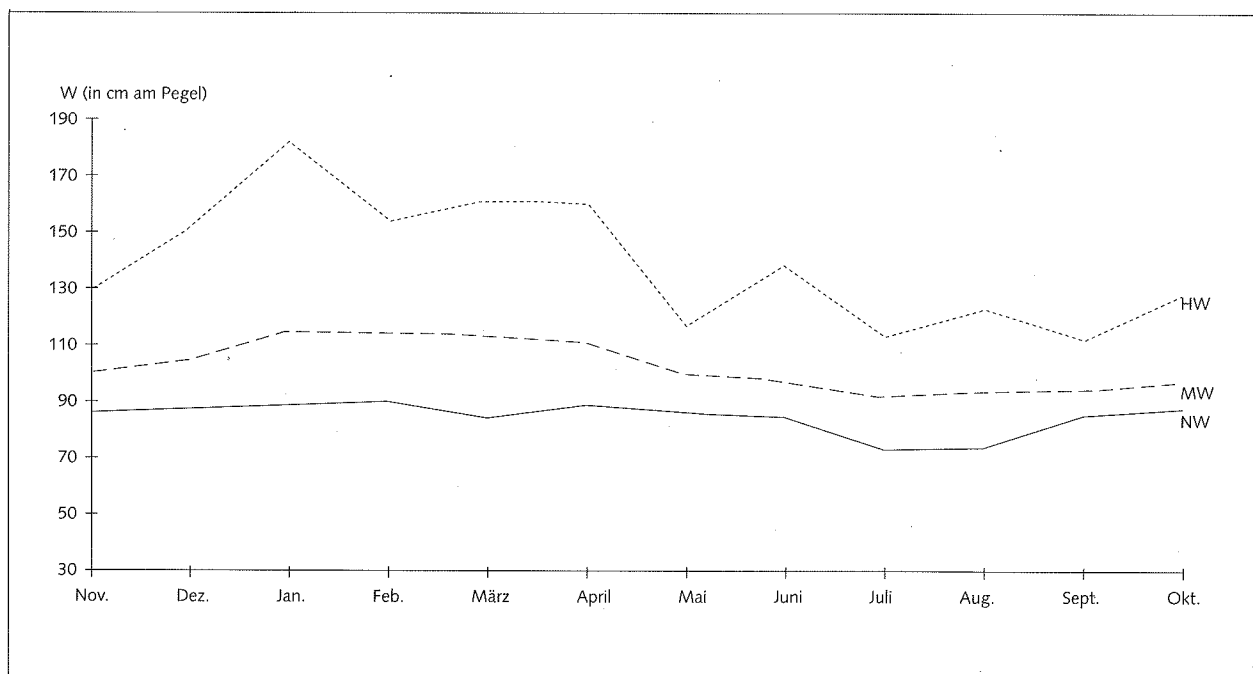


Abb. 1: Jahresgang des Wasserstandes am Pegel Ketzin
Reihe 1981 - 1990

Tab. 1: Jahresgang des Wasserstandes (cm am Pegel) am Pegel Ketzin
Reihe 1981 bis 1990

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Wi	So	Jahr
DAT	1982	1982	1983	1986	1986	1989	1990	oft	1983	1983	oft	1985	1986	1983	1983
NW	86	88	89	90	84	88	85	84	72	73	84	86	84	72	72
MNW	94	99	106	106	102	98	92	89	85	87	89	92	92	83	83
MW	100	105	115	114	113	110	99	97	91	93	93	96	110	95	102
MHW	108	114	126	123	123	122	106	108	100	99	99	102	136	114	140
HW	130	152	182	154	161	160	116	138	112	122	111	127	182	138	182
DAT	1981	1981	1982	1987	1981	1981	oft	1986	1981	1981	1981	1981	1982	1986	1982
DAT	Datum (Jahr)			MNW			mittlerer Niedrigwasserstand			MHW			mittlerer Hochwasserstand		
NW	Niedrigwasserstand			MW			Mittelwasserstand			HW			Hochwasserstand		

schen Niedrigwasser (NW) und Mittelwasser (MW) beträgt nur 30 cm, der niedrigste Niedrigwasserstand lag bei 35 cm am Pegel Ketzin (Differenz zu Mittelwasser 67 cm). Die Differenz zwischen Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) liegt bei 80 cm. Der höchste Hochwasserstand lag bei 209 cm am Pegel Ketzin (Differenz zu Mittelwasser 107 cm).

Niedrig- und Mittelwasserstände sind künstlich beeinflusst, die Staumarkenfestlegungen erfolgen jährlich durch das Wasser- und Schiffsamt Brandenburg.

Extreme Hochwasserstände treten nur im Winterhalbjahr auf und sind durch einen langen flachverlaufenden Hochwasserscheitel gekennzeichnet.

3. Abflüsse/Abflußregime

Die Abflüsse bzw. Abflußspenden zeigen in der Havel wie auch in den anderen Fließgewässern Brandenburgs relativ kleine Werte (Abb. 2 u. Tab. 2). Trotz der vielen Gewässer (Fließ- und Standgewässer) ist Brandenburg eines der wasserärmsten Gebiete Deutschlands. Die Wasserfläche des Landes

nimmt mit 750 km² rund 2,6% der Landesfläche ein. Das mittlere Dargebot wird durch die Abflußspende charakterisiert.

Nachfolgend sind vergleichsweise die **Abflußspenden** verschiedener Wasserläufe gegenübergestellt:

Ketzin/Havel	4,6	l/s · km ²
Wittenberge/Elbe	5,6	" "
Eisenhüttenstadt/Oder	6,1	" "
Kaub/Rhein	15,1	" "
Schweinfurt/Main	7,6	" "
Ingolstadt/Donau	15,1	" "
Kempton/Iller	48,6	" "

Das Abflußgeschehen der Havel ist durch viele künstliche und natürliche Beeinflussungen geprägt:

- Stauhaltungen,
- Überleitung aus der Müritz,
- Überleitung von und zur Oder,
- Bergbau der Lausitz,
- Abwasser im Raum Berlin,
- Seen und seenartige Erweiterungen (teilweise als Speicher bewirtschaftet) sowie durch
- Kanalverbindungen.

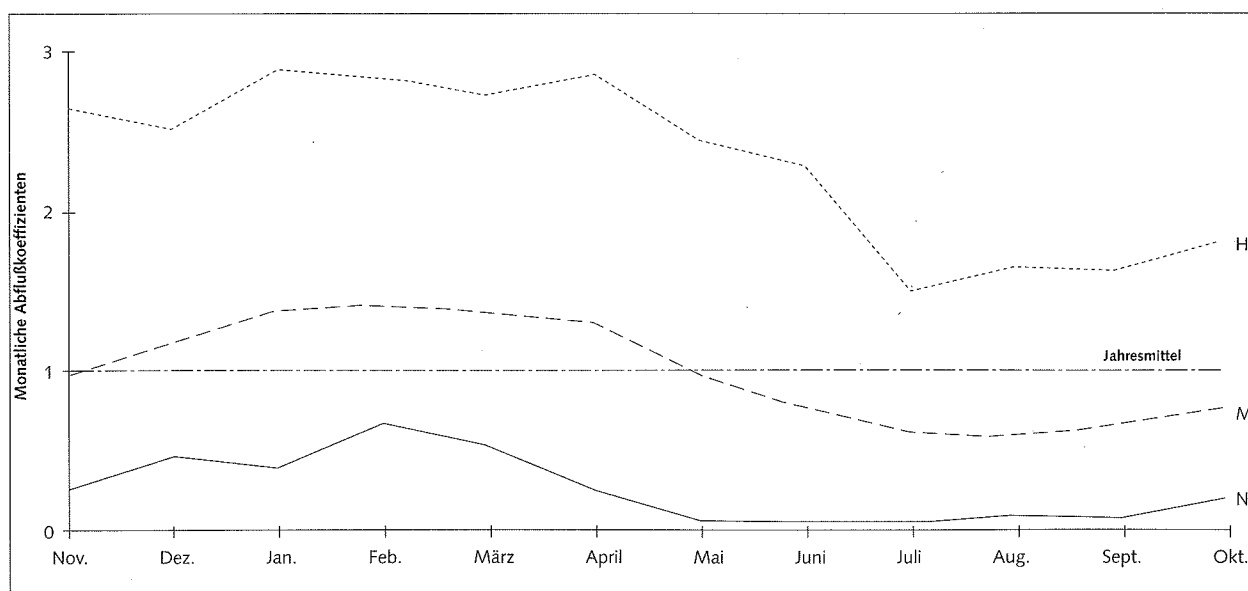


Abb. 2: Abflußregime der Havel bei Ketzin
Reihe 1966 bis 1993

Tab. 2: Abflußgeschehen der Havel am Pegel Ketzin (m³/s)
Reihe 1966 bis 1993

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Wi	So	Jahr
NQ	20.3	34.6	29.1	49.5	39.2	20.4	5.17	5.50	5.50	7.84	7.70	16.6	20.3	5.17	5.17
MNQ	53.3	66.2	79.7	81.8	81.2	72.1	48.4	36.2	32.2	31.2	34.9	44.3	46.1	25.6	25.0
MQ	72.9	86.5	102	105	102	96.2	71.8	56.3	46.1	43.9	49.9	58.0	93.9	54.4	74.0
MHQ	93.2	108	123	125	122	118	97.4	81.8	67.0	62.3	67.1	76.6	146	112	150
HQ	152	187	214	211	202	212	181	170	111	123	121	136	214	181	214

Abflußspenden (l/s · km²)
Reihe 1966 bis 1993

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Wi	So	Jahr
Nq	1.3	2.1	1.8	3.1	2.4	1.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	1.0	1.3	0.3	0.3
Mq	4.5	5.3	6.3	6.5	6.3	5.9	4.4	3.5	2.8	2.7	3.1	3.6	5.8	3.4	4.6
Hq	9.4	11.6	13.2	13.0	12.5	13.1	11.2	10.5	6.9	7.6	7.5	8.4	13.2	11.2	13.2

NQ	Niedrigwasserabfluß			MNQ				mittl. Niedrigwasserabfluß			MQ			mittl. Hochwasserabfluß		
MHQ	mittl. Hochwasser			HQ				Hochwasser			Nq			Niedrigwasserabflußspende		
Mq	Mittelwasserabflußspende			Hq				Hochwasserabflußspende								

Das natürliche Dargebot ist nicht ermittelbar, erfaßt wird die „Bilanz“ im Einzugsgebiet.

Der Abflußquotient wird als dimensionslose Größe aus dem Quotienten der langjährigen Monatswerte (NQ_{Monat} , MQ_{Monat} , HQ_{Monat}) und dem langjährigen Jahresmittel (MQ_{Jahr}) ermittelt und ist in Abbildung 2 für die Havel dargestellt. Bei relativ ausgeglichenen monatlichen Niederschlägen ist die Verdunstung der Haupteinflußfaktor, der mittlere Jahresgang zeigt einen sinusförmigen Verlauf.

tung der Stauziele fast zu einer Ausspiegelung (2 cm sinkt der Wasserstand je km).

Für den Bereich Spandau/Brandenburg ergeben sich folgende Werte:

	Differenz der Wasserspiegellage	Gefälle
Hochwasserbereich	83 cm	0,014‰
Mittelwasserbereich	35 cm	0,006‰
Niedrigwasserbereich	16 cm	0,002‰

4. Gefälle

Das Gefälle der Havel ist im Vergleich zu anderen Wasserläufen extrem niedrig. Durch Staubeinflussung kommt es im Niedrigwasserbereich bei Einhal-

5. Niederschläge

Brandenburg ist eines der niederschlagsärmsten Gebiete Deutschlands mit Werten um 600 mm pro Jahr (Abb. 3 und Tab. 3).

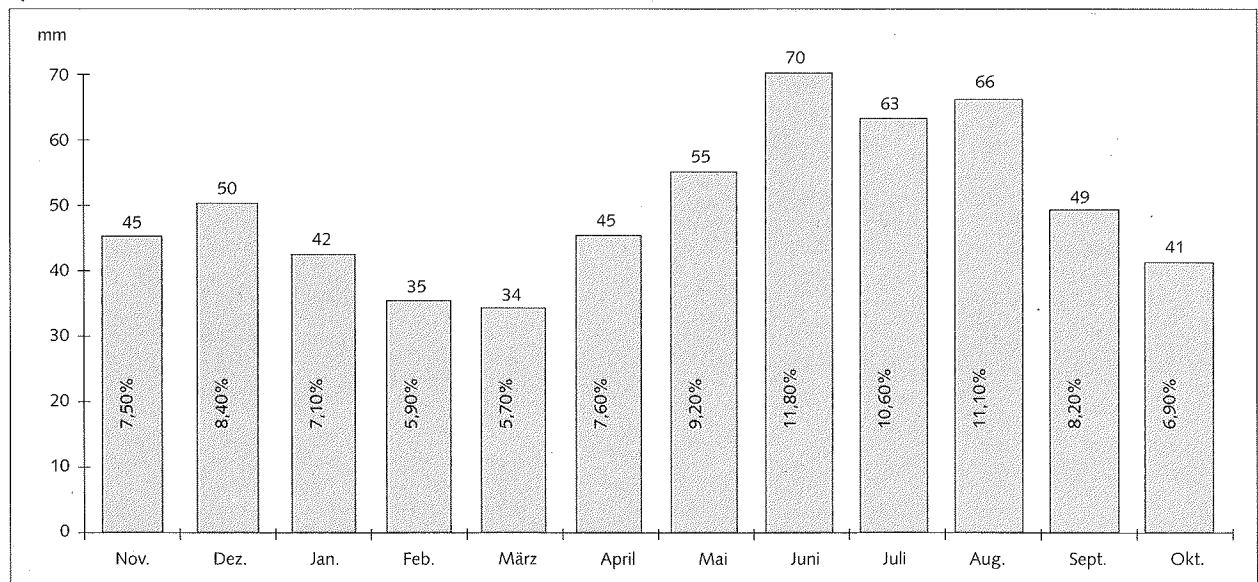


Abb. 3: Monatliche Niederschlagshöhen der Station Potsdam in mm (Jahressumme 595 mm: 1951/80)

Tab. 3: Mittlere Monats- und Jahressummen der Niederschlagshöhe (mm)
Reihe 1951 bis 1980

Station	Kennz.	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Wiesenburg	09368	48	41	41	46	61	75	64	72	47	46	51	57	649
Brandenburg-Stadt	09370	38	30	32	40	53	62	58	62	43	38	43	44	543
Potsdam	09379	42	35	34	45	55	70	63	66	49	41	45	50	595

Quelle: Deutscher Wetterdienst

Viele Einzugsgebiete in Deutschland haben jährlich durchschnittliche Gebietsniederschlagssummen zwischen 700 und 1.000 mm.

Für die Station Potsdam sind die Monatssummen (mit dem prozentualen Anteil der Monate an der Jahressumme) in Abbildung 3 dargestellt.

6. Verdunstung

Die Verdunstung sowohl der freien Wasserfläche als auch der Landfläche ist die Größe des Wasserhaushaltes in der Havel, die den größten Schwankungen unterliegt.

Werte von zwei unterschiedlichen Flächen (freie Wasserfläche und eine landwirtschaftliche Nutzfläche) sind nachfolgend in der Tabelle 4 aufgeführt:

Die Verdunstung freier Wasserflächen liegt wesentlich über dem mittleren Jahresniederschlag, Wasserflächen und grundwassernahe Standorte sind Zehrgebiete.

Die Gegenüberstellung der Werte von Verdunstung, Niederschlag und Abfluß zeigt, daß nur ca. 25% des Niederschlages zum Abfluß kommen.

Verdunstungshöhe	
freie Wasserfläche	710 mm
landwirtschaftliche Nutzfläche	466 mm
Niederschlagshöhe	595 mm
Abflußhöhe	146 mm

Die Ressource Wasser ist eines unserer wertvollsten Schutzgüter und alle müssen sorgsam damit umgehen, Brandenburg hat zwar viele Gewässer - aber wenig Wasser.

Tab. 4: Monats- und Jahressummen der Verdunstungshöhen (mm) freier Wasserflächen bzw. landschaftlicher Nutzfläche

- Gewässer: Potsdam, mittlere Tiefe: 4,0 m

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	ΣJahr
Mittel	8	13	28	62	95	110	126	114	73	44	23	14	710
Maximum	15	25	43	89	127	177	193	160	106	60	31	19	861
Minimum	2	7	18	38	67	75	76	75	48	30	13	7	584

Quelle: Deutscher Wetterdienst

- Gebiet/Station: Potsdam

Bodenart = Anlehmiger Sand, Bestandsart = Landwirtsch. Nutzfläche

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	ΣJahr
Mittel	9	11	26	46	79	86	66	53	41	29	12	8	466
Maximum	17	25	37	70	109	133	99	83	57	39	19	13	578
Minimum	4	6	18	30	48	24	18	13	12	19	6	3	308

Quelle: Deutscher Wetterdienst

Dipl.-Hydrologe Almut Naumann
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Gewässerschutz und Wasserwirtschaft
Ref. Wasserwirtschaft West, Potsdam

Geographische und geologische Kennzeichnung

Die Havelquellseen im Gebiet Granzin, Kratzeburg, Dambeck in Mecklenburg-Vorpommern sind östlich der Müritz eingebettet in den südlich der Pommerschen Endmoränenbildungen folgenden Sander. Diese Landschaftsformen, während der Weichsel-Kaltzeit gebildet, sind prägend für die Beeinflussung von Oberflächen- und Grundwasser im Sandergebiet. Sie geben außerdem durch ihre Oberflächengestaltung der Havel den ungewöhnlichen Verlauf nach Süden - abgewandt vom Meer - vor.

Auf ihrem Weg in südliche und südöstliche Richtung durchfließt die Havel zunächst das Gebiet der Neustrelitzer Seenplatte nördlich von Wesenberg. Hier handelt es sich um ein flaches und aufgegliedertes Hügelland. Die ausgebildeten Sanderflächen werden von vielen schmalen Rinnenseen bzw. von Talniederungen durchzogen und von einzelnen Grund- und Endmoränenkuppen durchbrochen. Der überwiegende Teil dieses Gebietes baut sich oberflächennah aus Sand- und Kiesablagerungen der Sanderbildungen auf. Zwischen diesen Sedimenten ragen Grund- und Endmoränenbildungen empor. Diese abwechselnden Formen geben der Landschaft ihren besonderen Reiz.

Im Raum Fürstenberg erreicht die Havel den nordwestlichen Teil des ausgedehnten Schorfheide-Sanders, der sich bis in die Schorfheide östlich von Zehdenick erstreckt. Er wird im zentralen Teil von der Templiner Hochfläche durchbrochen und grenzt im Westen an die Granseer Hochfläche.

Der Schorfheide-Sander ist eine wellige, nach Südwesten aufgeschüttete Sandfläche der Pommerschen Phase der Weichsel-Kaltzeit.

In diesem Sandergebiet zwischen der Granseer und Templiner Hochfläche verläuft die Havel vom Stolpsee vorbei an Bredereiche und Burgwall bis nach Zehdenick besonders kurvenreich, was ihr in diesem Abschnitt den Beinamen „Krumme Havel“ eingebracht hat.

Beachtenswert sind die nördlich von Zehdenick in die Sanderbildungen eingeschalteten Tone, die den Rohstoff für die in ihrer Blütezeit beiderseits der Havel zahlreich betriebenen Ziegeleien bildeten.

Südlich von Zehdenick und Liebenwalde tritt der Lauf der Havel in die Gebiete der Urstromtäler ein. Bis in den Raum Oranienburg fließt die Havel im westlichen Teil des Eberswalder Urstromtales, folgt dann dem Verlauf des Havel-Durchbruchstaes etwa bis Hennigsdorf, um dann das Berliner Urstromtal zu durchqueren. Das Havel-Durchbruchstal ist ein jungpleistozäner Durchbruch vom Eberswalder zum Berli-

ner Urstromtal mit überwiegend Talsand- und Kiesbildungen der Schmelzwassersedimente. Dieses Tal trennt die Hochflächen des Glien westlich der Havel und des Barnim östlich der Havel und ermöglicht überhaupt erst den weiteren Havelverlauf in Richtung Süden.

Das Gebiet des Berliner Tales bildet eine breit angelegte, fast ebene Talsandfläche, die nur von einigen Höhenzügen, die als Reste des saalekaltzeitlichen Reliefs aufzufassen sind, überragt wird. Einige rinnenartige Täler, in denen vielfach Seen eingebettet sind, durchqueren sie in Nord-Süd-Richtung.

So verläuft ebenfalls die Havel im westlichen Teil des Berliner Tales und bildet hier bereits den Anfang des Potsdamer Havelgebietes mit seinen Niederungen und Seen. In den Teilen der Havelniederung des Abschnittes Hennigsdorf bis Templiner See überwiegen die Talsandablagerungen. In Havelnähe und in Ufernähe der Havelseen finden sich aber auch zum Teil recht mächtige holozäne Bildungen auf verhältnismäßig schmalen Raum.

Im Niederungsgebiet bilden die Talsande sowie ältere glaziäre Sande ein unbedecktes Grundwasserstockwerk mit sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten. Der Grundwasserspiegel liegt im gesamten Talsandgebiet im allgemeinen oberflächennah. Zwischen dem unbedeckten Grundwasserstockwerk und den Oberflächengewässern bestehen enge Verbindungen.

In der Umgebung des Wannensees und im Stadtgebiet von Potsdam engen Hochflächengebiete die Talsandbereiche stark ein bzw. verhinderten ihre Ausbildung.

Im Raum Potsdam ändert die Havel ihren Verlauf und fließt bis zum Plauer See prinzipiell nach Westen. Dabei durchquert sie das Landschaftsgebiet der Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen. Hier sind nahezu alle glaziären Formenelemente vertreten; Grundmoränenplatten, Endmoränen, Sander- und Talsandflächen.

Die Oberflächengestaltung dieser Landschaft ist auf den weitesten Vorstoß der Weichselvereisung und die danach folgenden Zerfallsphasen sowie auf die Vorgänge des Holozäns zurückzuführen. Am geologischen Aufbau sind fast ausschließlich jungpleistozäne Ablagerungen beteiligt, wie Geschiebesande und -lehme, glazifluviatile Sande und Kiese, Dünen- und holozäne humose Bildungen.

Das Brandenburg-Potsdamer Havelgebiet, im Süden durch die Karower Platte und das Lehniner Land und im Norden durch die Nauener Platte begrenzt, besitzt sehr unterschiedliche Formentypen. Es wird von

der Havel und ihren vielen Seen und seenartigen Erweiterungen und den sie umgehenden Niederungen und Flachmoorbildungen beherrscht, aus denen meist nur einige kleine Grundmoräneninseln und Endmoränenkuppen herausragen, wie z.B. die Götzer Berge.

In den Niederungen liegt der Grundwasserspiegel durch enge Verbindung zum Gewässer sehr oberflächennah.

Die Vielfältigkeit des geologischen Baues und der Wechsel der morphologischen Formen charakterisieren diese Landschaft.

Nach Verlassen des Plauer Sees ändert die Havel ihren Verlauf erneut und fließt nun in der Unteren Havelniederung in nördliche Richtung.

Die Untere Havelniederung gehört zur Landschaftsform der Elbtalniederung. Diese ursprünglich einheitliche Talsandfläche ist im Brandenburger Stadium der Weichselvereisung entstanden. Sie wurde von mehrmaligen Laufänderungen der Elbe, die sowohl in glazialer als auch in postglazialer Zeit bis zur Eindeichung der Elbe im 12. Jahrhundert stattfanden, zerschnitten.

Das erfolgte besonders im Raum Genthin zum Haveltal bei Pritzerbe und Rathenow hin. Dort ist deshalb

auch der typische Elbauehlem in der heutigen Havelniederung zu finden.

Die Untere Havelniederung wird aber in der Hauptsache von Talsanden gebildet, die von Dünen und einzelnen, isolierten Grund- und Endmoränenkuppen überragt werden.

Die in die Talsandflächen eingesenkten Rinnen und Becken sind vermoort und werden wassergefüllt zu Seen.

In der Unteren Havelniederung herrschen, wie schon zuvor, oberflächennahe Grundwasserstände vor.

Im Raum Strohdehne erreicht die Havel den westlichen Teil des Berliner Urstromtales und folgt nun der grundsätzlichen Fließrichtung dieses Tales nach Nordwest, bis sie zweigeteilt bei Havelberg und mit dem verlängerten Arm bei Gnevsdorf in die Elbe mündet.

*Dipl.-Ing. Udo Klost
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Gewässerschutz und Wasserwirtschaft
Ref. Wasserwirtschaftliche Grundlagen, Konzeption Oberflächen-/Grundwasser*

Die Eutrophierung der Havel und ihr bestimmender Einfluß auf Ökosystem und Nutzungen

1. Einführung

In Abhängigkeit vom Angebot an Pflanzennährstoffen und den hydrologischen sowie meteorologischen Bedingungen findet in den Gewässern eine mehr oder weniger große Produktion pflanzlicher Biomasse statt. Hat eine Überdüngung eine größere Biomasse zur Folge, spricht man von der Eutrophierung des Gewässers und meint damit vor allem die Verdichtung des Phytoplanktons bis zur Algenmassenentwicklung oder eine verstärkte Verkrautung durch Makrophyten und deren nachteilige Folgen für das Ökosystem und die Wassernutzungen.

Solche nachteiligen Auswirkungen einer übermäßigen Primärproduktion sind vor allem:

- Eintrübungen und Verfärbungen des Wassers, die im Extremfall zu einem Anhäufen vor allem von Blaualgen an der Gewässeroberfläche führen, zur Ausbildung sog. „Wasserblüten“. Die dadurch bewirkte Lichtabschirmung behindert das Wachstum submerser Wasserpflanzen, und ein hohes Angebot

sauerstoffzehrender organischer Substanzen führt unter diesen Bedingungen zu einer zusätzlichen Belastung des Sauerstoffhaushaltes. Dieser übermäßige Pflanzenwuchs wird deshalb im Unterschied zur eingetragenen Primärbelastung als Sekundärbelastung angesehen. Seine nachteiligen Auswirkungen treten insbesondere dann auf, wenn durch Wetterverschlechterungen massenhaft planktische Algen absterben und den meist schon angespannten Sauerstoffhaushalt zusätzlich belasten.

- Durch die verstärkte Sauerstoffzehrung wird eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes bis zum Schwund verursacht, wodurch Fischsterben u.a. katastrophale Wirkungen auf die aquatische Fauna auftreten können. Dieser Effekt wird durch die Freisetzung von Faulgasen, darunter dem hochtoxischen Schwefelwasserstoff, aus dem hier meist reichlich vorhandenen organischen Sedimenten verstärkt.
- Durch photosynthetischen Kohlendioxidentzug kommt es bei reichlich vorhandenem Phytoplankton und sonnenscheinreicher Witterung zu pH-Wert-

Erhöhungen, die eine Umwandlung von Ammonium-Ionen in freies Ammoniak zur Folge haben, das wesentlich toxischer wirkt.

- Ein mit zunehmender Tiefe stark abfallender Sauerstoffgehalt führt in Sedimentnähe über mehr oder weniger lange Zeiträume zu einem reduktiven Milieu und damit zu Rücklösung von Phosphaten, die eine Aufdüngung des Wasserkörpers bewirken.
- Algenablagerungen an den Stränden, Algenwatten im Uferbewuchs und totale Lichtabschirmung durch Wasserlinsen-Teppiche (*Lemna*, *Spirodela*) sind Beispiele weiterer unerwünschter Auswirkungen der Gewässereutrophierung.
- "Übereinstimmend mit allgemeinen Einschätzungen erscheinen hocheutrophe Gewässer fast immer für eine Badenutzung ungeeignet" [1].

2. Die eutrophierungsbegünstigenden hydrologischen Bedingungen der Havel und ihrer Nebengewässer

Wie in einem anderen Beitrag [2] bereits dargestellt, ist die Havel durch geringes Gefälle, Staustufen, zahlreiche Seen und seenartige Erweiterungen sowie im Vergleich zu anderen Flüssen geringe jahreszeitliche Unterschiede in den Durchflüssen gekennzeichnet. Damit erfüllt sie in beispielhafter Weise die hydrologischen Bedingungen zur Ausbildung von Algenmassenentwicklungen. Des Weiteren fehlen in der Havel wegen der geographischen Lage des Einzugsgebietes und der Talsperren im oberen Spree-Abschnitt auch weitgehend Frühjahrshochwässer, so daß es nicht wie in anderen Flußgebieten zum Ausschwemmen des Flußplanktons mit den Frühjahrshochwässern kommt, sondern mit Eintritt entsprechender meteorologischer Bedingungen der unmittelbare Übergang zur Hochproduktion erfolgen kann.

3. Ein hohes Nährstoffangebot als weitere Grundvoraussetzung für eine massenhafte Algenproduktion

In Abbildung 1 (S. 20) wird eine Übersicht über einige Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit gegeben. Es wurden Kenngrößen ausgewählt, die Schlußfolgerungen für die hier behandelte Thematik ermöglichen. In den Box-and-Whisker-Plots umfassen die Boxen Bereiche, in denen sich 50% der Meßwerte befinden, also die Bereiche zwischen dem 25- und dem 75-Perzentil. Die horizontale Linie innerhalb der Box kennzeichnet die Lage des 50-Perzentils (des Median). Die mit der Box verbundenen horizontalen Linien geben die Lage der Extremwerte an, die keine „Ausreißer“ sind. Als „Ausreißer“ werden Werte an-

gesehen, die mehr als 1,5 Kastenlängen vom 25- bzw. 75- Perzentil abweichen. Sie sind nicht in die Abbildung aufgenommen worden.

Bemerkenswert ist vor allem das Herausragen des Teltow-Kanals bei den Befunden für die Belastung mit Stickstoffverbindungen. Das ist nicht gleichermaßen bei der Belastung mit Phosphorverbindungen der Fall. Hier weisen sowohl die Potsdamer Havel wie auch die Oder bei Hohenwutzen deutlich höhere Gehalte auf.

An den Jahresmittelwerten für die Gehalte an Stickstoff- bzw. Phosphorverbindungen (Abb. 2 und 3) wird deutlich, daß die aktuelle Situation das Ergebnis einer längerfristigen Entwicklung ist, die vor allem mit der Abwasserbehandlung von Berlin verbunden ist.

Die in dieser Beziehung wichtigsten Ereignisse sind (nach [3], zeitlich geordnet und aktualisiert):

- (1928) Umstellung des Rieselfeldbetriebs auf künstlich-biologische Reinigung beschlossen. 6 Großklärwerke geplant
- (1931) Klärwerk Stahnsdorf mit Ableitung zum Teltow-Kanal, daneben weiterhin noch Rieselfelder
- (1935) Klärwerk Waßmannsdorf mit Ableitung zum Teltow-Kanal, daneben weiterhin noch Rieselfelder, darunter mit Ableitung zum Notte-Kanal
- (1963) Klärwerk Ruhleben (1. Ausbaustufe) mit Ableitung zur Havel, ab 1985 Überleitung zum Teltow-Kanal
- (1968) Klärwerk Falkenberg (1. Ausbaustufe) mit Ableitung zur Spree
- 1973 Überleitung von Nordgrabenwasser zum Teltow-Kanal (ab 1985 Ablauf Klärwerk Ruhleben)
- 1974 Klärwerk Marienfelde (1. Ausbaustufe) mit Ableitung zum Teltow-Kanal
- 1976 Klärwerk Münchehofe mit Ableitung zur Spree
- 1981 Klärwerk Falkenberg (2. Ausbaustufe) mit Ableitung zur Spree
- 1985 Klärwerk Ruhleben (2. Ausbaustufe) mit Überleitung zum Teltowkanal
- 1985 Klärwerk Falkenberg (3. Ausbaustufe) mit Ableitung zur Spree
- 1985 Klärwerk Schönerlinde (1. Ausbaustufe) mit Ableitung über Nordgraben/Tegeler See oder Panke/Spree
- 1986 Entphosphatungsstufe nach Simultanfällung im Klärwerk Marienfelde
- 1987 Klärwerk Schönerlinde (2. Ausbaustufe) mit Ableitung über Nordgraben/Tegeler See oder Panke/Spree

- 1987 Entphosphatungsstufe nach Simultanfällung im Klärwerk Ruhleben
- 1987 Inbetriebnahme einer Versuchsanlage im Klärwerk Ruhleben zur Umwandlung des Ammoniumstickstoffs im Ablaufwasser auf biologischem Wege bis zu 70% bei gleichzeitiger Verminderung des Phosphatgehaltes
- ab 1988 Entphosphatungsstufen in weiteren Berliner Klärwerken und Erweiterung der Anwendung von Verfahren zu Stickstoffeliminierung

Die Inbetriebnahme künstlich-biologischer Klärwerke und die Ablösung der Rieselfeldwirtschaft haben sich nachhaltig auf die Gewässerbeschaffenheit ausgewirkt, da mit den gereinigten Abwässern über einen längeren Zeitraum verstärkt Nährstoffeinträge vorgenommen wurden. Erst mit der Inbetriebnahme von Entphosphatungsstufen und in geringerem Umfang auch von Verfahren zur Stickstoffeliminierung wurde eine Trendwende erreicht, wobei diese Entwicklung von der verstärkten Nutzung phosphathaltiger Wasch- und Reinigungsmittel bzw. ihrem Ersatz durch phosphatfreie Produkte modifiziert wurde. Daß diese Auswirkungen beim Teltow-Kanal in besonders starkem Maße auftraten und von hier die unterhalb liegende Potsdamer Havel unmittelbar betroffen war, ist angesichts des hohen Anteils der Klärwerksabläufe am Gesamtabfluß verständlich (Abb. 4). Die Größenordnung des Einflusses durch den Eintrag im Berliner Raum insgesamt wird besonders deutlich, wenn man die Erhöhung der Frachten betrachtet, wie sie in Abbildung 5 summarisch für die Zu- und Abflüsse dargestellt wurden.

Die hochgradige Verminderung des Phosphatgehaltes in den Abläufen der in den Teltow-Kanal einleitenden Kläranlagen hat dazu geführt, daß gegenwärtig die Phosphatkonzentration im Teltow-Kanal über lange Zeiträume und im Jahresdurchschnitt geringer ist als in der Berliner Unterhavel, im Sacrow-Paretzer Kanal und in der Potsdamer Havel (Abb. 1, Abb. 3). Auf die Bedeutung von Phosphatrücklösungen aus den Havelsedimenten soll hier nicht weiter eingegangen werden, da diese in anderen Beiträgen in dieser Broschüre besprochen werden [4], [5], [6].

Da die Konzentrationen an Stickstoff- und Phosphorverbindungen von mehreren Einflußfaktoren abhängen, kann nicht erwartet werden, daß aus dem Jahresgang für diese Inhaltsstoffe unmittelbar auf die Bioproduktion geschlossen werden kann (Abb. 6). Während sich beim Silikat erwartungsgemäß das Frühjahrsmaximum der Kieselalgen im Verlauf des Jahresgangs für das Silikat widerspiegelt, ist das nicht gleichermaßen bei den Phosphaten der Fall. Hier entsteht der Jahresgang aus der Summe von veränderten Abflüssen und Einleitungsmengen sowie von Ausfällungen bzw. Rücklösungen (Abb. 5 und Abb. 6).

Betrachtet man das Verhalten im Längsschnitt, so werden auch hier eben angesprochene Unterschiede deutlich. Beim Ammonium-Stickstoff findet auf der Fließstrecke von Potsdam (Humboldtbrücke) bis Brandenburg eine deutliche Abnahme durch die Nitrifikation statt (Abb. 7). Beim Gesamtphosphat ist das nicht der Fall, weil sich hier Rücklösungen und Einträge auswirken.

4. Zustandsbewertung und Sanierungsaussichten

4.1 Gewässergüteklassen

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) gibt seit 1976 im Abstand von 5 Jahren Gewässergütekarten heraus (1976, 1980, 1985 sowie 1990 für die alten Bundesländer). Im Jahre 1990 wurden Ergänzungen um die neu hinzugekommenen Bundesländer vorgenommen, und es wurde eine Karte für das Gebiet der jetzigen Bundesrepublik veröffentlicht [7]. Die nächste Ausgabe ist für das Jahr 1995 vorgesehen. Ihre Vorbereitung liegt in der Verantwortung eines zeitweiligen Arbeitskreises, in dem alle Bundesländer vertreten sind.

Die Klassifizierung der Gewässergüte erfolgt nach einheitlichen, von der LAWA vorgegebenen Kriterien, die vom Arbeitskreis „Gewässerbewertung/Fließgewässer“ fortgeschrieben werden. Grundlage ist eine Bewertung des Vorkommens von Indikatororganismen nach der Liste der Indikatorarten gemäß Anhang A zur DIN 38410, Teil 2. Dabei werden in der Mehrzahl der Untersuchungen vor allem Indikatorarten des Makrozoobenthon untersucht, z.B. Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen, Libellen, Käfer, Krebstiere, Egel, Schnecken. Mikroorganismen, darunter nach morphologischen Merkmalen bestimmbare Bakterien und Ciliaten, werden ergänzend hinzugezogen; vor allem wenn das Vorkommen der erstgenannten Indikatorarten nicht für eine Bewertung ausreicht.

Während es bei typischen Fließgewässern überwiegend möglich ist, unter Nutzung möglichst vieler Organismengruppen eine Klassenzuordnung nach dem Saprobienindex vorzunehmen, verursachen rückgestaute Gewässer, wie die Havel, methodische Schwierigkeiten prinzipieller Art. Die Bewertung des Zustandes nach der Saprobie ist in erster Linie durch die Auswirkungen der Belastung mit biologisch abbaubaren organischen Substanzen auf den Sauerstoffhaushalt begründet. Gerade dieser Zusammenhang ist aber in den eutrophierten und planktondominierten Gewässern in mehrfacher Hinsicht von anderen, darunter auch gegenläufigen Prozessen überlagert. Von diesen sind besonders folgende von Bedeutung:

- Beim mikrobiellen Abbau organischer Inhaltsstoffe aus punktförmigen Einleitungen und durch flächen-

haften Eintrag (Primärbelastungen) entsteht ein Sauerstoffverbrauch, der vom Angebot im Gewässer zehrt.

- Gleichermaßen zehren vom Sauerstoffangebot des Wasserkörpers die Atmung der im Wasser lebenden Organismen und die mikrobielle Oxydation der Ammoniumverbindungen.
- Durch die photosynthetische Produktion pflanzlicher Biomasse wird Sauerstoff freigesetzt, der bilanzverbessernd wirkt. Da im Unterschied zu den sauerstoffzehrenden Prozessen eine Abhängigkeit vom Lichtangebot besteht, treten sowohl tageszeitliche wie auch längerfristige, vornehmlich witterungsbedingte Schwankungen auf (siehe Abb. 8). Dabei können sowohl positive Bilanzauswirkungen (Übersättigungen), wie auch defizitäre Situationen auftreten. Die Amplitude der tageszeitlichen Schwankungen sowie die oberen und unteren Extremwerte sind dabei als Kriterien für eine Bewertung anwendbar.
- Insbesondere beim Witterungswechsel von langanhaltendem sonnenscheinreichen Wetter zu Schlechtwetterzeiträumen, wird durch absterbende Algenbiomasse ein zusätzliches Angebot an mikrobiell abbaubarer organischer Substanz geschaffen und bilanzwirksam (Sekundärbelastung). Deshalb ist der Gehalt an Biomasse gleichermaßen als Kriterium für eine Bewertung geeignet.
- Eine weitere nachteilige Wirkung der Eutrophierung auf den Sauerstoffhaushalt wird durch die Lichtabschirmung bei massenhaftem Vorkommen von planktischen Algen (Wasserblüten) verursacht. Dadurch verkleinert sich die Zone, in der eine Sauerstoffproduktion stattfindet, und der Bereich, in dem sauerstoffzehrende Prozesse dominieren, wird größer.

Da Gewässer wie die Havel gegenüber typischen Fließgewässern in vielfacher Hinsicht grundlegend unterschiedliche Lebensräume sind, unterscheiden sie sich auch in ihrem Artenbestand. Die für typische Fließgewässer ausgewiesenen Indikatorarten kommen nur selten auch in rückgestauten Fließgewässern vor, wobei vor allem Arten mit einem großen Indikationsgewicht fehlen.

Erfahrungen mit der Klassifizierung dieser Gewässer nach einer anderen Methodik zur Güteklassifizierung [8] ergeben Ansatzpunkte für eine Bewertung. Sie haben sich bei langjähriger Anwendung für die Klassifizierung Gewässergüte der Havel und gleichartiger Gewässer in Brandenburg als gute Arbeitsgrundlage bewährt, sind aber nicht für andere Gewässer schematisch zu übernehmen, da im Geltungsbereich der jetzigen Gütekarte größere regionale Unterschiede zu beachten sind. Es muß aber angestrebt werden, daß Güteklassen sowohl für die bundesweite Darstellung, wie auch für eine landesweite Übersicht gelten.

Hierfür bietet die textliche Beschreibung der Güteklassen, wie sie in der Richtlinie der LAWA enthalten sind, eine Möglichkeit.

Diese ist für den Fachmann aussagefähig genug, um analoge Charakterisierungen der Güteklassen für planktondominierte Gewässer, wie die Havel zu geben.

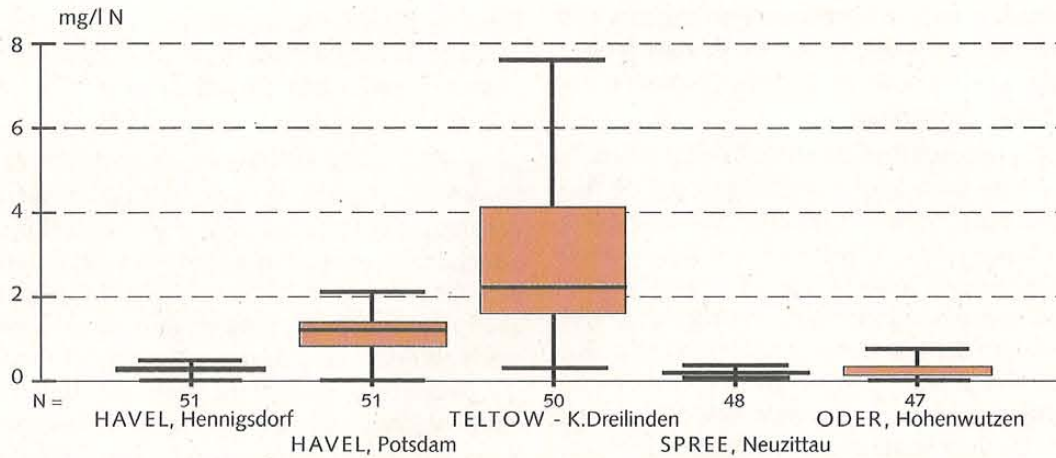
Ausgehend von der Definition der Gütekarte der LAWA als „Saprobiekarte“ sind die Auswirkungen der Belastung mit organischen Inhaltsstoffen auf den Sauerstoffhaushalt das entscheidende Kriterium für eine Bewertung. Nach den soeben skizzierten tageszeitlichen und längerfristigen Überlagerungen sauerstoffzehrender und sauerstoffliefernder Prozesse ist die Bedeutung stichprobenhaft ermittelter Einzelwerte relativ gering. Die ökologische Bewertung muß von den Wirkungen und nicht von Gehalten oder Frachten ausgehen. Damit ist gesagt, daß hier notwendig pessimale Zustände und die Amplitude kurzzeitiger oder längerfristiger Änderungen durch Messungen ermittelt oder durch Hilfsgrößen eingeschätzt werden müssen. Es geht letztlich nicht um die potentielle Wirkung von Inhaltsstoffen, sondern um die tatsächlich erreichte Situation, wie sie im klassischen Fall anhand von Indikatorarten beurteilt werden kann.

Anhand einiger Untersuchungsergebnisse des Jahres 1994 sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die Auswirkungen von Belastungen mit organischen Inhaltsstoffen auf den Sauerstoffhaushalt zu bewerten. So sind die Aufzeichnungen von automatischen Meßstationen in besonderem Maße geeignet, die abgelaufenen Prozesse widerzuspiegeln. Das wird am Vergleich der Ganglinien für den Sauerstoffgehalt an zwei Meßstationen des Landesumweltamtes Brandenburg deutlich (Abb. 8). Von diesen liegt eine Station (Teltow-Kanal bei Kleinmachnow) in einem Kanalabschnitt, in den geklärte Abwässer mehrerer Großkläranlagen eingeleitet werden und Auslässe von großstädtischen Regenwasserkanalisationen einmünden. So ist hier bei relativ geringen tageszeitlichen Unterschieden ein überwiegend niedrigeres Niveau im Sauerstoffgehalt zu verzeichnen. Demgegenüber ist die zweite hier betrachtete Meßstation durch wesentlich höhere tägliche Amplituden des Sauerstoffgehaltes gekennzeichnet, da diese Station in einem seenartigen Abschnitt der Potsdamer Havel mit höherer Planktondominanz und geringerem unmittelbarem Einfluß von Abwassereinleitungen liegt.

Dennoch gibt es in der zweiten Dekade des August eine Situation, bei der in beiden Meßstationen ein gleichniedriges Sauerstoffniveau gemessen wurde. Da dieser Zeitraum mit einem Schlechtwetterzeitraum zusammenfällt, wirken sich hier die absterbende Biomasse und die verminderte photosynthetische Sauerstoffproduktion niveausenkend aus. So wird trotz unterschiedlicher Einflußbedingungen in

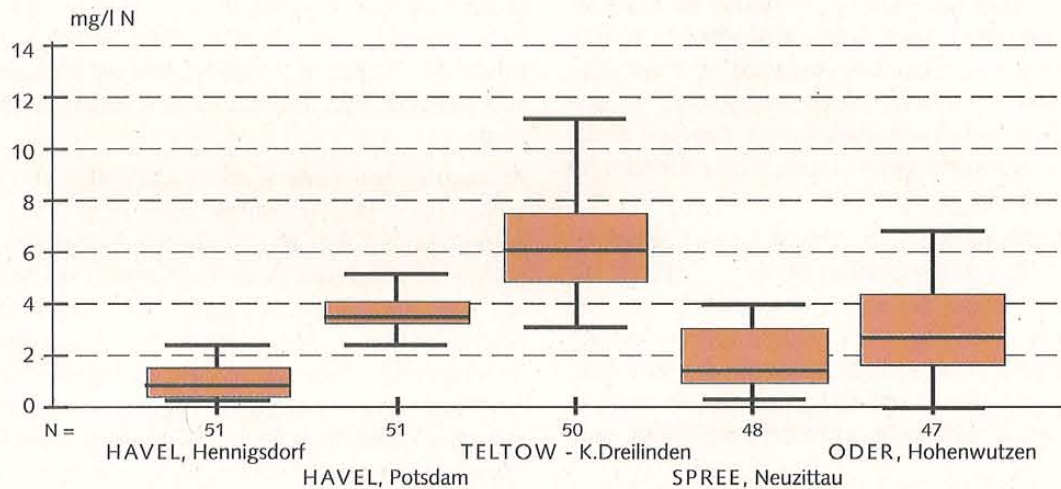
Ammoniumstickstoff-Gehalte ausgewählter Meßstellen 1994

(25-, 50- und 75-Perzentil sowie Extremwerte ohne Ausreißer)



anorganisch geb. Stickstoff ausgewählter Meßstellen 1994

(25-, 50- und 75-Perzentil sowie Extremwerte ohne Ausreißer)



Gesamtposphorgehalt ausgewählter Meßstellen 1994

(25-, 50- und 75-Perzentil sowie Extremwerte ohne Ausreißer)

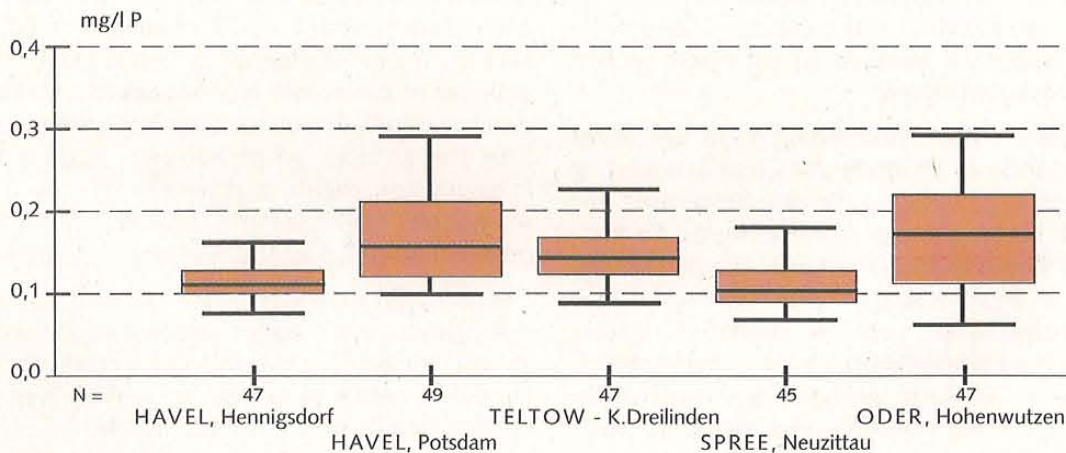


Abb. 1: Verteilung der Meßwerte einiger Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit an ausgewählten Meßstellen

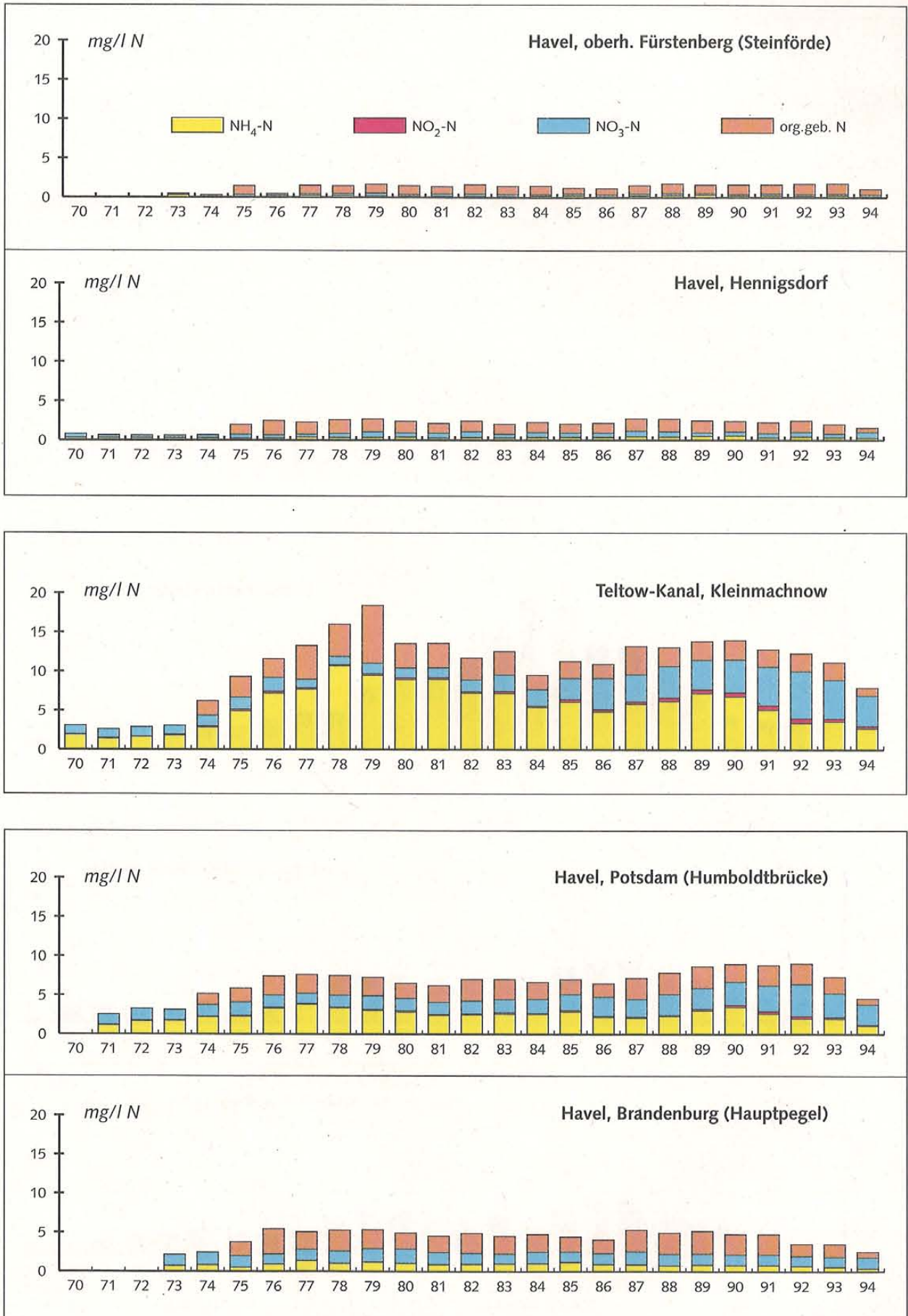


Abb. 2: Jahresmittelwerte der Stickstoffgehalte an ausgewählten Meßstellen (org. N ab 1974 bzw. 1975)

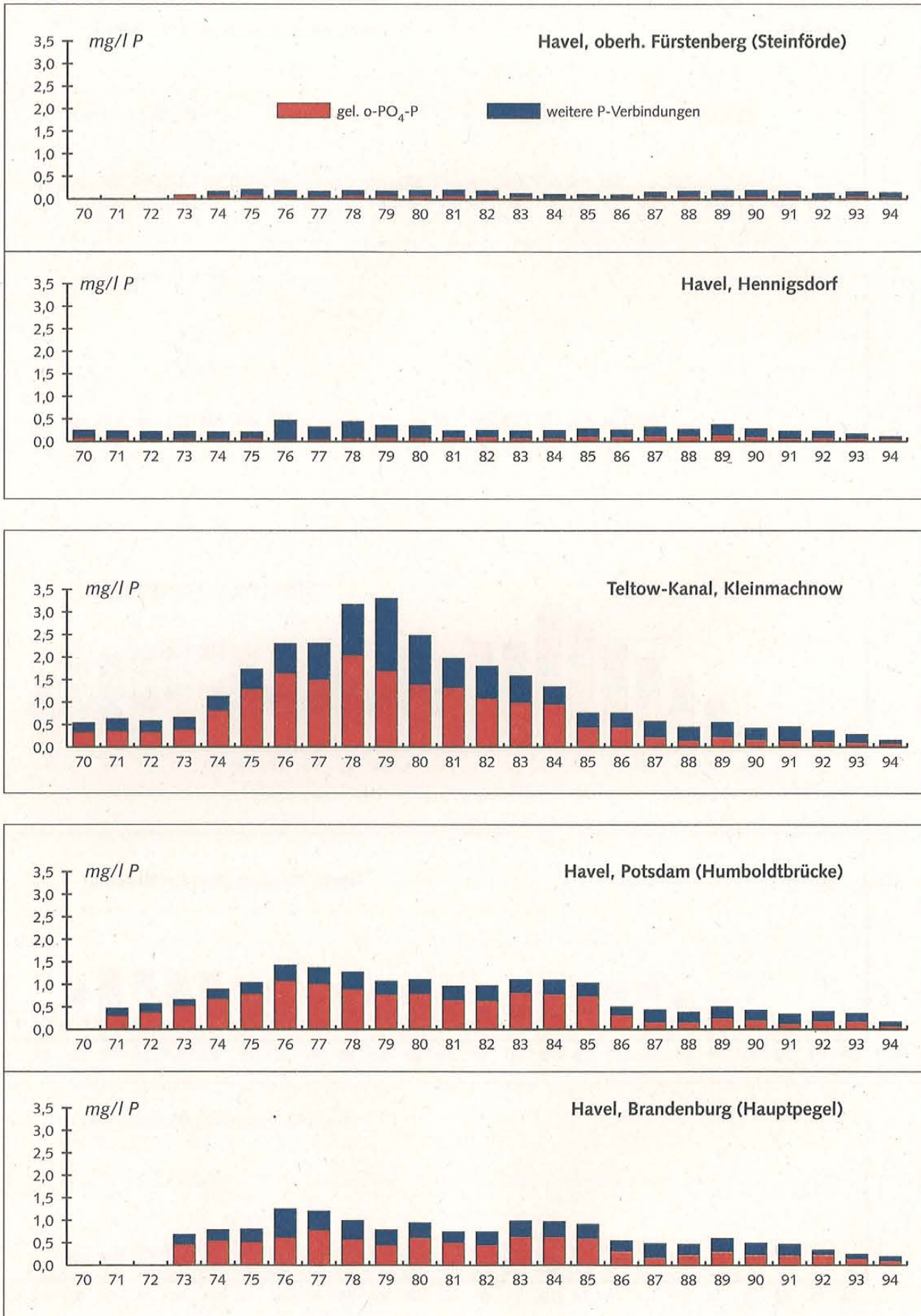
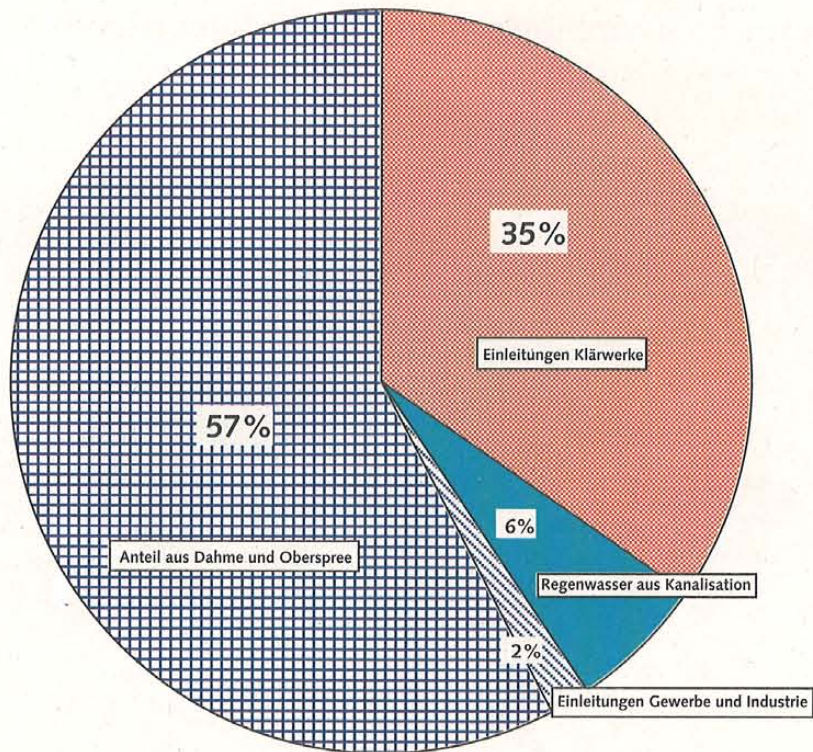


Abb. 3: Jahresmittelwerte der Phosphorgehalte an ausgewählten Meßstellen



Quelle: Sen Stadt Um Berlin, 1986: Der Teltowkanal, Besondere Mitteilungen zum Gewässerkundlichen Jahresbericht des Landes Berlin, S. 53

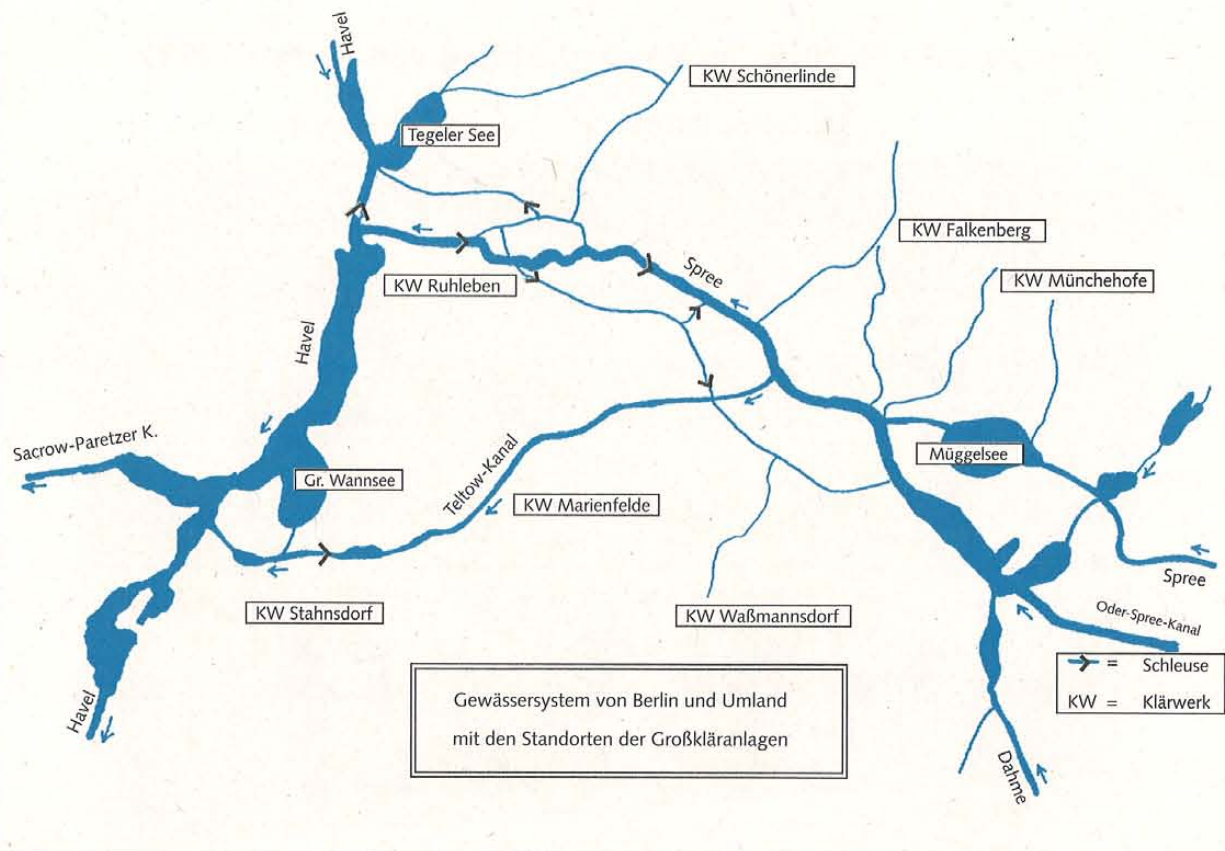
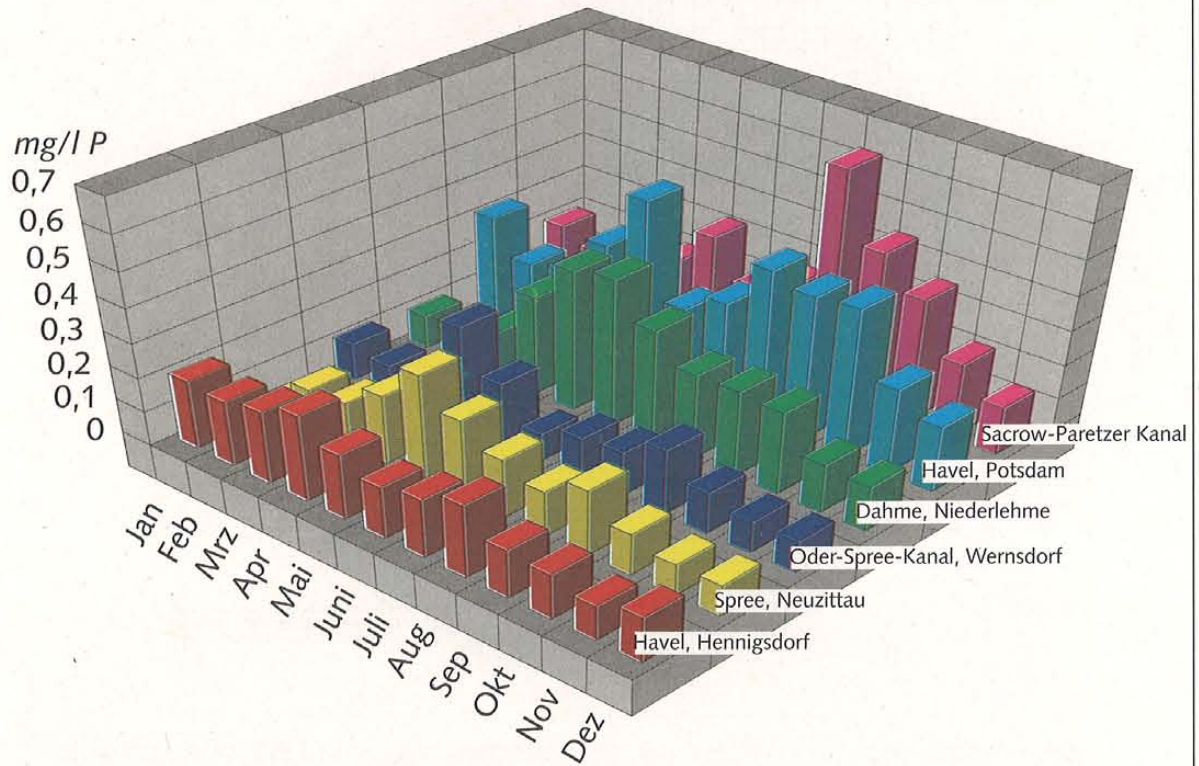


Abb. 4: Anteile der jährlichen Einleitungsmengen, bezogen auf die Jahresabflußsumme des Teltow-Kanals an der Nathanbrücke (oberhalb Griebnitz-See) und Standorte der Großkläranlagen

Gesamt - P - Konzentration im Monatsdurchschnitt (1993)



Gesamt - P - Frachten im Zu- und Abfluß von Berlin (1993)

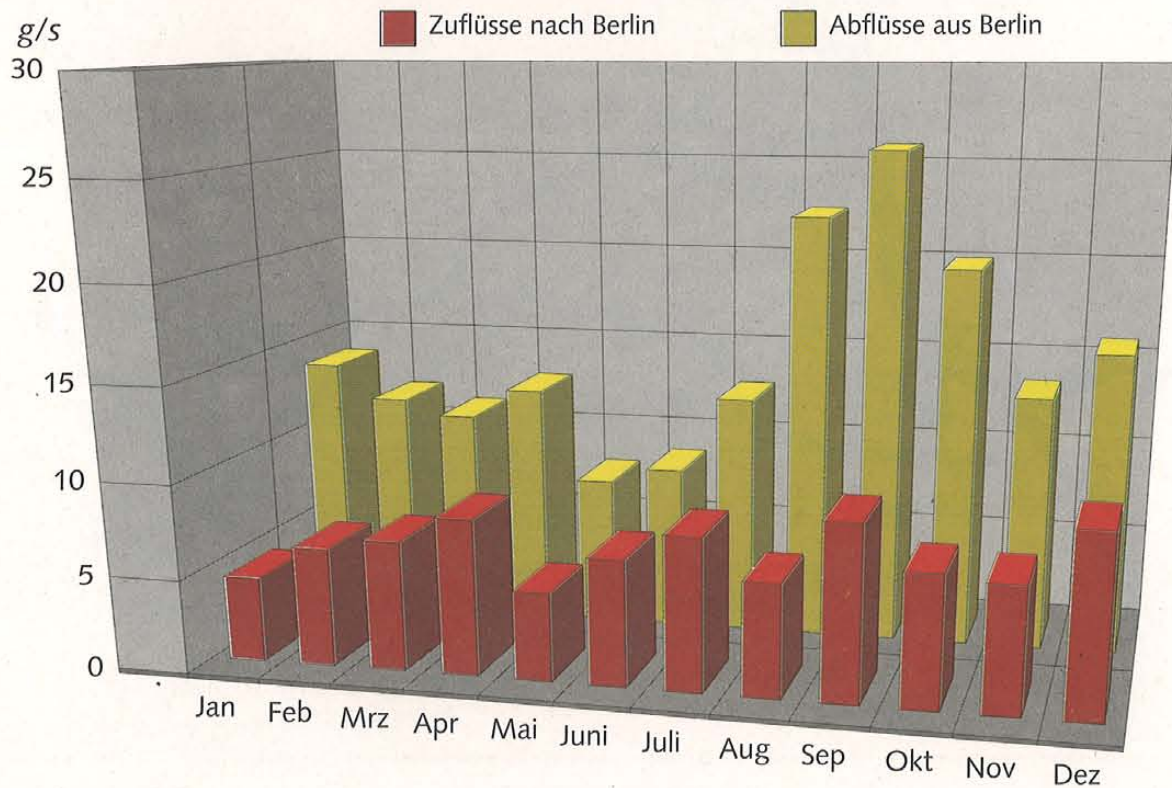


Abb. 5: Gesamt-P-Konzentration und -Frachten im Zu- und Abfluß von Berlin

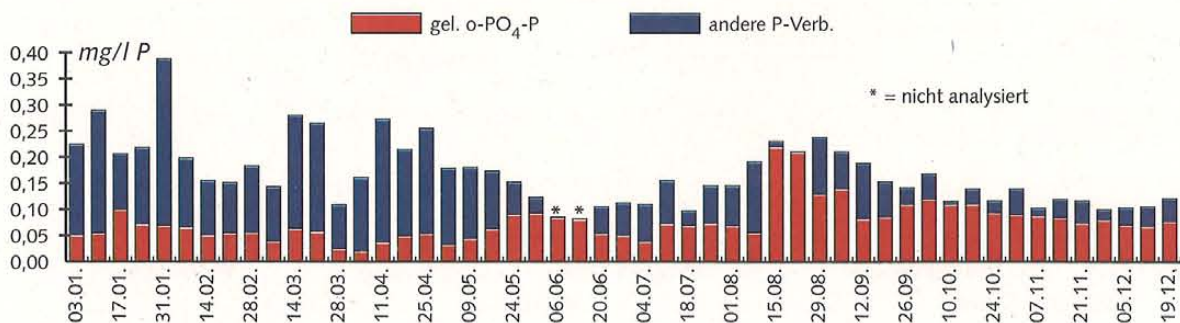
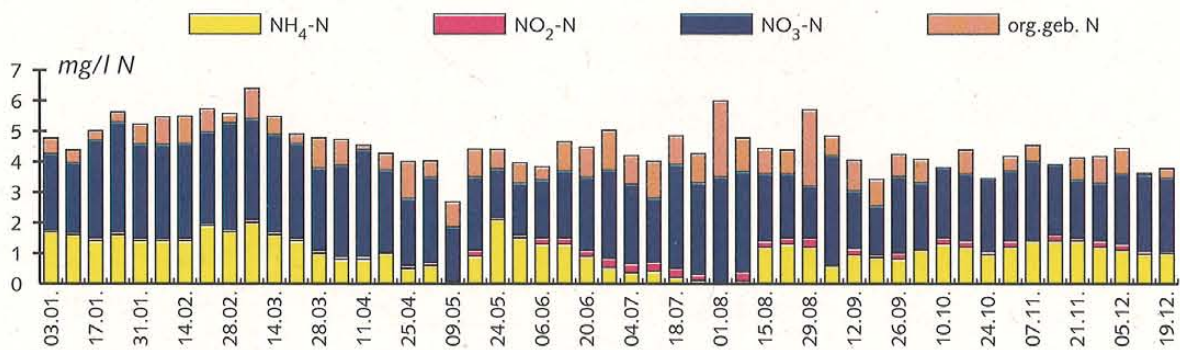
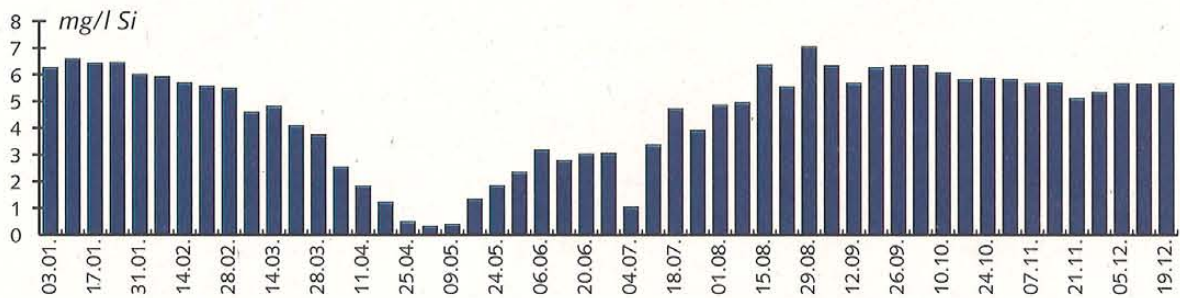
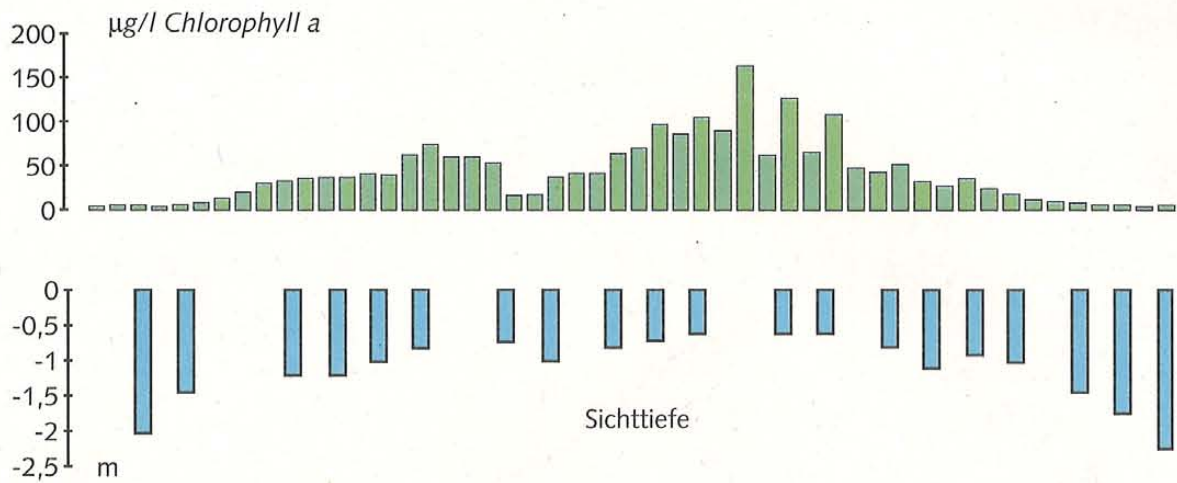


Abb. 6: Jahresganglinien ausgewählter Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit der Havel in Potsdam (Humboldtbrücke) im Jahre 1994

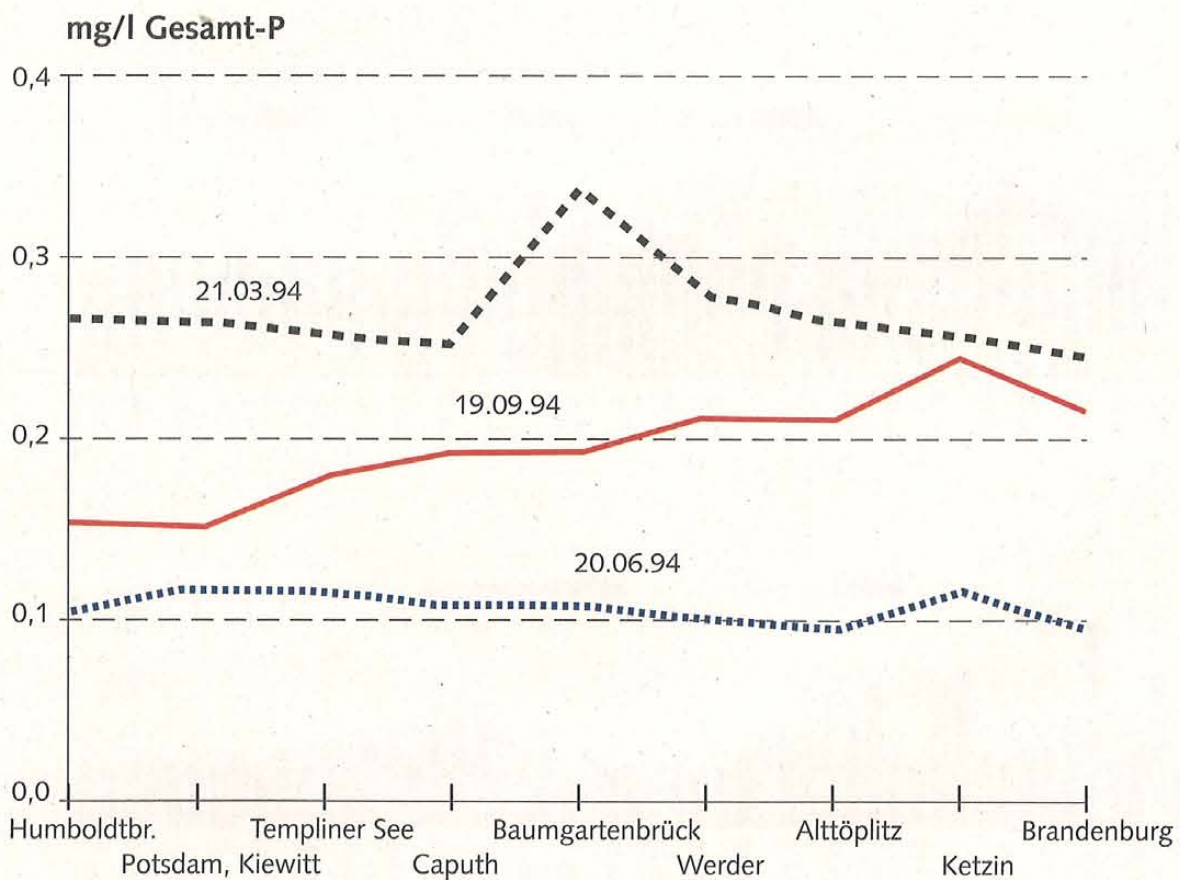
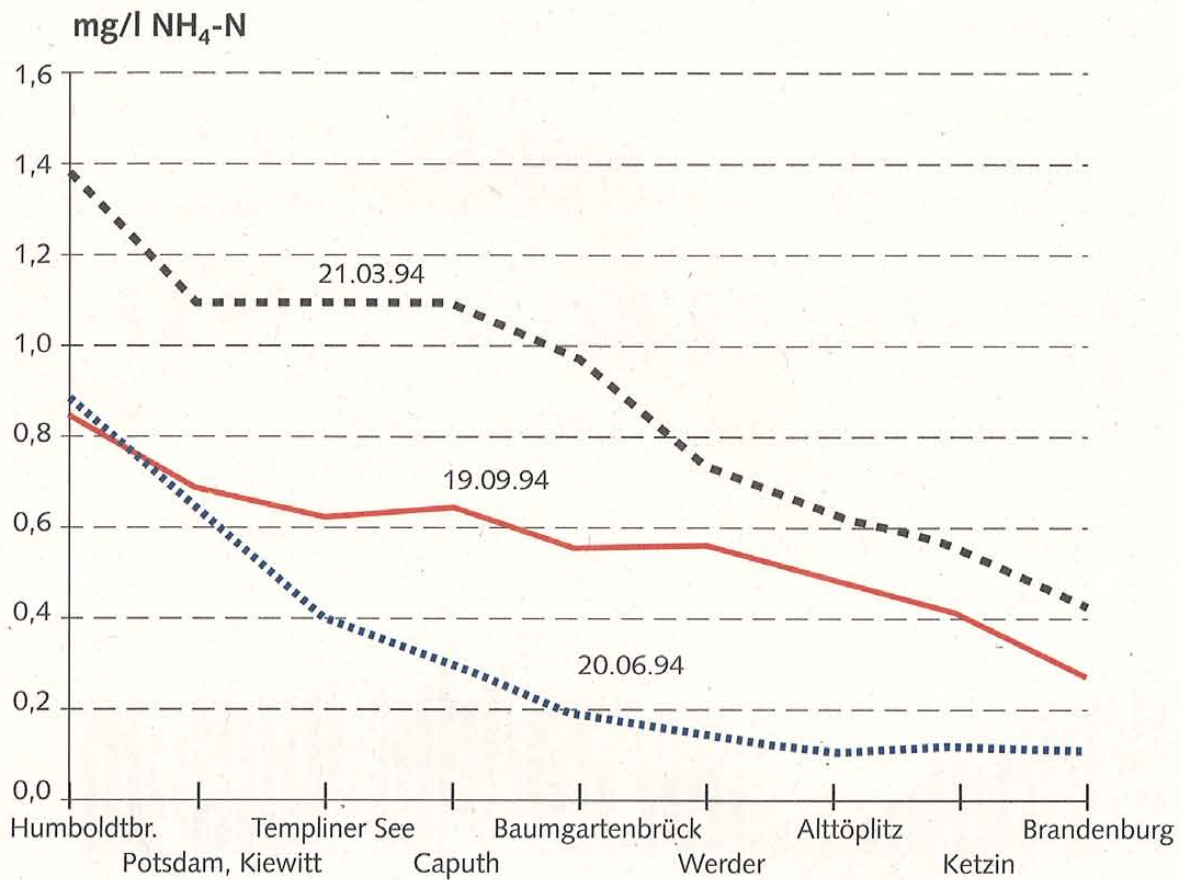


Abb. 7: Längsschnitte für die Gehalte an Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphat-Phosphor (ausgewählte Beispiele 1994)

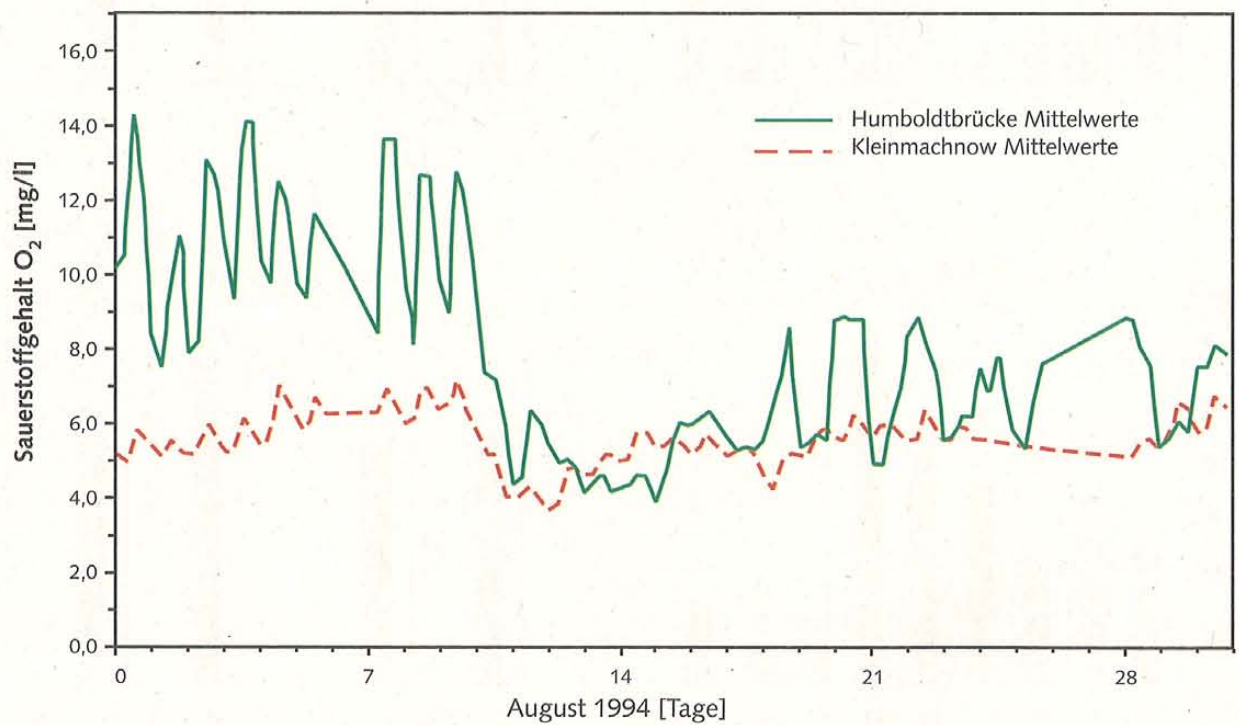
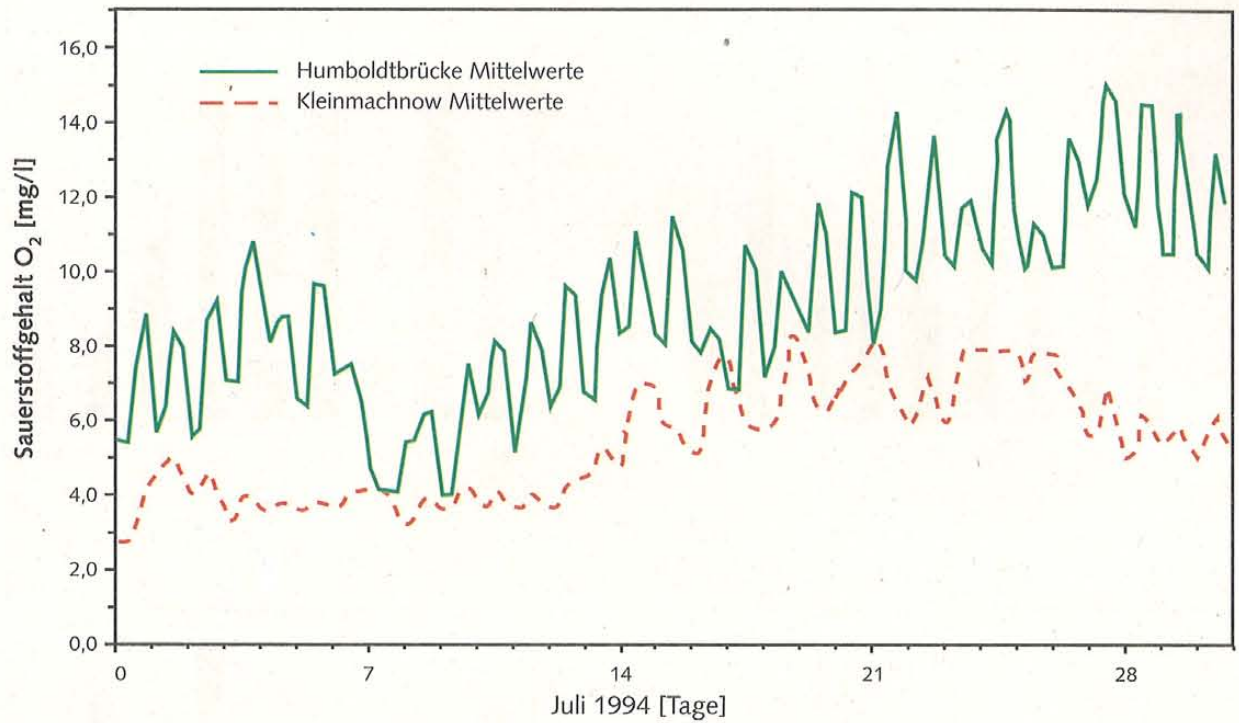


Abb. 8: Untersuchungsergebnisse aus dem Landesmeßnetz automatischer Gewässergütemeßstationen - Vergleich der Ganglinien (6-h-Mittelwerte) für den Sauerstoffgehalt an zwei Meßstationen

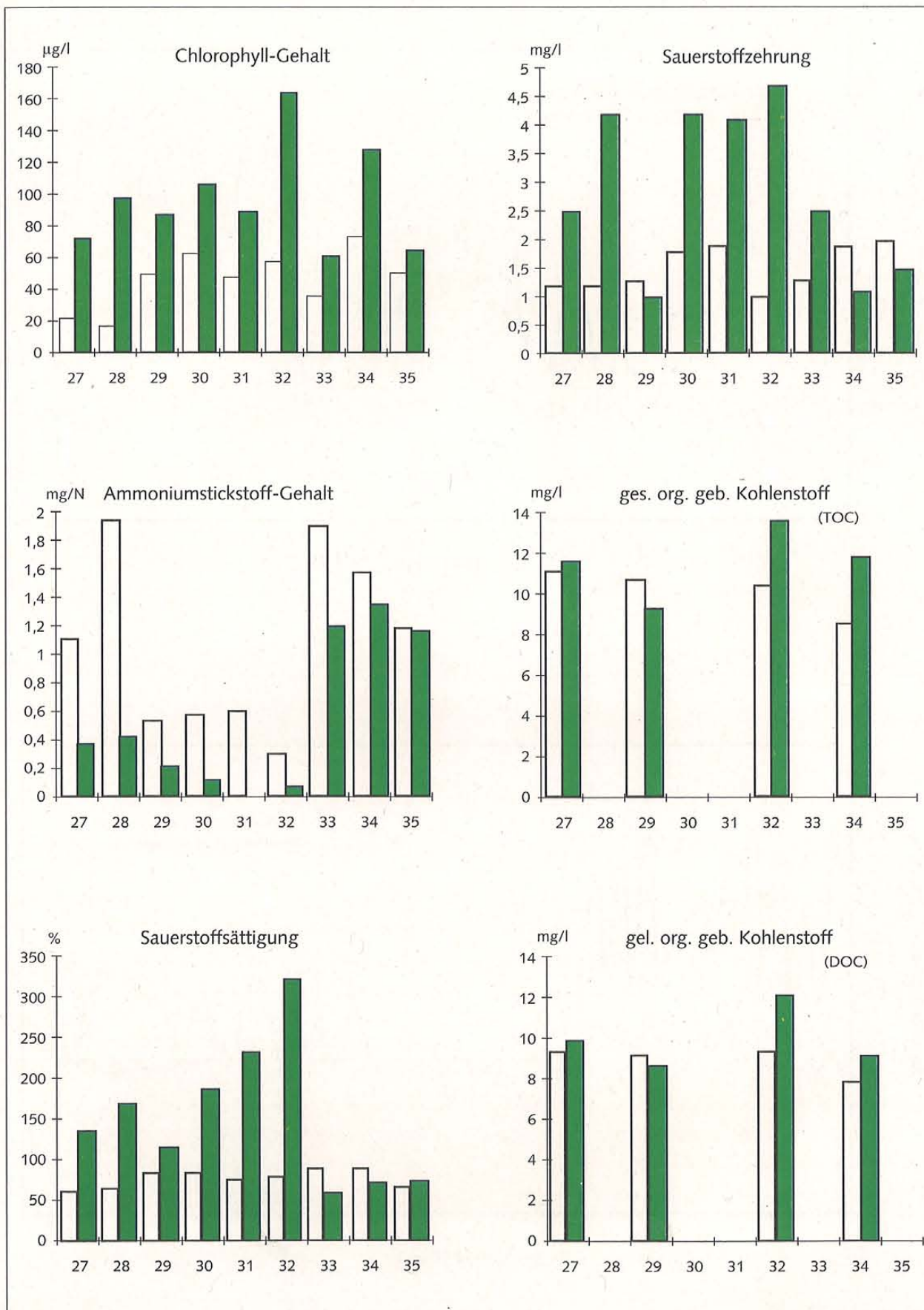


Abb. 9: Ausgewählte Untersuchungsergebnisse von den Meßstellen „Teltow-Kanal bei Kleinmachnow“ (linke Säulen □) und „Havel, Potsdam/Humboldtbrücke“ (rechte Säulen ■) im Juli 1994 (27.-30. Woche) und im August 1994 (31.-35. Woche)

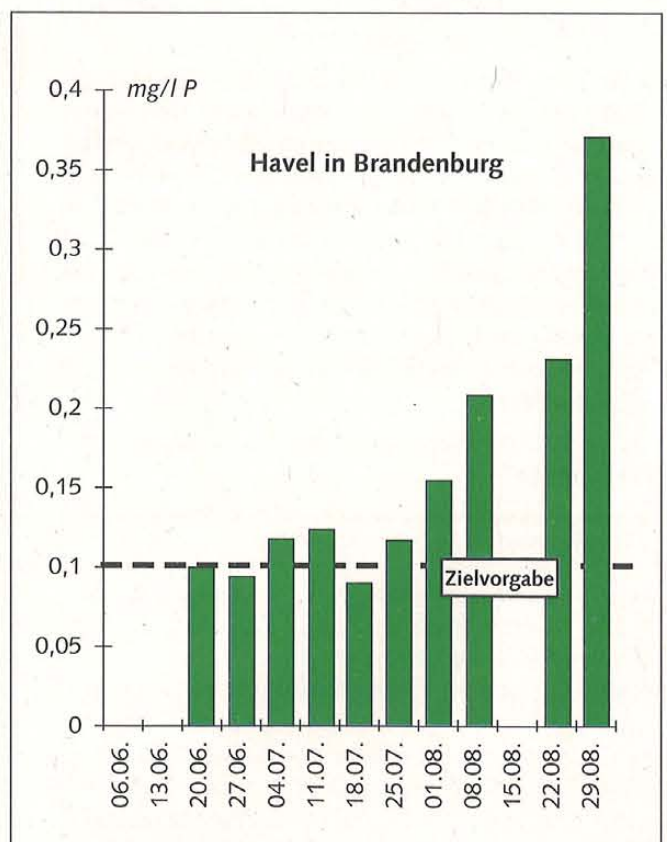
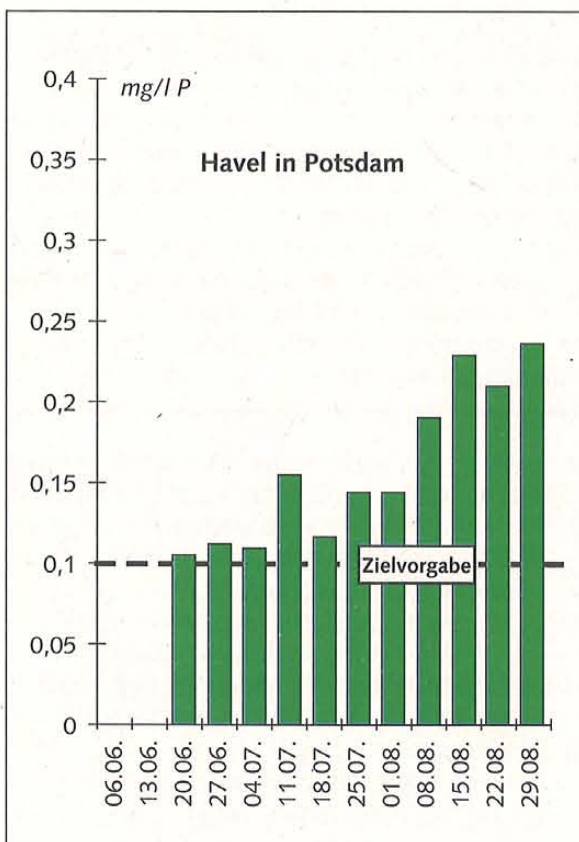
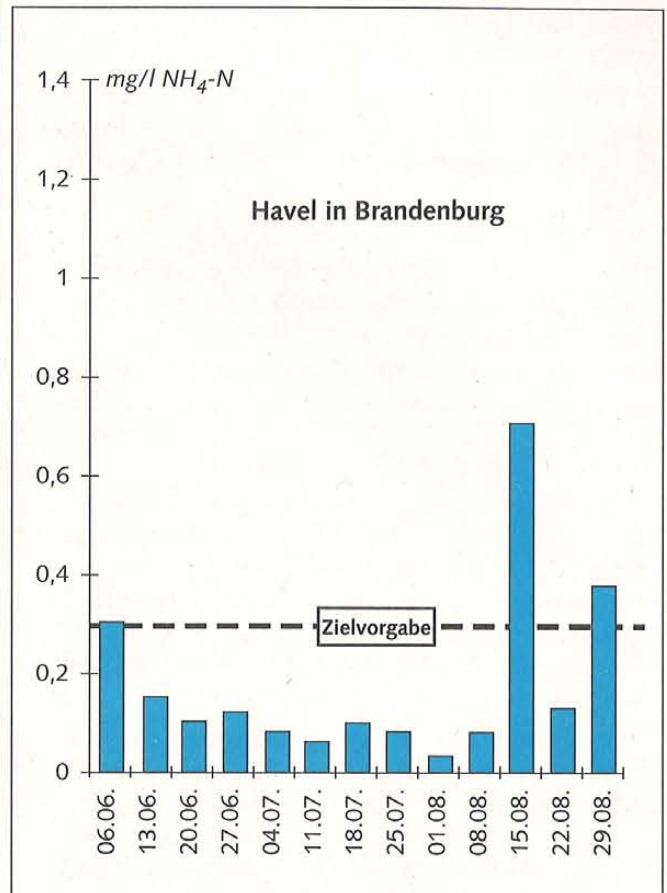
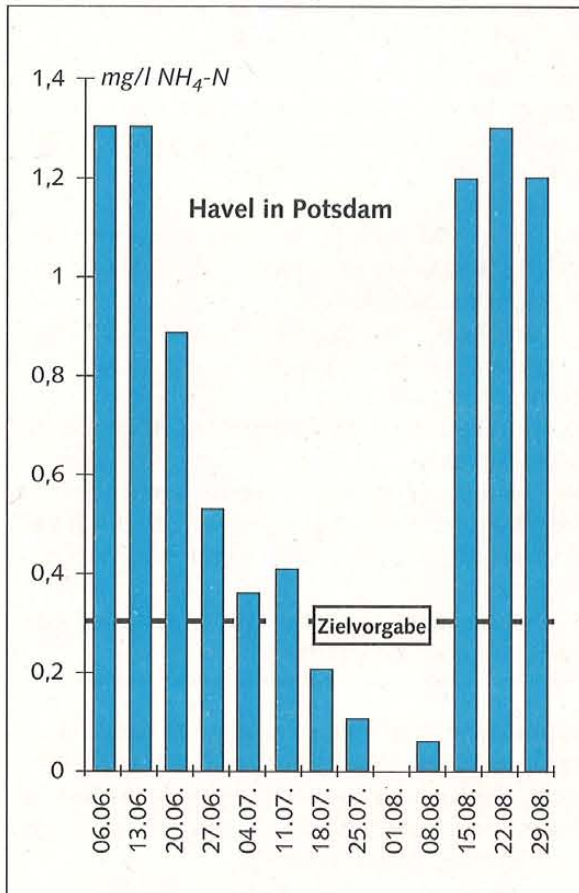


Abb. 10: Meßwerte im Vergleich zu den Zielvorgaben für Ammoniumstickstoff und Gesamtphosphor (Sommerwerte 1994)

diesem Zeitraum eine Situation im Sauerstoffhaushalt erreicht, die gleichermaßen kritisch ist.

Bewertet man mit diesem Hintergrund die Untersuchungsergebnisse der wöchentlich entnommenen Stichproben (Abb. 9), so sind zumindest folgende Auffälligkeiten hervorzuheben:

- Der unterschiedlich hohe Chlorophyllgehalt kennzeichnet das unterschiedliche Niveau der Sekundärbelastung mit organischer Substanz, die beim mikrobiellen Abbau zu einer Sauerstoffzehrung führt.
- Der Ammoniumstickstoff-Gehalt kann zur Abschätzung der zusätzlichen Sauerstoffzehrung durch den bei der mikrobiellen Nitrifikation entstehenden Sauerstoffverbrauch herangezogen werden.
- Die Sauerstoffsättigung gibt einen stichprobenhaften Einblick in die Dynamik des Sauerstoffhaushaltes an den betrachteten Meßstellen mit einer Einschätzung, wie sie detaillierter, aber mit prinzipiell gleicher Aussage aus den Aufzeichnungen der automatischen Meßstationen hergeleitet werden kann.

Somit ergeben sich in regional vergleichbaren Gewässerabschnitten ausreichend Möglichkeiten, die Einordnung in die Gewässergüteklasse zu begründen, auch wenn keine kontinuierliche Registrierung von Beschaffenheitsdaten erfolgt. Voraussetzung ist aber, daß ausreichend Stichproben analysiert und bei Entscheidungsbedarf extreme Gewässersituationen mit Untersuchungen belegt werden.

In der Zuarbeit zur Gewässergütekarte der Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland, deren Herausgabe von der LAWA gegenwärtig vorbereitet wird, sind bei der Havel von insgesamt 259 km Fließstrecke 41 km (die Havel von Potsdam bis Ketzin) in die Güteklasse III (stark verschmutzt) eingeordnet worden. Der gleichen Güteklasse wurden auch der Sacrow-Paretzer Kanal sowie der untere Abschnitt des Havel-Kanals zugeordnet. Die anderen 218 km des Havellaufs befinden sich in der Güteklasse II - III (kritisch belastet).

Für diese Güteklassen gilt folgende textliche Kurzcharakteristik:

Güteklasse III (stark verschmutzt)

Algenmassenentwicklungen verursachen eine extreme Tag-Nacht-Dynamik des Sauerstoffgehaltes mit Amplituden bis zu 12 mg/l.

Dabei überwiegen durch einleitungsbedingte organische Belastungen sowie bei ungünstigen meteorologischen oder hydrologischen Lagen ständig oder über einen längeren Zeitraum sauerstoffzehrende Prozesse. Der Sauerstoffhaushalt ist deshalb insgesamt defizitär und die Gehalte können bis zum Schwund zurückgehen.

Die hohen Gehalte an Ammoniumstickstoff verstärken die nachteiligen Auswirkungen.

Güteklasse II - III (kritisch belastet)

Diese Gewässer weisen eine hohe biomassenabhängige Sekundärbelastung auf, die durch einleitungsbedingte organische Belastungen verstärkt werden kann.

Die Eintrübungen schränken die Ausbreitung von submersen Makrophyten ein bzw. schließen diese aus. Die Sichttiefen entsprechen nicht den Anforderungen an Badegewässer.

Die Amplituden der Tag-Nacht-Gänge des Sauerstoffgehaltes liegen zwischen 4 und 8 mg/l, die Minima nicht unter 2 mg/l.

Fischsterben infolge Sauerstoffmangels sind nicht ausgeschlossen.

Die Ammoniumstickstoff-Werte erreichen oft 1 mg/l N und sind wegen photosynthetisch bedingten höheren pH-Werten ökotoxilogisch bedenklich.

Der Nitrifikations-Sauerstoffbedarf belastet den Sauerstoffgehalt zusätzlich.

Diesen beiden Güteklassen wird zum Vergleich die Charakteristik der Gewässergüteklasse II gegenübergestellt, die auch im Land Brandenburg in allen Gewässern angestrebt wird, die gegenwärtig eine schlechtere Güteklasse aufweisen.

Güteklasse II (mäßig belastet)

Diese Gewässer sind durch geringe einleitungsbedingte organische Belastungen gekennzeichnet. Die Sichttiefen lassen bei entsprechenden Standortbedingungen eine Besiedlung durch submerse Makrophyten zu und sind für eine Nutzung als Badegewässer ausreichend.

Die Schwankungsbreite der Tag-Nacht-Gänge des Sauerstoffgehaltes ist geringer als 4 mg/l, wobei die Minima nicht unter 4 mg/l liegen.

Die Ammoniumstickstoff-Gehalte sind nicht größer als 0,3 mg/l N.

Trotz weiter zurückgehender Nährstoffbelastung sind in der Havel unterhalb Berlins seit 1990 keine klassenüberschreitenden Verbesserungen eingetreten. Die derzeitige Gütesituation in der Havel ist vor allem dadurch gekennzeichnet, daß Gewässerabschnitte im unteren (schlechteren) Bereich der Güteklasse II - III fast die Klasse III erreichen und in den Gewässerabschnitten mit Güteklasse III eine Annäherung an die Güteklasse II - III erfolgte. Dadurch sind hier die Unterschiede beider Klassen häufig relativ gering im Verhältnis zum großen Abstand, den beide zur angestrebten Güteklasse II haben.

Da der Gütezustand der Havel, wie bereits ausgeführt, entscheidend durch Eutrophierung beeinflusst wird, verdienen Klassifikationsverfahren, die diesen Gesichtspunkt zur methodischen Grundlage nehmen,

eine besondere Aufmerksamkeit. Sie sind in die Klassifikation nach TGL 22764 [8] einbezogen, bei der bei der Bewertung nach organischer Belastung und Sauerstoffhaushalt zwischen typischen Fließgewässern und solchen unterschieden wird, die rückgestaut sowie durch Phytoplankton beeinflusst sind. In einer aktuellen Studie zur „Ableitung einer Klassifikation für die Gewässergüte im Berliner Raum“ [9] bildet der Zusammenhang von Phosphatbelastung und Chlorophyllgehalt den grundlegenden Ansatzpunkt für eine Klassifizierung. Hier wird ein Schwerpunkt künftiger Arbeit gesehen, wobei insbesondere die Ergebnisse einer überregionalen Erprobung von Interesse sind. Da diese noch weitgehend ausstehen, ist gegenwärtig noch nicht abzusehen, ob sich daraus ein bundesweit anwendbares Klassifizierungssystem herleiten läßt.

4.2 Zielvorgaben

Bei der Arbeit an Zielvorgaben für bestimmte Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit wurde von den grundsätzlichen inhaltlichen Bestimmungen ausgegangen, die vom Bundes-/Länder-Arbeitskreis „Qualitätsziele“ (BLAK QZ) in der von den Umweltministern von Bund und Ländern unterstützten Konzeption [10] vorgenommen wurden.

Danach sind Zielvorgaben „fachlich begründete und auf die allgemeinen Vorgaben des Programms 'LAWA 2000' gestützte Bewertungsmaßstäbe. Sie dienen dazu, die Maßnahmen der Emissionsverminderung sowie weitere Maßnahmen und die dadurch erreichte Entlastung oberirdischer Binnengewässer im Hinblick auf die Schutzgüter zu beurteilen... Zielvorgaben sind nicht mit Qualitätszielen, bei denen es sich um rechtlich verbindliche Grenz- und Richtwerte handelt, gleichzusetzen.“ [a.a.O., S.7]

Aus dieser grundsätzlichen Bestimmung werden folgende weitere Feststellungen abgeleitet:

Zielvorgaben

- sind konkrete, meist zahlenmäßig festgelegte Orientierungswerte, die zur Bewertung eines Gewässerzustandes für bestimmte Schutzgüter (aquatische Lebensgemeinschaften, Berufs- und Sportfischerei, Schwebstoffe und Sedimente, Trinkwasserversorgung u.a.) herangezogen werden,
- sind keine Grenzwerte, bei deren Überschreitung zwingend Maßnahmen zu ihrer Einhaltung durchzuführen sind,
- stützen sich vornehmlich auf Wirkungswerte, aber auch auf in entsprechenden Verordnungen vorgegebene Grenz- und Richtwerte (z.B. in der Trinkwasser-VO),
- dienen als Grundlage, um beim Vergleich mit der aktuellen Belastungssituation zu prüfen, welche weiteren Maßnahmen in welcher zeitlichen Abfolge durchzuführen sind,

- dürfen nicht als Grundlage für verringerte Anforderungen nach dem Emissionsprinzip verwendet werden (Verschlechterungsverbot).

Der genannte Bund-/Länder-Arbeitskreis hat vornehmlich Zielvorgaben für gefährliche Stoffe abgeleitet. Darauf soll hier aber wegen der anderen Themenstellung nicht eingegangen werden.

Analog zu den Zielvorgaben für gefährliche Stoffe wurden aber auch hinsichtlich der Wirkung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen in Fließgewässern Arbeiten durchgeführt, die nach dem gleichen methodischen Prinzip bis zum Vorschlag von Zielvorgaben für definierte Schutzgüter entwickelt wurden. Die vom Hauptausschuß „Phosphate und Gewässer“ der Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker im Auftrag des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes erarbeitete Studie [11] stellt die gegenwärtig allgemein anerkannte Arbeitsgrundlage für diesbezügliche Betrachtungen dar. Sie war auch maßgeblicher Ausgangspunkt für entsprechende Zielvorstellungen für Gewässer im Land Brandenburg, wie sie von einer Arbeitsgruppe des Landesumweltamtes aus Vertretern der Abteilungen Hauptlabor sowie Gewässerschutz und Wasserwirtschaft im Entwurf vorgelegt wurden.

Betrachten wir in diesem Zusammenhang, welche Bewertungen die „Nährstoff-Studie“ zuläßt, so wird am Beispiel der Havel deutlich, wie groß der Abstand von Zustand und Ziel trotz günstiger Entwicklungen bei der Phosphatreduzierung noch ist (Abb.10). Das betrifft auch die direkten Wirkungen, die vom Ammonium-Gehalt ausgehen.

Aus dem eben dargelegten Sachverhalt ergeben sich vor allem folgende Schlußfolgerungen:

1. Trotz hoher Eliminierungsleistungen in den Kläranlagen sind die verfügbaren Phosphate in der Havel unterhalb Berlins immer noch ausreichend, um Algenmassenentwicklungen zuzulassen. Welchen Anteil dabei Phosphate aus anderen Quellen haben, ist gegenwärtig nicht belegt. Da insbesondere in der zweiten Sommerhälfte durch Freisetzen aus dem Sediment eine Aufstockung des Vorrats erfolgt, kann auch bei weiterer Reduzierung eingeleiteter Phosphatbelastungen nicht damit gerechnet werden, daß sich kurzfristig durchgreifende Verbesserungen für die Potsdamer Havel ergeben.
2. Um den Anteil des aus den Havelsedimenten freigesetzten Phosphatanteils zu verringern und damit die Sekundärbelastung durch die übermäßig entwickelte Algenbiomasse zu begrenzen, gewinnen alle Maßnahmen an Bedeutung, die eine zusätzliche Belastung des Sauerstoffhaushaltes in kritischen Niedrigwasserzeiten vermeiden.

Dazu gehören vor allem:

- Weitere Senkung organischer Restbelastungen der Kläranlagenabläufe und Verringerung der Einträge sauerstoffzehrender Belastungen aus anderen Quellen.
- Verminderung der Ammonium-Konzentrationen im Gewässer und damit des Nitrifikations-sauerstoff-Bedarfs.

Das Ziel dieser Maßnahmen besteht darin, durch Stabilisierung des Sauerstoffhaushaltes die Bereiche und Zeiträume für Phosphatfreisetzungen aus dem Sediment zu begrenzen und damit das für eine Limitierung des Algenwachstums notwendig niedrige Niveau zu erreichen. In Anbetracht der aus derzeitiger Sicht begrenzten weiteren Entlastungspotentiale wird hier eine Möglichkeit gesehen, um sich den Zielvorgaben für die eutrophie-rungs begünstigenden Einflußgrößen zu nähern.

Diese Schlußfolgerungen werden auch durch die Ergebnisse einer kürzlich im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz von Berlin in Berliner Gewässern durchgeführten Untersuchung [12] gestützt. In diesem Bericht werden auch die Ergebnisse von mikrobiologischen und ökotoxikologischen Untersuchungen dargestellt und bewertet.

5. Zusammenfassung

Die im gesamten Lauf rückgestaute Havel mit den zahlreichen seenartigen Erweiterungen und von ihr durchflossenen Seen erfüllt in besonderem Maße die hydrographischen Voraussetzungen für wasserblütenbildende Algenmassenentwicklungen. Anhand der Entwicklung der Belastung mit Stickstoffverbindungen und Phosphaten in den zurückliegenden 25 Jahren werden Ursachen und Folgen dargestellt. Dabei werden Möglichkeiten diskutiert, wie diese Besonderheiten bei der Ermittlung von Gewässergüteklassen bzw. bei der Ableitung von Zielvorgaben für Pflanzennährstoffe berücksichtigt werden können.

Trotz erheblich verminderter Einträge über die Kläranlagenabläufe sind die aktuellen Nährstoffgehalte immer noch ausreichend, um Algenmassenentwicklungen mit ihren nachteiligen Folgen zu ermöglichen. Dabei sind auch Rücklösungen aus dem Sediment von Bedeutung.

Literatur

- [1] Kalbe, L. (1986): Hygienische Beurteilung hocheutropher Badegewässer. Z. gesamte Hyg. 32(3): 164 - 170.
- [2] NAUMANN, A. (1995): Hydrographische und hydrologische Charakteristik (in dieser Broschüre S.11 ff).
- [3] Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz (1986): Der Teltowkanal. Bes. Mittlg. zum Gewässerkdl. Jahresbericht des Landes Berlin.

- [4] HÖHNE, L. (1995): Entwicklung der Eutrophierung von Spree und Havel im Zeitraum 1995 - 1990 (in dieser Broschüre S.33 ff).
- [5] ROHDE, E. (1995): Zur Problematik der Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten der Potsdamer Havelseen (in dieser Broschüre S.57 ff).
- [6] SCHETTLER, G. (1995): Die Sedimente der Havelseen und ihre jahreszeitliche Dynamik (in dieser Broschüre S.47 ff).
- [7] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1991): Die Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland 1990.
- [8] TGL 22764 (1981): Klassifizierung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern, Staatsverlag der DDR.
- [9] BEHRENDT, H. und OPITZ, D. (1995): Ableitung einer Klassifikation für die Gewässergüte von planktondominierten Fließgewässern und Flußseen im Berliner Raum. Abschlußbericht einer im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz erarbeiteten Studie (Berlin, 10.4.1995).
- [10] Bund-/Länder-Arbeitskreis „Qualitätsziele“: Konzeption zur Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Gewässer vor gefährlichen Stoffen, LAWA (6.5.1993).
- [11] HAMM, A. (Hrsg.) (1991): Studie über die Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern, Academia-Verlag Sankt Augustin, 1. Aufl.
- [12] HANSEN, P.-D. (1995): Auswirkungen der Belastung des Teltowkanals auf die Havelseenkette im Hinblick auf Eutrophierung und Nutzung als Badegewässer. Bericht über eine im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz von Berlin gefertigten Studie.

Abbildungsverzeichnis

- Abb.1:
Verteilung der Meßwerte einiger Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit an ausgewählten Meßstellen
- Abb. 2:
Jahresmittelwerte der Stickstoffgehalte an ausgewählten Meßstellen
- Abb. 3:
Jahresmittelwerte der Phosphatgehalte an ausgewählten Meßstellen
- Abb. 4:
Anteile der jährlichen Einleitungsmengen, bezogen auf die Jahresabflußsumme des Teltow-Kanals an der Nathanbrücke (oberh. Griebnitzsee) und Standorte der Großkläranlagen
- Abb. 5:
Gesamt-P-Konzentrationen und -Frachten im Zu- und Abfluß von Berlin
- Abb. 6:
Jahresganglinien ausgewählter Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit der Havel in Potsdam (Humboldtbrücke) im Jahre 1994
- Abb. 7:
Längsschnitte für die Gehalte an Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphat-Phosphor (ausgewählte Beispiele 1994)
- Abb. 8:
Untersuchungsergebnisse aus dem Landesmeßnetz automatischer Gewässergütemeßstationen - Vergleich der Ganglinien (6-h-Mittel) für den Sauerstoffgehalt an zwei Meßstationen
- Abb. 9:
Ausgewählte Untersuchungsergebnisse von den Meßstellen „Teltow-Kanal bei Kleinmachnow“ und „Havel, Potsdam/Humboldtbrücke“
- Abb. 10:
Meßwerte im Vergleich zu den Zielvorgaben für Ammoniumstickstoff und Gesamtphosphor

*Dr. rer. nat. Helmut Klose
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Hauptlabor
Ref. Gewässerüberwachung - Referenzlabor
Wasseranalytik*

Entwicklung der Eutrophierung von Spree und Havel im Zeitraum 1955 - 1990

Die Belastung von Oberflächengewässern mit Pflanzennährstoffen, und die hieraus resultierenden Eutrophierungserscheinungen sind neben der Belastung mit gefährlichen Stoffen (Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel, Industriechemikalien) Schwerpunkte der Gewässerüberwachung der vergangenen Dekaden.

Vorliegend dargestellt ist die Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Zeitraum 1955 - 1990 hinsichtlich der Eutrophierungserscheinungen von Spree und Havel auf Berliner Gebiet anhand einer Auswahl von Untersuchungsergebnissen¹⁾ an 6 Gewässerabschnitten. Die ausgewählten Stationen (Tab. 1) charakterisieren einerseits jeweils Spree und Havel vor ihrem Zusammenfluß, andererseits die Beschaffenheitsänderungen im Verlauf der Fließstrecke der seenartig erweiterten Unterhavel. Die Fließzeit auf der ca. 13 km langen Unterhavelstrecke von Station UH2 ⇒ UH14 beträgt bei Mittelwasser ca. 10 Tage.

Tab. 1: Kennzeichnung und Lage der betrachteten Untersuchungsstationen

Kurzbezeichnung	Lage am Gewässer
OH5	oberhalb Schleuse Spandau (Oberhavel)
SP7	Höhe Sophienwerder (Spree)
UH2	Pichelsdorfer Gemünd (kanalisierte Havel)
UH8	Höhe Grunewaldturm (Unterhavel)
UH13	oberhalb Kälberwerder (Unterhavel)
UH14	oberhalb Sacrower Fähre (Unterhavel)

Spree und Havel stellen die für Berlin wichtigsten natürlichen Wasserläufe dar. Nach einer Lauflänge von ca. 398 km, ausgehend vom Lausitzer Bergland, mündet die Spree bei Spandau in die Havel, welche bis zur Einmündung der Spree eine Lauflänge von ca. 167 km aufweist. Bei einem mittleren Abfluß der Havel von rd. 66 m³/s nach der Spreemündung beträgt der Anteil des Spreewassers am Havelabfluß mehr als 70% [1].

1. Ursachen

Verantwortlich für die fortschreitende Eutrophierung von Oberflächengewässern ist die trophische Wirkung anorganischer Phosphor- und Stickstoffverbindungen, die neben Temperatur, Globalstrahlung und Wasserführung das Algenwachstum maßgeblich steuern. Wesentlicher Faktor bei der Entwicklung der Konzentrationen von Phosphor- und Stickstoffverbindungen in Spree und Havel auf Berliner Gebiet ist

der Großraum Berlin an sich. Deutliche Anstiegsphasen der Phosphorkonzentrationen in den 60er und 70er Jahren sind sowohl Folge der Ablösung der Rieselfeldwirtschaft durch den Bau von Kläranlagen, als auch des zunehmenden Verbrauchs phosphathaltiger Wasch- und Reinigungsmittel. Im Gegenzug führten erhebliche Investitionen im Bereich der weitergehenden Abwasserreinigung, gepaart mit der Einführung phosphatfreier Wasch- und Reinigungsmittel, seit Mitte der 80er Jahre zu einem erheblichen Rückgang der Phosphorkonzentrationen in Spree und Havel.

Stellvertretend für die Entwicklung der Gesamtposphor-Konzentrationen in Oberhavel, Spree und Unterhavel sind in Abbildung 1 die Sommermittelwerte für orthophosphat-Phosphor (oPO₄-P) dargestellt. Insbesondere in Spree und Unterhavel sind deutliche Konzentrationsanstiege jeweils Anfang der 60er und 70er Jahre zu verzeichnen. In den Jahren 1983/84 setzt dann ein weitgehend kontinuierlicher Rückgang der mittleren oPO₄-P-Gehalte ein. Bedingt durch die Einführung der biologisch/chemischen Phosphat-reduktion in den Kläranlagen von Berlin kommt es ab 1986 zu einer rasanten Konzentrationsabnahme, so daß in der Folge die mittleren oPO₄-P-Konzentrationen der 50er Jahre in Spree und Oberhavel inzwischen erreicht bzw. weitgehend unterschritten werden.

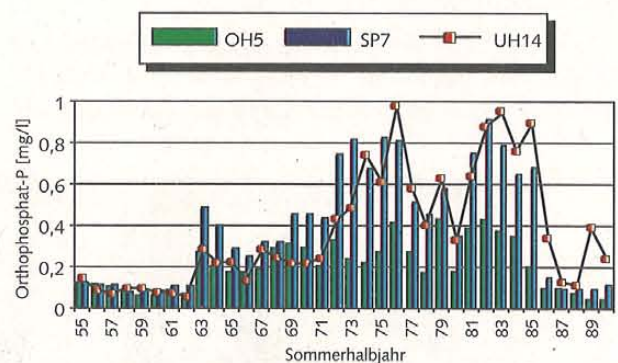


Abb. 1: Mittlere oPO₄-P-Konzentrationen der Sommerhalbjahre (Mai - Oktober) für Oberhavel, Spree und Unterhavel

Anhand der Gesamtübersicht mittlerer oPO₄-P-Konzentrationen (Abb. 2) der betrachteten Gewässerabschnitte wird der prägende Einfluß der Wasserbeschaffenheit der Spree auf die Havel deutlich. Während in Spree und Unterhavel in der Zeitreihe '71 - '75 ein sprunghafter Anstieg der Phosphorkonzentrationen zu verzeichnen ist, bleiben die P-Konzentrationen der Oberhavel weitgehend auf dem Niveau der vorhergehenden Zeitreihe konstant. Längs-

¹⁾ Die Untersuchungen wurden durchgeführt vom Landesuntersuchungsinstitut für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen (Berlin), und die Ergebnisse dankenswerterweise von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz in Berlin zur Verfügung gestellt.

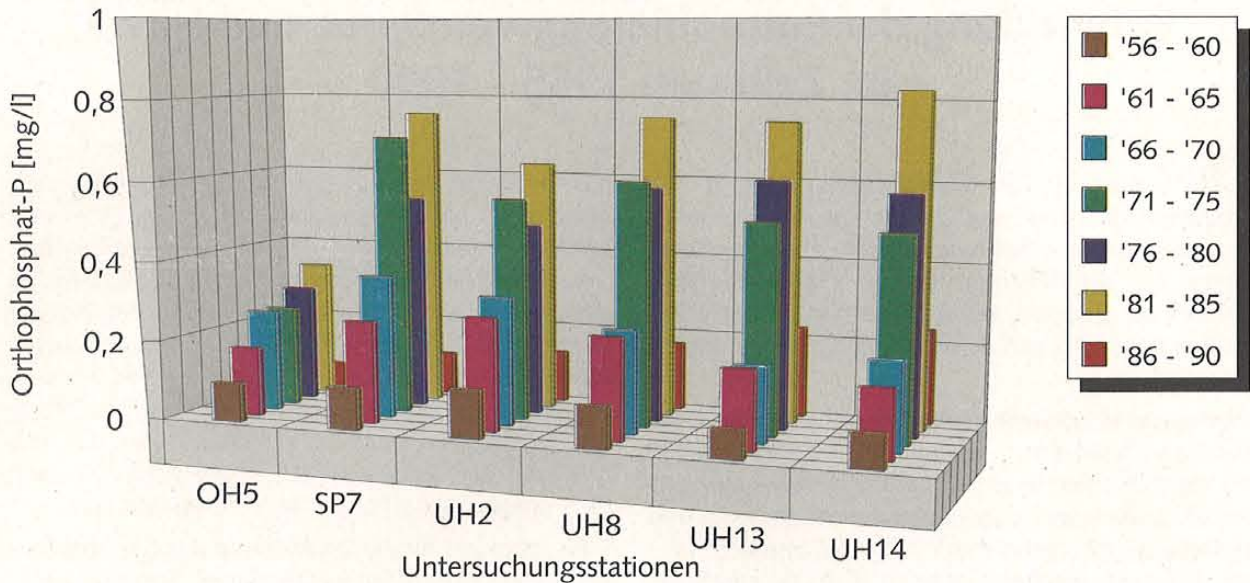


Abb. 2: Entwicklung der mittleren oPO_4 -P-Konzentrationen (5-Jahres-Sommermittelwerte) ausgewählter Untersuchungsstationen an Spree und Havel

schnittbetrachtungen der Unterhavel von UH2 \Rightarrow UH14 zeigen bis Mitte der 70er Jahre Konzentrationsverminderungen im Verlauf der Fließstrecke an. Bedingt durch Desorptionsprozesse an den Sedimenten kommt es in den nachfolgenden Zeitreihen zu erheblichen Phosphorfreisetzungen, und damit zu deutlichen Konzentrationsanstiegen im Längsschnitt. Durch diese noch andauernden P-Rücklösungsprozesse werden die relativ geringen P-Gehalte der 50er Jahre im Bereich der seenartigen Unterhavel weiterhin deutlich überschritten.

Auch bezüglich der Konzentrationen anorganischer Stickstoffverbindungen (ΣNO_3 -N, NH_4 -N, NO_2 -N) ist der negative Einfluß der Spree auf die Wasserbe-

schaffenheit der Havel deutlich (Abb. 3). Ein weitgehend kontinuierlicher Rückgang der insgesamt sehr hohen Gehalte an anorganischen Stickstoffverbindungen ist je nach Gewässerabschnitt spätestens seit der Zeitreihe '76-'80 zu beobachten. Die mittleren Konzentrationen von Spree und Unterhavel der Zeitreihe '86-'90 entsprechen denen Ende der 50er Jahre. Der erhebliche Anstieg im Bereich der Oberhavel in der zweiten Hälfte der 80er Jahre ist auf die Überleitung der Abläufe der Kläranlage Schönierlinde über den Nordgraben in den Tegeler See zurückzuführen. Eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Stickstoffkomponenten (ohne Abbildung) zeigt erhebliche Konzentrationsverminderungen für Nitrat-

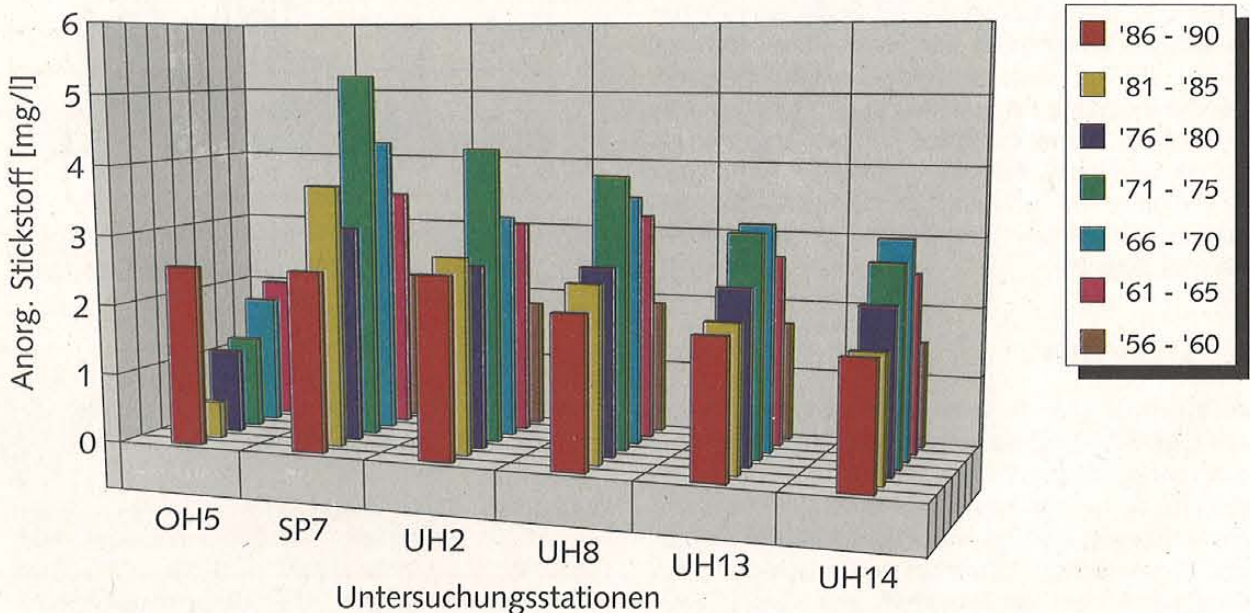


Abb. 3: Entwicklung der mittleren Konzentrationen anorganischer Stickstoffverbindungen (5-Jahres-Sommermittelwerte) ausgewählter Untersuchungsstationen an Spree und Havel

Stickstoff beginnend mit der Zeitreihe '66 -'70. Für Ammonium-Stickstoff sind die höchsten mittleren Konzentrationen in der ersten Hälfte der 70er Jahre zu konstatieren. In der Folge nehmen die Konzentrationen weitgehend kontinuierlich ab. Erhebliche Konzentrationsverminderungen im Unterhavel-Längsschnitt von UH2 \Rightarrow UH14 sind im gesamten Untersuchungszeitraum zu erkennen.

In allen Gewässerabschnitten waren die nachfolgend dargestellten Eutrophierungsfolgen mit sich verändernden Anteilen der jeweiligen anorganischen Stickstoffverbindungen am gesamten anorganischen Stickstoff verbunden (Abb. 4). Lag noch Ende der 50er

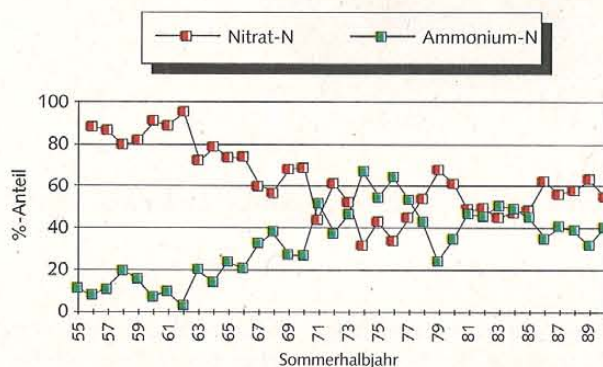


Abb. 4: Entwicklung der mittleren prozentualen Anteile von Nitrat-N und Ammonium-N am anorganischen Stickstoff an der Station UH13

Jahre anorganischer Stickstoff überwiegend in Form von Nitrat-Stickstoff vor (80 - 95%), so setzte in der ersten Hälfte der 60er Jahre mit Inbetriebnahme der Kläranlage Ruhleben ein rasanter Anstieg von Ammonium-Stickstoff ein, der dazu führte, daß sich bis Mitte der 70er Jahre ein Verhältnis von etwa 50 : 50 ($\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N}$) etabliert hatte. Seit Mitte der 80er Jahre verschieben sich die Anteile wieder geringfügig zugunsten des Nitrat-N. Mit den angestrebten Maßnahmen der Nitrifizierung/Denitrifizierung in den Kläranlagen kann davon ausgegangen werden, daß sich zukünftig die Verhältnisse wieder stärker zugunsten des Nitrat-Stickstoff verändern werden.

2. Folgen

Die Algenentwicklung in den betrachteten Gewässern folgt im Jahresverlauf einem jeweils gewässertypischen Muster mit ausgeprägten Massenentwicklungen im Frühjahr und Sommer. Unterbrochen werden diese Massenentwicklungen von eher schwach ausgeprägten sogenannten Klarwasserstadien im Juni. Gleichzeitig kommt es häufig zu einem Wechsel der dominanten Algengruppen. Während die Frühjahrsmassenentwicklung durch Kieselalgen geprägt ist, treten in den Sommermonaten verstärkt sogenannte Blaualgen (Cyanobakterien) auf, die sich dann über einen längeren Zeitraum zur dominanten Algengruppe entwickeln können. In Abbildung 5

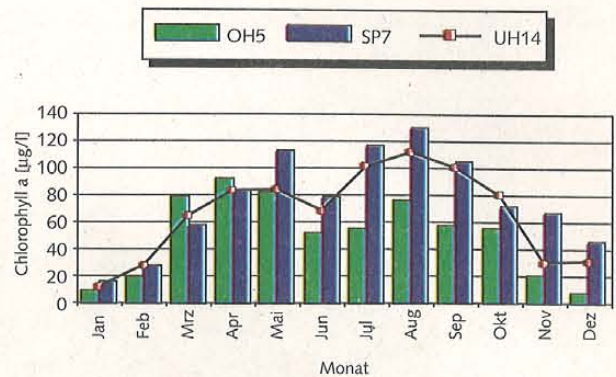


Abb. 5: Mittlerer Jahresgang der Algenentwicklung (Abflußjahre '83 -'90) in Chlorophyll a - Äquivalenten für Oberhavel, Spree und Unterhavel

sind die mittleren Jahresgänge der Chlorophyll a - Konzentrationen als Äquivalente für die Algen-Biomasse wiedergegeben. Es ist ersichtlich, daß Spree und Unterhavel ein von der Oberhavel unterschiedenes Entwicklungsmuster aufweisen. Während die maximale Frühjahrsentwicklung in der Oberhavel bereits im April stattfindet, ist diese in den übrigen Gewässerabschnitten in der Regel erst Ende Mai abgeschlossen. Die Sommermaxima von Spree und Unterhavel überschreiten jeweils die Frühjahrswerte, wohingegen in der Oberhavel das Sommermaximum jeweils schwächer ausgeprägt auftritt.

Durch ihren Charakter als Flachlandflüsse, die weder nennenswerte Sedimenttransporte noch Wasserfärbungen durch Huminstoffe aufweisen, stellt die ermittelte Sichttiefe in den betrachteten Gewässern ein Maß für den Gehalt an partikulärer Masse (Bakterien, Algen, Zooplankton) dar. Die im Rahmen der Überwachungsprogramme routinemäßig ermittelten Gehalte an abfiltrierbaren Stoffen bestätigen dies. Dementsprechend sind Veränderungen von Sichttiefe bzw. abfiltrierbaren Stoffen Änderungen der trophischen Bedingungen durch Biomasseänderungen direkt zuzuschreiben.

Die in Abbildung 6 dargestellte Entwicklung der mittleren Sichttiefe der Sommermonate auf der Grundlage von 5-Jahres-Sommermittelwerten beschreibt die rasante Entwicklung der Eutrophierung der vergangenen Jahrzehnte. Wurden in der zweiten Hälfte der 50er Jahre noch mittlere Sichttiefen im Sommerhalbjahr von bis zu 190 cm ermittelt (Abb. 7), liegen die entsprechenden Mittel in der ersten Hälfte der 80er Jahre je nach Untersuchungsstation zwischen ca. 30 cm und 80 cm. Die deutlichsten Sichttiefeabnahmen sind in den seenartigen Abschnitten von Oberhavel und Unterhavel (Stationen OH5, UH13, UH14) zu verzeichnen, während die Spreemündung (Station SP7) bereits in den 50er Jahren starke partikulär bedingte Eintrübungen aufweist. Gleichzeitig sind es die Untersuchungsstationen in den seenartig erweiterten Havelabschnitten, die in der zweiten

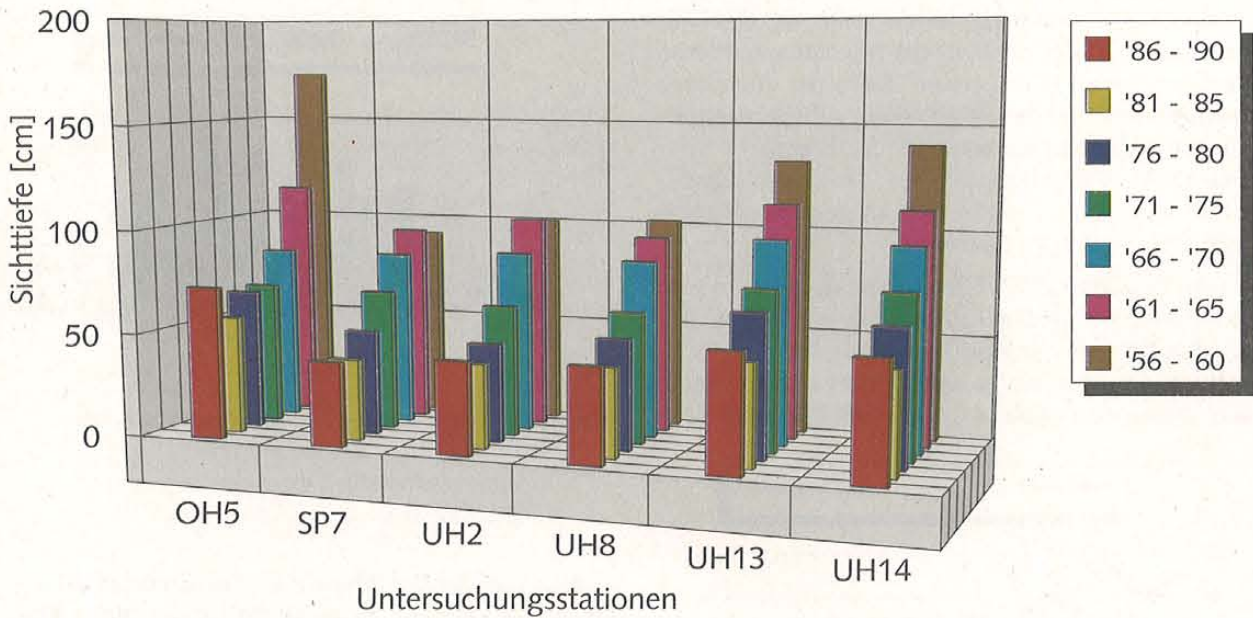


Abb. 6: Entwicklung der mittleren Sichttiefen (5-Jahres-Sommermittelwerte) ausgewählter Untersuchungsstationen an Spree und Havel

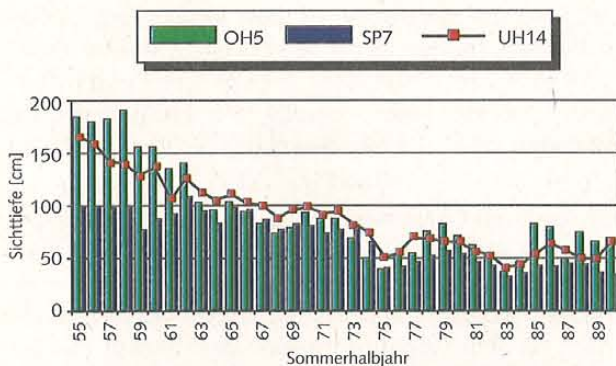


Abb. 7: Mittlere Sichttiefe der Sommerhalbjahre (Mai - Oktober) für Oberhavel, Spree und Unterhavel

Hälfte der 80er Jahre bereits erste Anzeichen einer leichten Verbesserung der Sichttiefeverhältnisse aufweisen. Trotz deutlich reduzierter P-Belastung ist hieraus jedoch noch keine Trendumkehr zu verbesserten Sichttiefen ableitbar. Gleichwohl wird sich eine mittelfristig verminderte Produktivität als Trendwende der sommerlichen Sichttiefen zuerst in den seenartigen Gewässerabschnitten manifestieren. Geringfügige Sichttiefeverbesserungen als Folge von Sedimentationsprozessen im Verlauf der Unterhavel-Fließstrecke von UH2 ⇒ UH14 sind in allen dargestellten Zeitabschnitten zu erkennen.

Die Sichttiefeentwicklung als Äquivalent zunehmender Eutrophierung von Spree und Havel auf der Grundlage der einzelnen Sommermittelwerte (Abb. 7) verläuft als nahezu kontinuierlicher Prozeß seit Beginn der Untersuchungen bis Mitte der 70er Jahre. Der auffälligste Eutrophierungssprung in den Berliner Havelabschnitten ist dabei in der ersten Hälfte der

70er Jahre zu verzeichnen, als sich nahezu eine Verdoppelung der Konzentrationen partikulärer Stoffe einstellt. Trotz deutlicher Schwankungen der mittleren Sichttiefe in den Folgejahren, insbesondere verursacht durch stark variierende hydrologische und meteorologische Bedingungen, lassen sich zumindest für die Bereiche der seenartig erweiterten Havel leichte Verbesserungen der mittleren Sichttiefen erkennen.

Die Entwicklung der mittleren Konzentrationen abfiltrierbarer Stoffe (Abb. 8) verhält sich spiegelbildlich zur Sichttiefeentwicklung. Für die Jahre 1955 bis 1973 wurden die mittleren Gehalte an abfiltrierbaren Stoffen anhand der aus den Folgejahren ermittelten korrelativen Beziehungen zur Sichttiefe rekalkuliert. Mittleren Gehalten von ca. 6 - 12 mg/l in der zweiten Hälfte der 50er Jahre stehen in der zweiten Hälfte der 80er Jahre mittlere Gehalte zwischen 13 und 26 mg/l gegenüber. Entsprechend dem damit einhergegangenen Anstieg der Photosyntheserate zeigt sich bei der Entwicklung des Sauerstoffgehaltes (ohne Abbildung) lediglich in den seenartigen Gewässerabschnitten ein entsprechendes Grundmuster zur Entwicklung der Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen. Das Auftreten kritischer Sauerstoffsituationen bleibt in der Regel auf die kanalisiert Bereiche beschränkt. Die mittleren pH-Werte (ohne Abbildung) zeigen im betrachteten Zeitabschnitt mit zunehmender Eutrophierung einen Anstieg um ca. 0,4 pH - Einheiten. Die dargestellte Entwicklung von Sichttiefe und abfiltrierbaren Stoffen wird durch die seit den 30er Jahren regelmäßig durchgeführten Messungen im Müggelsee durch das Wasserwerk Friedrichshagen gestützt [2].

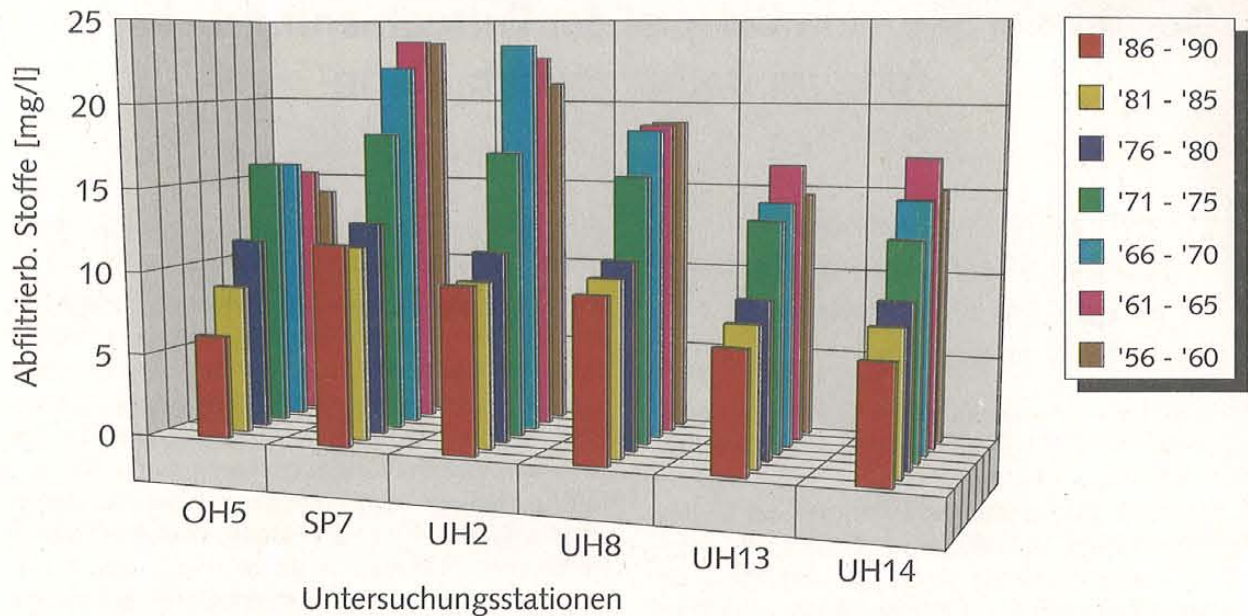


Abb. 8: Entwicklung der mittleren Konzentrationen abfiltrierbarer Stoffe (5-Jahres-Sommermittelwerte) ausgewählter Untersuchungsstationen an Spree und Havel

3. Ausblick

Bedingt durch erhebliche Konzentrationsanstiege anorganischer Phosphor- und Stickstoffverbindungen seit Anfang der 60er Jahre haben sich in Spree und Havel die mittleren Konzentrationen planktischer Biomasse (Bakterien, Phytoplankton, Zooplankton) annähernd verdoppelt, mit der Folge um mehr als 50% reduzierter Sichttiefen insbesondere in den seenartig erweiterten Gewässerabschnitten. Diese rasante Eutrophierung wurde begleitet durch einen kontinuierlichen Rückgang der Röhrichtbestände. So wurden im Zeitraum 1962 - 1987 rd. 70% der Röhrichtbestände der Havel auf Berliner Gebiet vernichtet [3]. Dies bedeutet eine völlige Vernichtung der Bestände auf ca. 26 km Uferlänge [3].

Bei der Restaurierung gestauter eutrophierter Fließgewässer ist eine Genesungsverzögerung durch den Einfluß der Sedimente zu berücksichtigen. Der mit dem Abflußjahr 1986 einsetzende rapide Konzentrationsrückgang anorganischer Phosphorverbindungen in Spree und Oberhavel findet in der Unterhavel noch keine Entsprechung. Seit Mitte der 70er Jahre werden in der Unterhavel erhebliche Phosphorrücklösungen aus den Sedimenten beobachtet. In Abbildung 9 ist der sinuskurvenartige Verlauf von sich verändernden Phosphorverlusten im Verlauf der Unterhavel-Fließstrecke von UH2 ⇒ UH14 bis Mitte der 70er Jahre mit nachfolgenden Phosphorrücklösungen dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, daß sich mit den seit 1986 erheblich reduzierten Eingangskonzentrationen an Phosphor im Verlauf der kommenden Dekade die Phosphorrücklösungen erheblich reduzieren werden, und gleichzeitig wieder Bindungskapazitäten für Phosphor am Sediment zur Verfügung stehen. Durch das damit weiter sinkende Angebot an anorganischen Phosphorverbindungen

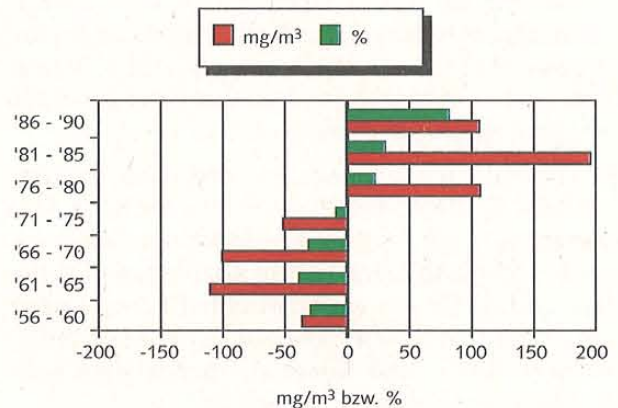


Abb. 9: Änderungen mittlerer oPO₄-P-Konzentrationen im Verlauf der Unterhavel-Fließstrecke von UH2 ⇒ UH14

gen kann mit einer reduzierten Biomasseproduktion gerechnet werden. Es bleibt jedoch zu konstatieren, daß die erreichte Phosphorreduktion noch nicht im gewünschten Umfang produktionsmindernd wirkt, um einen lediglich schwach eutrophen Zustand zu erzielen.

Literatur

- [1] VOGT, D. und JAHN, D. (1989): Phosphatverringerung in den Berliner Gewässern. - Wasser + Boden 41 (4)
- [2] SUKOPP, H. und MARKSTEIN, B. (1989): Die Vegetation der Berliner Havel. Bestandsveränderungen 1962 - 1987. - Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 64
- [3] BEHRENDT, H.; DRIESCHER, E. und SCHELLENBERGER, G. (1990): Lake Müggelsee - The Use of Lake Water and its Consequences. - GeoJournal 22 (2)

Dipl.-Biologe Lutz Höhne
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Hauptlabor
Ref. Gewässerüberwachung - Referenzlabor
Wasseranalytik

Der Tegeler See - ein Beispiel der Eutrophierungsbekämpfung im Ballungsraum Berlin

1. Der Tegeler See und sein Einzugsgebiet - ein multifunktionales wasserwirtschaftliches System

Im Rahmen einer ausführlichen Beschreibung der wasserwirtschaftlichen und limnologischen Verhältnisse der Havel und ihres Einzugsgebietes darf die Schilderung der Sanierungsmaßnahmen am Tegeler See nicht fehlen. So stellt der ca. 4 km² große Tegeler See eine bedeutende seenartige Erweiterung der Berliner Oberhavel dar. Darüber hinaus sind die ergriffenen Sanierungsmaßnahmen am Tegeler See ein Modellfall für die zukünftige gewässerverträgliche Gestaltung der Abwasserbehandlung und -bewirtschaftung im Ballungsraum Berlin. Zudem tragen Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet des Tegeler Sees auch unmittelbar zur Entlastung des gesamten weiteren Havelverlaufs bei (Abb. 1).

Die Bedeutung des Tegeler Sees und seines Einzugsgebietes für die Mehrmillionenmetropole Berlin liegt vorrangig in der Multifunktionalität des Gewässersystems begründet. Mit hohem Konfliktpotential stehen sich in diesem wasserwirtschaftlichen Gebiet Nutzungen gegenüber, die nur durch gezielte Bewirtschaftungs- und Sanierungsmaßnahmen auch langfristig in Einklang zu bringen sind.

- A. So dient der See als Infiltrationsquelle für die Rohwassergewinnung des Wasserwerks Tegel. Mit einer Kapazität von 370.000 m³/d dient das Wasserwerk der Versorgung von 700.000 Einwohnern mit Trinkwasser. Unmittelbar an den Ufern des Sees sind zur Förderung des Grundwassers 130 Vertikal- und ein Horizontalbrunnen (auf der Insel Scharfenberg) angeordnet. Ein Großteil des Rohwassers wird somit aus dem Tegeler See über die Uferfiltration gewonnen.
- B. Insbesondere als Badegewässer für rund 100.000 Besucher pro Jahr dient der Tegeler See als intensiv genutztes Naherholungsgebiet.
- C. Aufgrund der geschaffenen Abwasserentsorgungsstruktur fungiert das Einzugsgebiet des Tegeler Sees als Ableitungssystem der in der Kläranlage Schönerlinde gereinigten Abwässer von derzeit rund 100.000 m³/d im Trockenwetterfall.
- D. Zudem nimmt der Tegeler See im Naturraum Berlin einen wichtigen ökologischen Stellenwert ein.

Das heißt, daß entgegen der bundesweit gängigen Praxis die Ableitung der gereinigten Abwässer (Klarwasser) in diesem wasserwirtschaftlich und ökolo-

gisch sensiblen Gebiet unmittelbar vor die eigene Trinkwasserversorgung geschaltet wurde.

Vor dem Hintergrund des dramatischen Rückganges der Abflüsse in Spree und Havel, vorrangig bedingt durch die rapide Abnahme der aus dem Lausitzer Braunkohlerevier eingeleiteten Sumpfungswässer seit 1990, wird die bloße Abwasserbeseitigung im gesamten Bewirtschaftungsraum Berlin durch eine verstärkte mengen- und güteseitige Abwasserbewirtschaftung im Sinne einer Ressourcenbewirtschaftung ersetzt werden müssen. Insofern erlangt das im Einzugsgebiet des Tegeler Sees installierte System den Charakter eines Modellfalls für eine eng gekoppelte Kreislaufführung von Klarwasserableitung (Kläranlage Schönerlinde) - Oberflächenwasser (Tegeler See) und Trinkwassergewinnung über Uferfiltration (Wasserwerk Tegel).

2. Der Tegeler See und die wichtigsten Etappen seiner Belastungsgeschichte

Der Tegeler See ist ein eiszeitlich geprägter Rinnen-see im Nordwesten Berlins. Der ca. 4 km² große See ist stark zergliedert - die Uferentwicklung beträgt 2,9 - und hat ein Gesamtwasservolumen von rund 24,6 Millionen m³; 18,3 Millionen m³ entfallen davon auf das nordöstliche Hauptbecken. Die durchschnittliche Wassertiefe des Sees beträgt 6 m, wobei der See eine maximale Tiefe von 16 m erreicht (Abb. 2).

Seine Zuflüsse erhält der Tegeler See im Nordosten über das Tegeler Fließ (Einzugsgebietsgröße: 124 km²) und über den 1928 gebauten Nordgraben, welcher mit Errichtung eines regelbaren Wehres (1952) zusätzlich Pankewasser in Richtung Tegeler See ableitet.

Eng verknüpft mit den Veränderungen der Wasserqualität des Tegeler Sees ist die Entwicklung der Abwasserentsorgungsstruktur Berlins.

Die Rekonstruktion der Entwicklungsverhältnisse im Tegeler See mit Hilfe diatomeen-analytischer, zoologischer und chemischer Analysen im Rahmen paläolimnologischer Untersuchungen weisen auf eine Erhöhung der Primärproduktion aufgrund erhöhter Nährstoffeinträge bereits in der Jungsteinzeit (5.500 - 4.100 BP) hin. Zu dieser Zeit begann der menschliche Einfluß mit Einträgen aus dem Einzugsgebiet infolge erster Rodungen der Wälder und Ackerlandnutzung, wodurch vermutlich vermehrt Phosphor

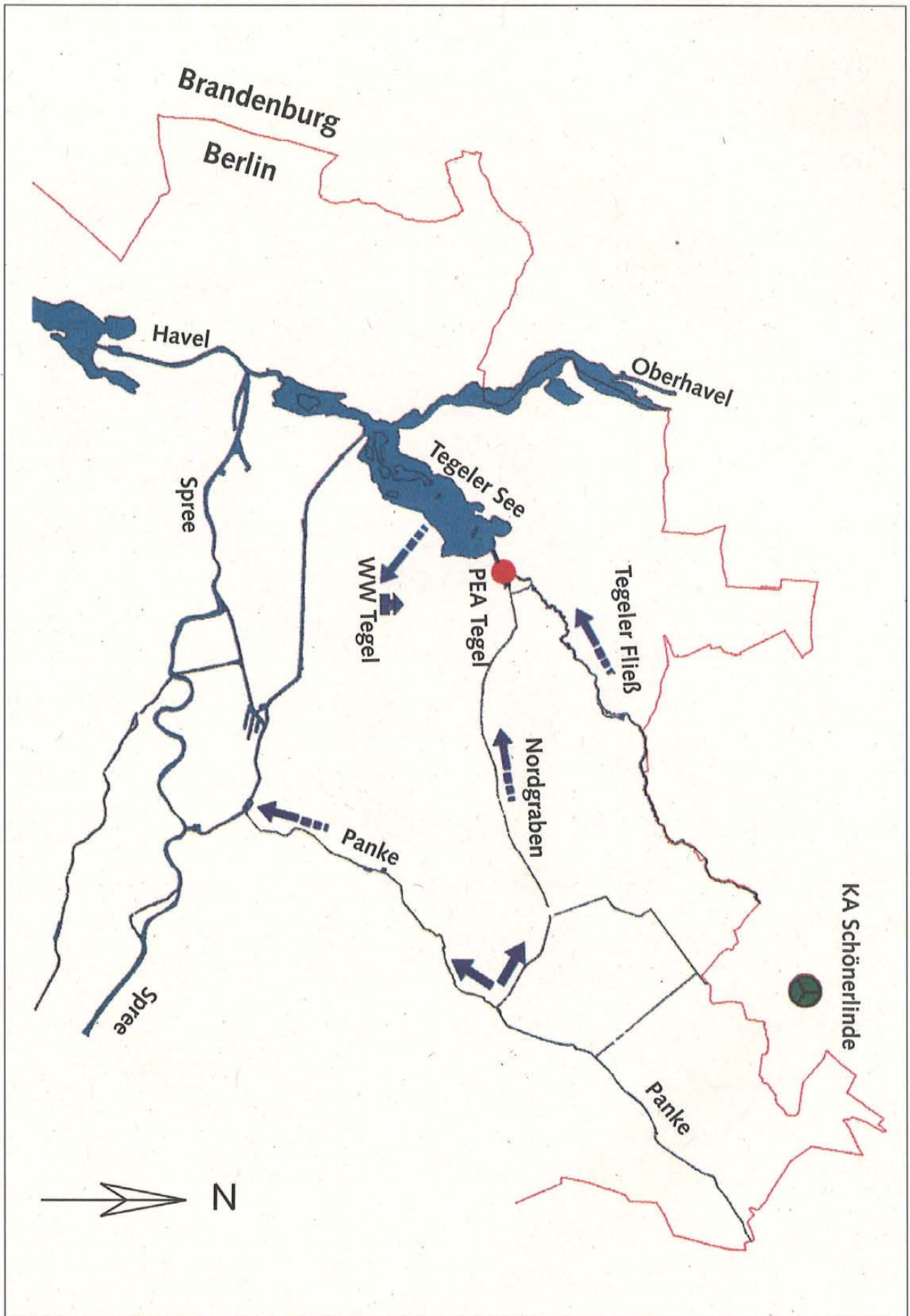
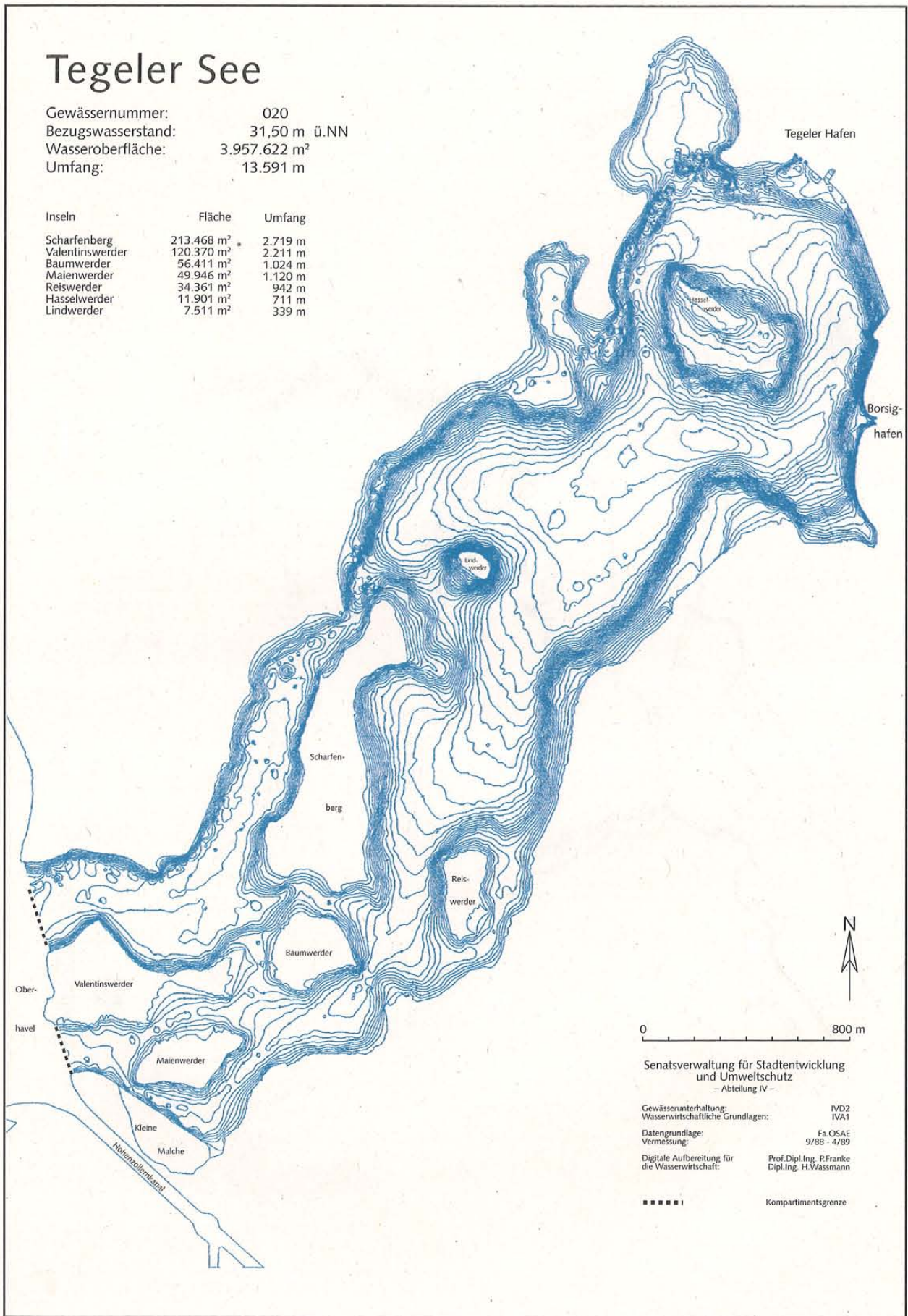


Abb. 1: Das Einzugsgebiet des Tegeler Sees

Tegeler See

Gewässernummer: 020
 Bezugswasserstand: 31,50 m ü.NN
 Wasseroberfläche: 3.957.622 m²
 Umfang: 13.591 m

Inseln	Fläche	Umfang
Scharfenberg	213.468 m ²	2.719 m
Valentinswerder	120.370 m ²	2.211 m
Baumwerder	56.411 m ²	1.024 m
Maienwerder	49.946 m ²	1.120 m
Reiswerder	34.361 m ²	942 m
Hasselwerder	11.901 m ²	711 m
Lindwerder	7.511 m ²	339 m



N
↑

0 800 m

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
 und Umweltschutz
 – Abteilung IV –

Gewässerunterhaltung: IVD2
 Wasserwirtschaftliche Grundlagen: IVA1

Datengrundlage: Fa.OSAE
 Vermessung: 9/88 - 4/89

Digitale Aufbereitung für
 die Wasserwirtschaft: Prof.Dipl.Ing. P.Franke
 Dipl.Ing. H.Wassmann

■■■■■ Kompartimentsgrenze

Abb. 2: Tiefenlinien des Tegeler Sees

und Stickstoff in die Gewässer eingetragen wurden (WOLTER 1992 [1]). Diese Einflüsse verstärkten sich entsprechend der zunehmenden Siedlungsdichte im Berliner Raum. Mitte des 19. Jahrhunderts wurden jedoch noch sommerliche Sichttiefen von 8 bis 10 m im Tegeler See gemessen (SCHMIDT 1974 [2]).

Bereits 1877 ging das Wasserwerk Tegel in Betrieb. Die gute Wasserqualität erlaubte bei der Wassergewinnung neben der Uferfiltratgewinnung noch teilweise direkt Seewasser zu fördern. Mit zunehmender Industrialisierung verstärkten sich die anthropogenen Einflüsse jedoch rapide. Die wohl gravierendste Etappe in der Entwicklung der Seewasserqualität wurde mit der Errichtung der nordöstlichen Rieselfelder Ende des 19. Jahrhunderts nach einem Abwasserentwässerungsplan für Berlin von Hobrecht eingeleitet. Die Schaffung von Radialsystemen zur Sammlung und Ableitung von Abwässern aus den städtischen Gebieten und der nachfolgenden Behandlung auf Rieselfeldern an der Peripherie stellte einen Meilenstein in der Verbesserung der städtischen hygienischen Verhältnisse dar. Die katastrophalen Verhältnisse in Berlin durch die offene Ableitung der Abwässer im Rinnstein und die direkte Einleitung in die Oberflächengewässer (Gestank, Epidemien, Verseuchung des Grund- und Oberflächenwassers) erzwangen diese neuen Entsorgungsstrukturen.

Über das Tegeler Fließ werden jedoch seitdem die Abläufe (Dränwasser) der Rieselfelder Mühlenbeck und Schönerrinde - die maximale Gesamtausdehnung der Rieselfeldtafeln betrug 3.000 ha - in Richtung Tegeler See abgeleitet. Somit beschleunigte sich im Zuge der Ermüdung der Sorptionskapazität der Rieselfeldböden und der hydraulischen Überlastung die Stofftransportdynamik im Einzugsgebiet extrem. Mit Bau des Nordgrabens zur hydraulischen Entlastung der Panke gelangten zudem weitere nährstoffreiche Abläufe der Rieselfelder Blankenfelde und Buch/Hobrechtsfelde in den See.

Mit Zunahme der Nährstoffbelastung wurde das Algenwachstum extrem beschleunigt. So wird für den Sommer 1945 nur noch eine mittlere Sommersichttiefe von 4 m angegeben [2]. Die „galoppierende“ Eutrophierung wurde somit auch für den Tegeler See zum wesentlichen Gewässergüteproblem. Die sommerlichen Sichttiefen sanken infolge des hohen Algenwachstums auf Werte unter 50 cm. Durch die Verschlechterung des Lichtklimas verschwanden die Unterwasserpflanzen bereits ab 1965 vollständig (SUKOPP & BRANDE 1984/85 [3]). Da dem See somit große Aufwuchsoberflächen für Nährstoffretentionen im Biofilm verloren gingen, standen dem Phytoplankton zusätzlich Nährstoffe zur Verfügung. Durch den verstärkten Eintrag an abfiltrierbaren Stoffen (1979 bis 1983 ca. 3.500 t/a) und durch das Aussinken der autochthon gebildeten Biomassen wurde die Faulschlammabildung massiv gefördert. Hohe Zehrungsraten führten zu entsprechenden Sauerstoffmangelerscheinungen im Tiefenwasser.

Die Mineralisierung der organischen Substanz wurde somit vorrangig von Anaerobern realisiert, infolge dessen Faulgase wie Methan und Schwefelwasserstoff entstanden.

1973 betrug nach HÄSSELBARTH (1979) [4] die Gesamtfracht an Phosphor in den See bereits 271 tP/a, wovon der größte Anteil auf den Nordgraben entfiel. Zum Vergleich: Die Gesamtemission aller Berliner Großklärwerke betrug 1994 nur noch 129 tP. Der erste Versuch einer Entlastung des Tegeler Sees wurde 1973 durch den Bau eines Mündungspumpwerkes am Tegeler Hafen und der Überleitung des Nordgrabenwassers über eine bestehende Abwasserdruckleitung zum Teltowkanal unternommen. Über diese Ringleitung konnten am See etwa 30 bis 50% des Nordgrabenwassers vorbeigeleitet werden. Diese Maßnahme stellte strukturell gesehen nur eine Problemverlagerung dar. Der Entlastungseffekt wurde zudem durch die Zunahme der Rieselfeldbeaufschlagung in den siebziger Jahren schnell wieder aufgehoben. Weitere Nährstoffquellen kamen hinzu. Einträge der Regenkanalisation, Einleitungen von Kühlwasser mit P-haltigen Zusätzen und ungenügend gereinigte Abwässer von anrainenden Siedlungen trugen ihrerseits zunehmend zur Belastung bei.

Mit Zunahme der Nährstoffkonzentrationen im gesamten überregionalen Fließsystem der Havel gewann der Einstrom von nährstoffreichem Oberhavelwasser in den Tegeler See zudem an Bedeutung.

Die Verhältnisse verschlechterten sich derart, daß 1979 zeitweise sogar die Trinkwasserversorgung durch das Wasserwerk Tegel eingestellt werden mußte. Einsetzendes Fischsterben nach Starkregenereignissen oder längerer Eisbedeckung im Winter war ein weiteres Indiz für extrem angespannte ökologische Verhältnisse. Zur Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse im nahezu sauerstofffreien Hypolimnion wurden 1980 in den Tegeler See 15 Belüftungsgeräte installiert.

Trotz eines allmählichen Rückgangs der Nährstoffzufuhr von 1980 bis 1984 (Abb. 3) aufgrund der Entlastung der Rieselfelder durch die Erhöhung der Reinigungskapazität des Klärwerkes Ruhleben überstiegen die internen P-Vorräte und externen P-Einträge die für eine Begrenzung des Algenwachstums tolerierbare Belastungsschwelle um ein vielfaches. Auch die vollständige Ablösung der Rieselfelder durch die Inbetriebnahme der Kläranlage Schönerrinde (mit P-Simultanfällung) im Jahr 1986 konnte an diesem Status nichts ändern.

Bei Untersuchungen des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes (jetzt des Umweltbundesamtes) wurden 1984 im Epilimnion TP-Gehalte von 0,6 mg/l und im Hypolimnion gegen Ende der Sommerstagnation von 2 mg/l (!) ermittelt. Insbesondere die hohen Konzentrationen im Hypolimnion belegen, daß mit Hilfe der Tiefenwasserbelüfter P-Remobilisierungen aus den Sedimenten kaum zu verhindern waren.

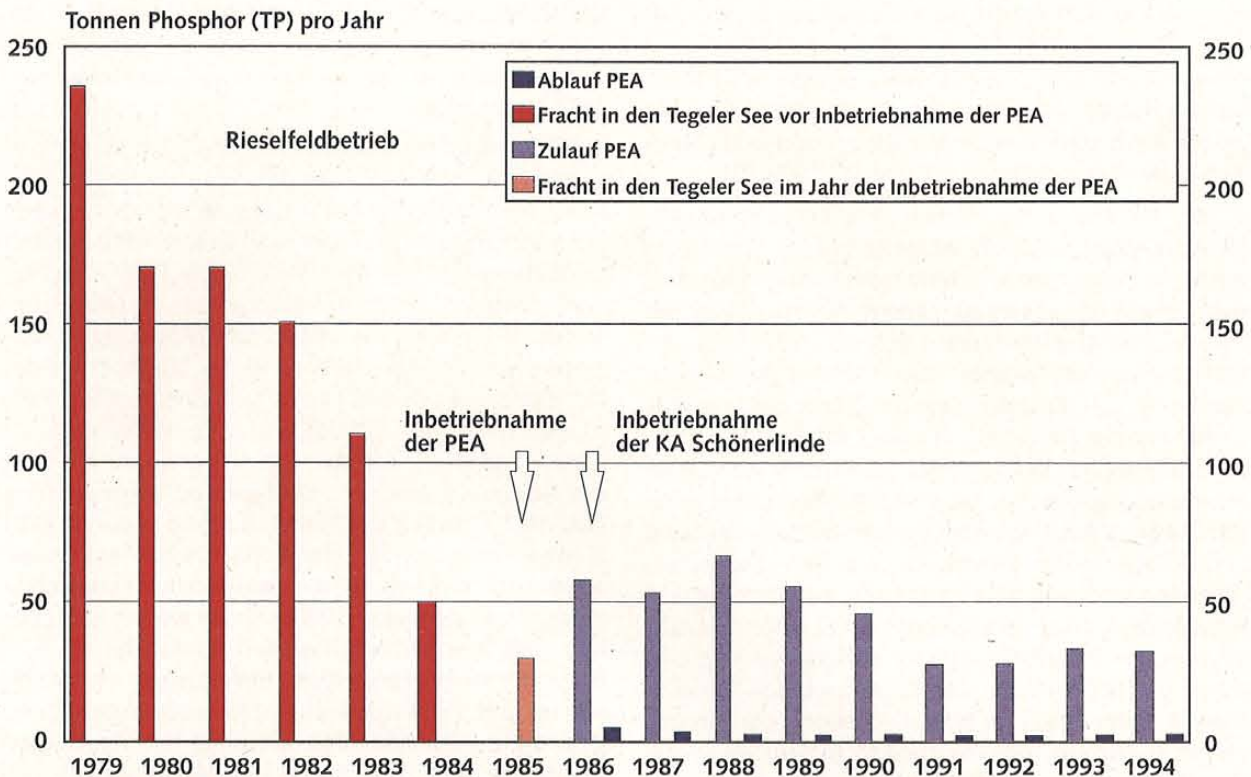


Abb. 3: Phosphor-Jahresfrachten in den Tegeler See und im Zu- und Ablauf der PEA-Tegel

Insgesamt zeigte sich, daß die ergriffenen Zwischenlösungen auch langfristig zu keiner Verbesserung der ökologisch äußerst angespannten Situation führen würden. Dabei darf die Eutrophierung nicht als einfacher Ursache - Wirkungsprozeß zwischen der Nährstoffakkumulation und der Entwicklung von Algen gesehen werden, sondern als ein Vorgang, der alle Teile des Gewässerökosystems und sämtliche Nutzungsansprüche betrifft. Der Rückgang der Artenvielfalt (Flora und Fauna) ist die wichtigste ökologische Auswirkung der Eutrophierung. Zudem stellt das hohe trophische Niveau im See einen wesentlichen rückgangsauslösenden Faktor für die Schilfbestände dar. Neben ökologisch verarmten Gewässerstrukturen verlieren die Seen ihren Wert in hygienischer und ästhetischer Hinsicht.

3. Die Phosphateliminationsanlage (PEA) Tegel

Die gesamte Entwicklung der Wasserqualität im Tegeler See führte dazu, daß bereits in den 70er Jahren erste konzeptionelle Überlegungen begannen, die Einträge an Phosphor in den Tegeler See durch geeignete technische Maßnahmen im unmittelbaren Zulaufbereich massiv zu reduzieren. Nach Vorversuchen in den Jahren 1971 bis 1974 im Labormaßstab durch das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene konnte bereits 1976 eine Pilotanlage zur

Aufbereitung des Nordgrabenwassers ihren Betrieb aufnehmen. Der Sanierungskonzeption lag der Gedanke zugrunde, die Phosphoreinträge als limitierenden Faktor soweit zu reduzieren, daß die Eutrophierungsschwelle im See unterschritten wird. Für tiefe Seen lassen sich unter Berücksichtigung der Beckengestalt und der hydraulischen Belastung die seespezifischen kritischen Phosphorbelastungen nach dem sogenannten V o l l e n w e i d e r-Modell (1976) berechnen. Diese beträgt für den Tegeler See rund 2 t P/a. Vergleicht man diese anzustrebende Belastungsschwelle mit den Zulauffrachten von damals 271 t/a und derzeit noch 35 t/a, so wird deutlich, welche Anforderungen an die Verfahrenstechnik seinerzeit zu stellen waren.

Nach Abschluß aller verfahrenstechnischen Vorversuche wurde im Jahre 1977 mit der Planung und 1981 mit dem Bau einer Phosphateliminationsanlage (PEA) Tegel begonnen. Diese nahm am 6. September 1985 ihren Betrieb auf. Da die Phosphateliminationsanlage das Wasser aus dem Tegeler Fließ und Nordgraben von Phosphaten befreien soll, ergab sich der Standort für die Anlage zwangsläufig im Unterlauf beider Gewässer. Der Standort hat zudem den Vorteil, daß sämtliche Belastungsquellen (punktuelle Einleiter, diffuse Einträge) in den Einzugsgebieten erfaßt und in der Anlage behandelt werden.

Die Abbildung 4 zeigt schematisch den Weg des Wassers durch die Anlage.

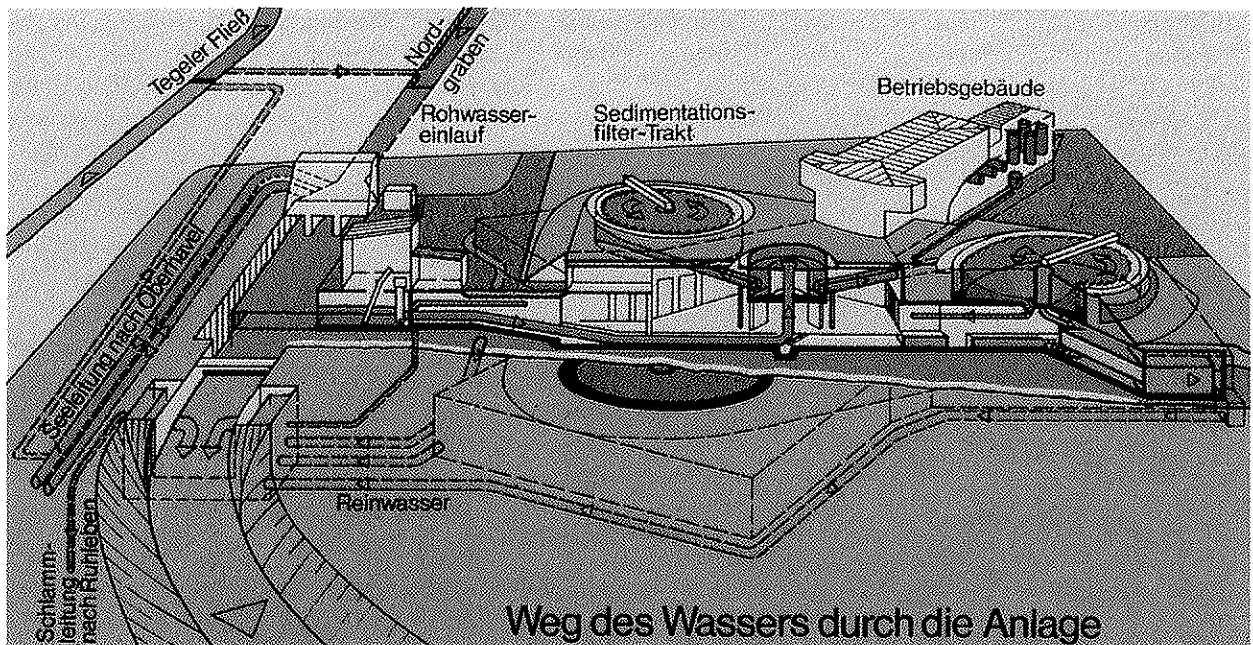


Abb. 4: Schnitt durch die Phosphateliminationsanlage Tegel (SenBauWohn/SenStadtUm 1985 [5])

Die verfahrenstechnischen Hauptelemente der PEA Tegel sind:

1. Einlaufbecken mit Grobrechen und Wehr,
2. zentraler Verteilerturm zur gleichmäßigen Beschickung der Sedimentationsbehälter,
3. Sedimentationsbehälter,
4. Filterbecken mit Reinwasserbehälter,
5. Auslaufbauwerk mit Kaskaden zur Sauerstoffanreicherung.

Das Herzstück der Anlage bilden dabei die drei Sedimentationsbehälter mit den jeweils darunter liegenden Filterbauwerken (je 6 Filter). Über die Rohrleitungen aus dem Verteilerturm wird das Wasser tangential den 28 m breiten und 5,4 m hohen Sedimentationsbehältern gleichmäßig zugeführt. Der absinkende Schlamm wird durch Radialräumer in Schlammfächer geschoben und in das Klärwerk Ruhleben gepumpt. Aus den Klarwasserschächten der Sedimentationsbehälter wird das Wasser in die darunter liegenden Filterbauwerke gedrückt, in denen die weitergehende Reinigung erfolgt. Um möglichst eine optimale Raumfiltration zu erreichen, sind die Druckfilter als Mehrschichtfilter ausgebildet worden, bestehend aus einer 45-55 cm hohen Bims-/Anthrazitschicht, einer 140-150 cm hohen Sandschicht und einer Stüttschicht aus Kies von 30 cm. Die Filtrationsgeschwindigkeit beträgt bei einem durchschnittlichen Anlagendurchsatz von $3 \text{ m}^3/\text{s}$ 5,7 m/h und bei der maximalen Durchsatzleistung von $6 \text{ m}^3/\text{s}$ 11,4 m/h. Bei der Filtrerrückspülung wird das Bett zuerst mit Luft aufgebrochen und dann mit einem Luft/Wasser-Gemisch gereinigt (HEINZMANN, SARFERT, STENDEL 1991 [6]).

Da die Sedimentation und Filtration voraussetzt, daß der Phosphor in einer abscheidbaren Form vorliegt, also partikulär gebunden sein muß, erfolgt zur Aus-

fällung der gelösten Anteile im Zulauf zu den Sedimentationsbecken die Zugabe von Flockungsmitteln zur Mikrofloccenbildung und anionischer Flockungshilfsmittel zur Makrofloccenbildung (Rohrfloccung). Mit Hilfe dieser Verfahrenstechnik wird eine Ablaufkonzentration - die gleichzeitig die Zulaufkonzentration für den Tegeler See darstellt - von durchschnittlich $0,02 \text{ mgP/l}$ erreicht. Die Abbildung 3 zeigt die durchschnittliche Eliminationsleistung der PEA Tegel. Die Fracht an Phosphor in den See konnte somit auf das notwendige Maß von zwei Tonnen P pro Jahr gesenkt werden, was einer Eliminationsleistung von über 95% entspricht.

4. Der Sanierungsprozeß des Tegeler Sees

Die Erfahrungen bei der Sanierung hoch belasteter Gewässer zeigen generell, daß von einer ausgesprochenen Reaktionsträgheit auf entlastende Maßnahmen ausgegangen werden muß. Die Ursache liegt in der Komplexität biotischer und biochemischer Wechselwirkungen innerhalb der Ökosysteme und lokaler Störgrößen. Für den Tegeler See sind vor allem die erheblichen Phosphorvorräte in den Sedimenten zu nennen, die durch Remobilisierungen und Einmischungen den P-Gehalt im Freiwasser prägen. Die sukzessive Umstellung auf ein geringeres trophisches Niveau wird somit begleitet von Zwischenstadien.

Für das Hauptbecken des Tegeler Sees lassen sich folgende wesentliche Sanierungssymptome feststellen:

1. Rapide Abnahme der Phosphorkonzentration im Epilimnion als grundlegende Voraussetzung zur Dämpfung der Ausbeute an Biomassen (Abb. 5).

2. Deutliche Zunahme der maximalen Sichttiefen insbesondere im Frühjahr und Frühsommer.
3. Deutliche Zunahme der mittleren Sichttiefe auf rund 2 m.
4. Zunahme der minimalen Sichttiefen auf >1 m während der sommerlichen Algenentwicklung.
5. Abnahme der Gesamtbiomassen.
6. Veränderung der Planktonstruktur (seit 1987 Übergang von Blaualgendominanz auf andere Algenarten).
7. Sektorielle Wiederbesiedlung von Makrophyten als Zeichen eines verbesserten Lichtklimas.

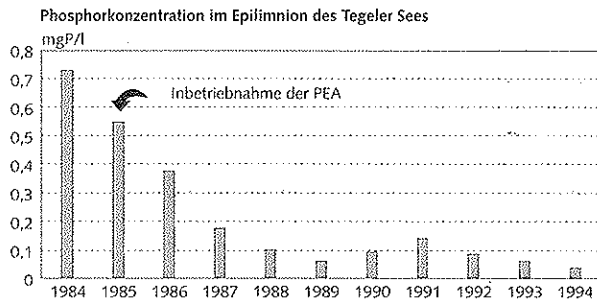


Abb. 5: Entwicklung der P-Konzentration im Tegeler See im Epilimnion

Die Abbildung 6 weist für den Tegeler See eine rapide Abnahme der Blaualgendichte aus. Die Umstellung der Planktonstruktur auf andere Algenarten (Dinoflagellaten) ist als eindeutiges Symptom des Sanierungsfortschritts zu werten. Die seit 1990 dominierenden Dinoflagellaten sind typisch für geschichtete Gewässer und können im phosphatarmen Epilimnion besser wachsen als Blaualgen. Diese Algen lassen trotz noch anhaltend hoher Biomassen bereits verbesserte Sichttiefenverhältnisse zu, da die individuelle Zellgröße dieser Art sehr hoch ist. Mit Sanierungsfortschritt hat sich im See ein effektives Zooplankton (Biofiltrierer) entwickeln können, welches zusätzlich von Mai bis Oktober die Algenbiomasse auf niedrigem Niveau stabilisiert (KÖHLER, CHORUS pers. Mitt.).

Weltweit mehren sich zudem in den letzten 2 bis 3 Jahren die Hinweise, daß nahezu alle **Blaualgenarten** Toxine bilden können, die bis dato vorrangig nur als Auslöser hautallergischer Reaktionen bei empfindli-

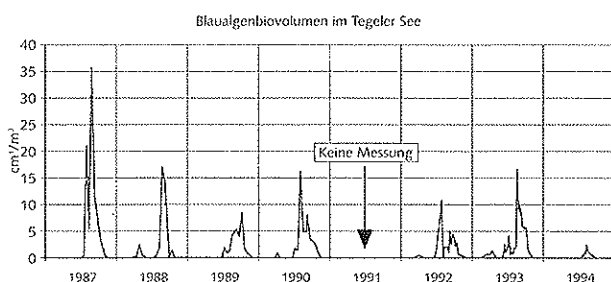


Abb. 6: Blaualgenbiovolumen im Tegeler See (CHORUS 1995 [7])

chen Badegästen diskutiert wurden. Neue Ergebnisse des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene zeigen (übereinstimmend mit Ergebnissen aus den Niederlanden), daß die Blaualgenpopulationen in Gewässern des Berliner Raumes u.a. auch Lebertoxine enthalten können. Eine umfassende gesundheitliche Bewertung dieser Befunde wird derzeit durch einige Kenntnislücken noch erschwert. Es liegen aber ernstzunehmende Hinweise vor, die im Sinne eines vorsorgenden Gesundheitsschutzes anraten lassen, die Aufnahme dieser Toxine über den Magen- Darm- Trakt und insbesondere über die Nasenschleimhäute zu minimieren. Aussagen zu zulässigen Richtwerten werden dadurch erschwert, daß die Intoxikation chronisch, wie sie beim täglichen Baden über mehrere Wochen erfolgen kann, stattfindet (CHORUS 1994 [8]).

Vor diesem Hintergrund und unter Beachtung der intensiven Badenutzung des Tegeler Sees ist die Verdrängung der Blaualgendominanz als wesentlicher Sanierungserfolg zu werten.

Insgesamt wird der durchschlagende Sanierungsprozeß im See noch durch zwei Störgrößen beeinträchtigt. Insbesondere der Eintrag von phosphatreichem Oberhavelwasser (Mittelwert 1988 bis 1992: 0,165 mgP/l) ist entsprechend den Einstromanteilen als relevante Nährstoffquelle zu nennen, die bis in das Hauptbecken hinein die Wasserbeschaffenheit mit beeinflußt. Mit der weiteren Sanierung des Einzugsgebietes der Havel ist hierbei mittelfristig eine zusätzliche Entlastung zu erwarten. Eine weitere, den Sanierungsprozeß verzögernde Größe ist die Dynamik der Phosphorfestlegung und Freisetzung aus den Sedimenten. Die reduzierenden Bedingungen im Faulschlamm des Tegeler Sees bewirken eine für solche Systeme typisch hohe Phosphormobilität. Die Ursache liegt darin, daß ein großer Teil des Eisens an Schwefel gebunden vorliegt, was insgesamt die Phosphormobilität erhöht sowie die Phosphorbindungskapazität der Sedimente verringert. Ist das nicht sulfidisch gebundene Eisen aufgebraucht, kommt es infolge der H_2S -Freisetzung zur Auflösung der Eisen-Phosphor-Bindung mit Entzug des Bindungspartners durch die Eisensulfidbildung, was eine Phosphorrücklösung bewirkt. Andererseits ist bekannt, daß bei ausreichender Nitratpräsenz und Redoxstabilisierung FeS als Elektronendonator der Denitrifikation dient und dabei Eisenoxidhydrate freigesetzt werden, die ihrerseits die Phosphorbindungskapazität erhöhen. Zudem bewirkt Nitrat eine Verringerung der Desulfurikationsprozesse an der Sedimentoberfläche (RIPL u.a. 1993 [9], KLEEBERG u. DUDEL 1993, 1994 [10]).

Mit der verstärkten Umstellung der Stickstoffumsätze in der Kläranlage Schönerlinde seit 1992 haben sich insgesamt die Zulaufverhältnisse des Tegeler Sees zugunsten des Nitrats verschoben.

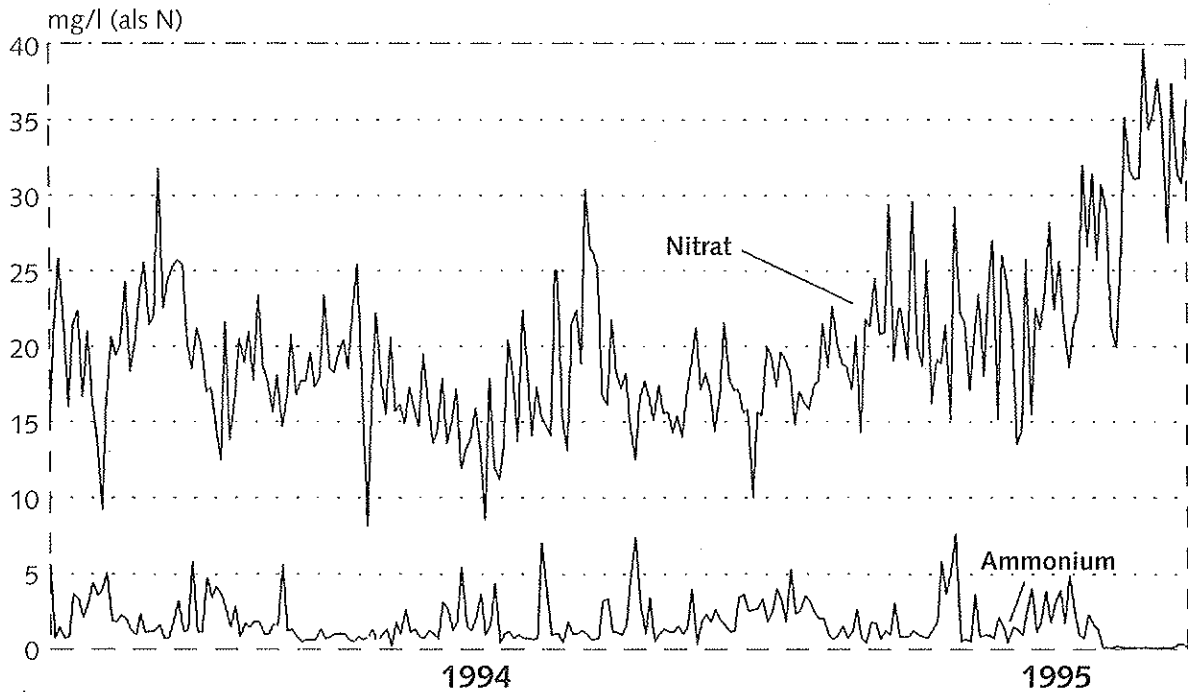


Abb. 7: Ablaufwerte der KA Schönerlinde für Ammonium und Nitrat 1994/95
(Daten: Berliner Wasserbetriebe)

Die Berliner Wasserbetriebe haben in Absprache mit der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin seit 1992 ihren Betrieb in der Kläranlage Schönerlinde von unvollständiger Nitrifikation und Denitrifikation sukzessive auf vollständige Nitrifikation umgestellt. Die Abbildung 7 zeigt die Ablaufkonzentration der Kläranlage Schönerlinde für

Ammonium und Nitrat in den Jahren 1994 und 1995. Betrug der Ablauf der PEA Tegel im Mai 1992 noch 8,6 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$, wurden im Oktober bereits über 20 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ gemessen. Die Auswirkungen des höheren Nitratedintrages in den Tegeler See lassen sich deutlich nachweisen. So konnte bereits 1992 in den Sommermonaten eine wenige Millimeter

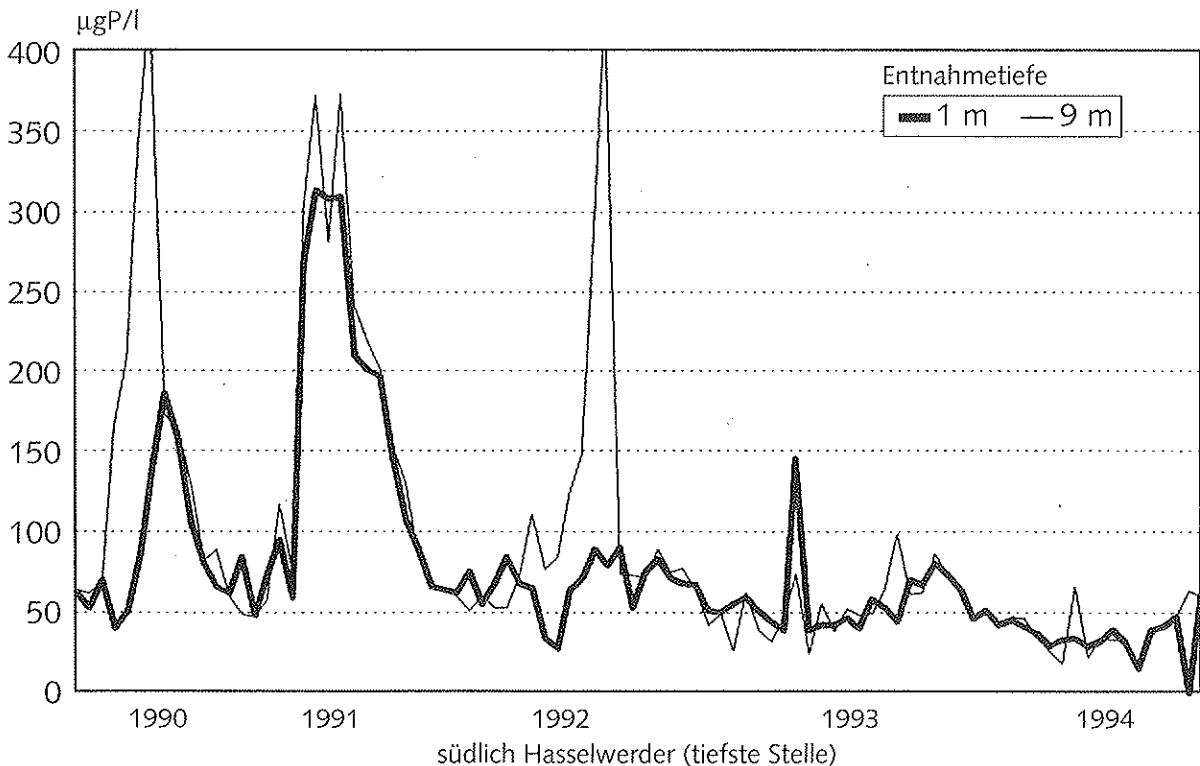


Abb. 8: P-Konzentrationen im Tegeler See 1990 - 1994

dicke Schicht oxidiertes Oberflächensediment beobachtet werden, was insgesamt bewirkte, daß es bereits im ersten Jahr der verstärkten Nitratzufuhr zu keiner Netto-Phosphorfreisetzung mehr kam (RIPL et al. 1993 [10]). Besonders zeigen die Phosphorwerte von 1994 eine weitere spürbare Entlastung des gesamten Wasserkörpers an. Nitrat wurde 1994 im Hypolimnion erstmals bis in 15 m Tiefe nicht völlig aufgezehrt. Zudem lagen die Ammoniumkonzentrationen deutlich unter denen der Vorjahre.

Infolge der stabilen Nitratpräsenz konnten reduzierende Bedingungen und somit die P-Freisetzung fast gänzlich verhindert werden. Im Sommer 1994 wurden im Epilimnion die bislang geringsten Gesamt-P-Konzentrationen von 20 - 35 µg/l seit Beginn der Sanierungs begleitenden Messungen beobachtet.

Das Phytoplankton reagierte deutlich auf die P-Limitierung. Die Chlorophyll-Maxima lagen unter 30 µg/l. Die Blaualgenanteile in der Phytoplanktonzusammensetzung waren erstmalig von absolut untergeordneter Bedeutung. Besonders erfreulich sind die 1994 beobachteten Sichttiefen von maximal 4 m und stets über 1,3 m - an vielen Meßtagen im Sommer sogar über 1,5 m.

Ein Vergleich dieser Beschaffenheitszustände des Tegeler Sees mit den Verhältnissen in den anderen seenartigen Erweiterungen von Havel und Spree belegt die Wirksamkeit und den Stellenwert dieser umfangreichen Sanierungsmaßnahme. Natürlich sind diese Maßnahmen kostenaufwendig. Dennoch sind die dabei entstehenden Betriebskosten von rund 20 Millionen DM/a (bei einem mittleren Anlagenumsatz von 3 m³/s) vor dem Hintergrund der Bedeutung des Tegeler Sees gerechtfertigt, da insgesamt davon ausgegangen werden kann, daß der ökologische und wasserwirtschaftliche Nutzen (u.a. Sicherung der Trinkwasserversorgung) die monetären Aufwendungen bei weitem übersteigt.

Zu erwähnen ist auch die Bedeutung der Maßnahme für das gesamte Spree-Havel-Gebiet. Unabhängig

von der limnologischen Modellfunktion des Sanierungsprozesses für die Formulierung von Zielstellungen und für die Erarbeitung von vielfältigen Bewirtschaftungsvarianten ist die stoffliche Entlastungsfunktion der Phosphateliminationsanlage für den weiteren Havelverlauf von insgesamt rund 30 Tonnen P/Jahr zu nennen.

Literatur

- [1] WOLTER, K.-D. (1992): Paläolimnologie des Tegeler Sees (Berlin). Ökosystemforschung und Gewässer - Schriftenreihe der Gesellschaft für Gewässerbewirtschaftung und des Fachgebiets Limnologie der TU Berlin.
- [2] SCHMIDT, E. (1974): Ökosystem See. Quelle und Meyer, Heidelberg.
- [3] SUKOPP, H. & BRANDE, A. (1984/85): Beiträge zur Landschaftsgeschichte des Gebietes um den Tegeler See. Sitzungsbericht der Ges. Naturforsch. Freunde Berlin.
- [4] HÄSSELBARTH, U.: Phosphoreliminierung aus den Zuflüssen Berliner Seen. Zeitschr. f. Wasser- und Abwasser-Forschung 12 (1979).
- [5] SenBauWohn/SenStadtUm (1985): Phosphateliminationsanlage Tegel. Broschüre.
- [6] HEINZMANN, B.; SARFERT, F.; STENGEL, A. (1991): Die Phosphateliminationsanlage Tegel. In gwf Wasser-Abwasser. 132 (1991) Nr. 12.
- [7] CHORUS, I. (1995): Ergebnisse zum Zustand des Tegeler Sees 1994. Umweltbundesamt/Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. unveröffentl..
- [8] CHORUS, I. (1994): Toxische Cyanobakterien (Blaualgen) in Badegewässern und Trinkwasserressourcen - eine bislang kaum bekannte Gesundheitsgefährdung. Umweltmedizinischer Informationsdienst. Hrsg.: Umweltbundesamt/ Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. 1/95.
- [9] RIPL, W.; HELLER, S.; KOPPELMEYER, B; MARKWITZ, M.; WOLTER, K.-D. (1993): Limnologische Begleitstudie zur Entlastung des Tegeler Sees. Endbericht. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin.
- [10] KLEEBERG & DUDEL (1993, 1994): Limnologische Begleitstudien zur Sanierung des Großen Müggelsees. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin.

*Dr.-Ing. Dietrich Jahn
Dipl.-Ing. Matthias Klein
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und
Umweltschutz Berlin
Abteilung IV
Rungestraße 29
10179 Berlin*

Die Sedimente der Havelseen und deren jahreszeitliche Dynamik

1. Einführung

Die Havel durchfließt in ihrem mittleren Verlauf zwischen Berlin und Brandenburg eine Reihe größerer Seen, in denen sich die Fließgeschwindigkeit stark vermindert. Die morphologische Ausbildung der rinnenförmigen Seebecken erfolgte während des Weichselglazials im Bereich der Eisrandlage des Brandenburger Stadiums. Mit dem Rückzug der Inland-

gletscher und dem Austauen des Toteises haben sich die Hohlformen mit Wasser aufgefüllt und werden seit dem kontinuierlich mit sich absetzenden Schwebstoffen verfüllt. Dieser Deposit setzt sich aus einer allochthonen (partikulärer Eintrag aus dem Wassereinzugsgebiet) und einer autochthonen Komponente (vornehmlich abgestorbenes planktisches Material und biogener Kalzit sowie von aus dem Litoral und Sublitoral umgelagertes partikuläres Material mit

einem Anteil an Pflanzenresten) zusammen. Auf Grund der Dominanz des Freiwasserbereichs in den großen Havelseen ist deren organogener Deposit durch abgestorbenes planktisches Material und damit durch die Primärproduktion im Pelagial bestimmt. Der planktische Deposit unterliegt im Sediment einer aeroben und anaeroben Mineralisierung, wobei die Kieselskelette der Diatomeen, die permanenter Bestandteil der Algenflorenassoziation in den Havelseen sind, erhalten bleiben. Bei den sich bildenden profundalen Sedimenten - insofern sie durch den autochthonen Deposit bestimmt sind - handelt es sich um Diatomeengyttjen. Die Nomenklatur autochthon bestimmter limnischer Ablagerungen muß dem Gehalt an röntgenamorpher Kieselsäure und dem Oxydationsgrad der Sedimente (unter striktem Sauerstoffabschluß gebildete Sedimente werden als Sapropelite bezeichnet) nicht Rechnung tragen, wenn die Bezeichnung Mudde benutzt wird. Limnite mit höherem Anteil pflanzlichen Materials (Übergang zum Torf) werden als Grobdetritusmudden, Limnite mit höherem Kalzitgehalt als Kalkmudden bezeichnet.

2. Sedimentgenese

Der trophische Status der Paläo-Havelseen schwankte infolge variierenden jedoch stetigen externen Nährstoffinputs zwischen meso- bis eutroph, was sich aus Diatomeenuntersuchungen in Sedimentkernen (Tegeler See: BERTZEN, 1987 [1]) und aus dem autochthon bedingten Sedimentzuwachs ableiten läßt (siehe PACHUR & RÖPER, 1987 [2]; SCHETTLER, 1992 [3]). Nach den vorliegenden Sedimentaufnahmen scheinen jährliche Sedimentzuwachsrate zwischen 1,5 und 2,5 mm für das Profundal der Paläo-Havelseen typisch. Die Genese der Limnite ist durch die Paläotrophie, die Beckenmorphologie, die Gewässertiefe und klimatische Faktoren bestimmt und unterlag allein auf Grund der Beckenverfüllung und damit abnehmender Wassertiefe einem Wandel. Für die Seen des Havelsystems ist zusätzlich zu berücksichtigen, daß der postglaziale eustatische Meeresspiegelanstieg nicht ohne Auswirkungen auf die Rückstauverhältnisse in der Elbe und Unterhavel geblieben ist und zusammen mit Aufsedimentationen bzw. Erosionen in den Abflußrinnen zu Wasserspiegelschwankungen im Verlaufe der spät- und postglazialen Entwicklungsgeschichte dieser Seen geführt hat. Indikationen für Seespiegelvariationen finden sich im Pollen- und Diatomeeninventar aber auch in geochemischen Profilen untersuchter Sedimentkerne aus den Havelseen (BERTZEN, 1987, WOLTER, 1992 [4], SCHETTLER & KLOSS, in Vorb.).

Durch fortlaufende Sedimentakkumulation hat sich beispielsweise der Breitlingsee vom dimiktischen zum ständig durchmischten Flachgewässer entwickelt. Der Verfasser zeigt (SCHETTLER in Vorb.), daß sich mit der Seeverflachung die Karbonat-, und

Phosphor-Rücklösung aus dem Paläooberflächensediment erhöhte (Abb. 1 und 2). Letzteres muß einen Auteutrophierungseffekt zur Folge gehabt haben.

In jüngster Zeit hat das Havelsystem eine zunehmende anthropogene Beeinflussung erfahren (vgl. andere Beiträge in diesem Heft). Die Oberflächensedimente des vom Verfasser untersuchten Breitlingsees zeichnen Gewässereutrophierung und Anstieg des Schwermetalleintrags nach (Abb. 3). Die durch die Gewässereutrophierung bedingten Veränderungen im Sedimentationsverlauf und daraus ableitbare Indikationen für Veränderungen des aquatischen Ökosystems lassen sich für den hypertrophen Breitlingsee wie folgt zusammenfassen und sind so sicherlich auf Havelseen vergleichbarer Morphologie übertragbar:

- Die Sedimentakkumulationsrate nimmt um ein Vielfaches zu und erreicht die Zentimetergrößenordnung.
- Mit drastischer Zunahme der Primärproduktion erhöht sich der Deposit biogenen Kalzits (Abb. 4).
- Der Mineralisierungsgrad des organogenen Deposits nimmt ab (increased burial of metabolizable organic matter). Damit kommen Sedimente mit höherem Phosphorgehalt als im Paläoflachsee zur Ablagerung (vgl. Abb. 2 und 5).
- Durch das verbesserte Angebot an metabolisierbarer organischer Substanz erhöhte sich der Netto-Schwefelflux in das Sediment (Abb. 6). Die bei der Sulfatreduktion „produzierte“ Alkanität wirkt der Karbonatrücklösung entgegen.
- Untersuchte Grobfractionen von Sedimentkurzkernen reflektieren einerseits das verbesserte Nahrungsangebot: Zunahme von Chitinresten und von Ostrakodenschalen, andererseits die Verschlechterung der Lebensbedingungen für einen Teil der sublitoralen aquatischen Fauna: Abnahme und Verschwinden von Schill (Abb. 7).

3. Stoffaustausch Wasserkörper/Sediment

Generell wird die Wechselwirkung Wasserkörper/Sediment im verflachten Gewässer wegen vielfach damit erhöhter Stoffrückflüsse in den überstehenden Wasserkörper bedeutsamer. Das betrifft insbesondere den Phosphorreflux aus dem Seesediment. Voraussetzung für eine diffusive Phosphorfreisetzung aus dem Sediment ist die Ausbildung eines auf den überstehenden Wasserkörper gerichteten Phosphorkonzentrationsgradienten im Interstitialwasser des Sediments. Wie im Freiwasser ist auch im sedimentären Environment zwischen anorganisch und organisch gebundenem Phosphor sowie gelöst und partikulär gebundenem Phosphor zu unterscheiden. Bei dem im Porenwasser der Havelsedimente gelösten Phosphor handelt es sich zum überwiegenden Teil um Orthophosphat. Die folgenden Betrachtun-

gen seien deshalb auch auf diese Phosphorkomponente (soluble reactive phosphorus, SRP-Phosphor) beschränkt.

Das Auftreten von im Porenwasser gelösten Phosphats setzt dessen Freisetzung vom partikulären Sedimentanteil (typischer Anteil: 5- Ma% in den oberen Zentimetern organogener Oberflächensedimente) voraus. In den Limniten der Havelseen röntgendiffraktometrisch nachweisbare Phosphormineralen sind: Hydroxyapatit und Vivianit, die sich jedoch teilweise erst im Verlaufe der Sedimentdiagenese bilden. Für bekannte oder angenommene Fe^{2+} - und Ca^{2+} - Aktivitäten sowie pH- und Eh-Werte lassen sich Gleichgewichtsaktivitäten des Phosphats mit diesen Mineralphasen berechnen. Unter oxydierenden Redoxverhältnissen stabile Fe(III)-Phosphate (z.B. Strengit) sind stabiler als Fe(II)-Phosphate und stehen aus diesem Grunde im Gleichgewicht mit deutlich niedrigeren Fe- und PO_4 -Aktivitäten. In den Oberflächensedimenten ist Phosphat sehr wahrscheinlich im nicht unwesentlichen Umfang auf karbonatischen Mineraloberflächen und an Eisenoxidhydroxid-Präzipitate gebunden, ohne daß von definierten Mineralphasen zu sprechen wäre.

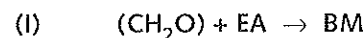
Zur Abschätzung der Phosphor-Remobilisierbarkeit sind chemische Speziationsverfahren entwickelt worden. Das Extraktionsverfahren von HIELTJES & LIJKLEMA (1980) [5] unterscheidet zwischen schwach gebundenem, mit NH_4Cl extrahierbarem Phosphor, NaOH- extrahierbarem Phosphor (dabei wird angenommen, daß bei diesem Extraktionsschritt an Fe-Präzipitate gebundenes Phosphat durch Hydroxylgruppen verdrängt wird) und mit HCl-extrahierbarem, also karbonatisch bzw. apatitisch gebundenem Phosphor. Die Differenz zum Gesamtphosphor wird als organisch gebundener Phosphor angenommen (z.B. Adenosintriphosphat und Nukleinsäuren der Bakterienbiomasse u.a.). Abbildung 8 zeigt die mit einem entsprechenden Extraktionsschema bestimmten Bindungsformen des Phosphors im Oberflächensediment des Breitlingsees.

Diffusive Stoffflüsse lassen sich durch Aufnahme von Porenwasserprofilen abschätzen. Die tatsächliche Phosphorfreisetzung aus Sedimenten kann höher sein, wenn neben dem Stofftransport eine zusätzliche konvektive Komponente, die durch die Lebens-tätigkeit des Makrozoobenthos oder durch die Freisetzung von Methangasblasen verursacht wird, zu berücksichtigen ist.

Untersuchungen im Breitlingsee (SCHETTLER, 1993 [6]) zeigen, daß der Stoffumsatz in Oberflächensedimenten von Flachseen, wie er sich durch die wiederholte Aufnahme von Porenwasserprofilen indizieren läßt, eine ausgeprägte jahreszeitliche Dynamik zeigt, deren Kenntnis zum besseren Verständnis des Phosphorreflux' beiträgt. Auf diese soll im folgenden näher eingegangen werden. Vorangestellt seien einige kurze Anmerkungen zum mikrobiell vermittel-

ten Stoffumsatz in organogenen Oberflächensedimenten, die zum Verständnis dieser Dynamik unerläßlich scheinen:

Von der im sedimentären Environment möglichen Vielfalt an heterotrophen und autotrophen Reaktionen zum Aufbau neuer bakterieller Biomasse - dem eigentlichen Lebensziel mikrobieller Aktivität - ist der photoautotrophe Pfad wegen der durch die Trophie der Havelgewässer bedingten Lichtlosigkeit am Gewässergrund quasi ohne Bedeutung, jedoch spielen chemoautotrophe Umsetzungen eine Rolle. Dazu gehören die Methanbildung, wenn CO_2 als Kohlenstoffquelle genutzt wird und einige innerhalb des Schwefelkreislaufs mögliche chemolithotrophe und chemosynthetische Reaktionspfade (siehe dazu EHR-LICH, 1990 [9]). Die Genese neuer Biomasse durch heterotrophe Bakterien im sedimentären Environment läßt sich vereinfacht durch die nachfolgende Gleichung beschreiben, wobei Nährstoffverfügbarkeit (N, P) vorausgesetzt wird:



(CH_2O) metabolisierbare organische Substanz
EA Elektronenakzeptor (O_2 , NO_3 , Mn(IV), Fe(III), SO_4 , z.B. CH_3COO bei der Methanogenese)

Nach Gleichung (I) metabolisierbare organische Substanz setzt deren intra- oder extrazelluläre enzymatische Aufbereitung aus dem im sedimentären Environment vorhandenen Inventar organischer Moleküle voraus. Eine weitere Voraussetzung stellt die Verfügbarkeit eines Elektronenakzeptors dar. Der Gewinn an molarer freier Reaktionsenergie bei Ablauf von Reaktion (I) ist je nach genutztem EA unterschiedlich. Der Reaktionspfad mit dem größten Gewinn an freier Reaktionsenergie ist aus thermodynamischen Erwägungen begünstigt. Daraus wird die angegebene Reihenfolge der Inanspruchnahme potentieller EAn und eine entsprechende Zonierung des Sediments abgeleitet (siehe z.B. FURRER & WEHRLI, 1993 [7]). Die Verfügbarkeit der EAn ist durch deren diffusiven Flux aus der überstehenden Wassersäule (O_2 , SO_4^{2-}) und für einige EAn durch ebenfalls mikrobiell vermittelte Elektronentransferreaktionen [Nitrifikation, Oxydation: $Fe(II) \rightarrow Fe(III)$, $Mn(II) \rightarrow Mn(III)$, $H_2S \rightarrow SO_4^{2-}$] bestimmt. Reduktionsprodukte von (I) (Methan und Schwefelwasserstoff) gelangen durch Diffusion in den aeroben Sedimentabschnitt und deren ebenfalls mikrobiell vermittelte aerobe Oxydation durch methanotrophe bzw. chemolithotrophe Bakterien tritt in Konkurrenz mit der aeroben Mineralisation des organogenen Deposits. Die H_2S -Oxydation kann prinzipiell auch anaerob erfolgen, z.B. durch *Thiobacillus denitrificans*.

Im Zeitraum 1991-1993 wurden zur Aufnahme von in-situ Porenwasserprofilen mit Hilfe von Tauchern wiederholt Dialysezellen in das Oberflächensediment des Breitling eingebracht. Die jeweilige Expositions-

zeit der Zellen betrug etwa 4 Wochen. Innerhalb dieser Zeitspanne war ein vollständiger Konzentrationsausgleich zwischen den Dialysekammern und dem Interstitialwasser gegeben. Die eingesetzten Dialysezellen (konstruktiver Aufbau: siehe SCHWEDHELM et al. 1988 [8]) geben ein über den Expositionszeitraum integriertes Bild der Porenwasserchemie mit einer vertikalen Auflösung von 1 cm. Die Kationenbestimmung erfolgte mittels ICP-AES aus einem mit HNO_3 -stabilisierten Probenaliquot, die Bestimmung der Anionen mittels Ionenchromatographie. Niedrige PO_4 -Gehalte wurden photometrisch analysiert.

Abbildung 9 zeigt die Ausbildung einer diskreten Sulfatreduktionszone im Oberflächensediment des Breitlingsees bei etwa 10 cm Sedimenttiefe mit der Erwärmung des Sediments im Frühjahr (März-April). Im Verlaufe des Mai erhöht sich die Sulfatreduktionsrate im Bereich dieser Zone und es kommt zur Freisetzung von zuvor an Fe-Präzipitaten gebundenem Orthophosphat (Abb. 11). Die Schwefelwasserstoff-Generation innerhalb der Sulfatreduktionszone führt nicht unmittelbar zur sulfidischen Fällung von Fe^{2+} -Ionen (siehe Abb. 10 und 12). Als Senken für den generierten Schwefelwasserstoff kommt dessen schneller Umsatz mit Fe(III)-Präzipitaten oder elementarem Schwefel in Frage. Für den Umsatz mit elementarem Schwefel zu Polysulfiden liegen indirekte Hinweise durch das Auftreten von Kationenpeaks im entsprechenden Porenwasserprofil vor (Abb. 19). Alkaliionen, Ammonium und Erdalkalien bilden stabile Polysulfidkomplexe und können zur Elution dieser Ionen von Kationenaustauschplätzen führen. Für die mögliche Remobilisierung von ^{137}Cs im sedimentären Environment ist diese Beeinflussung des Austauschgleichgewichts zwischen partikulärer und wässriger Phase von einiger Relevanz.

Mit fortlaufender Schwefelwasserstoffgeneration in der Sulfatreduktionszone setzt sich die Verdrängung von zuvor an Fe(II)-Präzipitate gebundenem Phosphat durch das Sulfid-Anionen fort (Abb. 13). Das SO_4 -Porenwasserprofil indiziert die Ausbildung weiterer diskreter SO_4 -Reduktionszonen, etwa bei 15 und 25 cm Sedimenttiefe. Die Beschleunigung der anaeroben Abbauvorgänge unter Nutzung von Sulfat als Elektronenakzeptor führt bis Juni zur vollständigen Inanspruchnahme des Sulfatinventars unterhalb 10 cm Sedimenttiefe und zur Verlagerung der Sulfatreduktion unmittelbar an die Grenzschicht Wasser/Sediment (Abb. 15).

Die Erhöhung des im Porenwasser gelösten Phosphatgehalts im Verlaufe des Frühjahrs geht auf die Freisetzung von zuvor an Fe gebundenen Phosphors zurück, gleichzeitig wird das gelöste Fe-Inventar im oberen Profilabschnitt vollständig sulfidisch gefällt. Im Verlaufe des Sommers (Abb. 15 und 17) findet die SO_4 -Reduktion quasi an der Grenzschicht Wasser/Sediment mit hoher Umsatzrate statt und ermöglicht nur einen geringen diffusiven SO_4 -Durchtritt in das

darunterliegende Sediment, den sulfatreduzierenden Bakterien ist damit eine Lebensgrundlage entzogen. Im Rahmen ihres Erhaltungsstoffwechsels scheinen sie noch über einige Zeit lebensfähig. In den Oberflächensedimenten des Breitling auftretende extrem hohe PO_4 -Porenwasserkonzentrationen ($> 50 \text{ mg/l PO}_4$) (Abb. 15) deuten auf die schließliche Autolyse ihrer bakteriellen Biomasse hin.

Die im Herbst aufgenommenen Porenwasserprofile zeichnen die Rediffusion des Sulfats in das Oberflächensediment des Breitling nach (Abb. 21 und 23). Diese Porenwasserprofile lassen sich wie folgt interpretieren:

Die Abkühlung des Oberflächensediments führt zur drastischen Verminderung der mikrobiellen Aktivität insbesondere der Sulfatreduktion an der Grenzschicht Wasser/Sediment. Das ermöglicht den diffusiven SO_4 -Durchtritt in das Sediment. Nach Temperaturadaptation scheint die Sulfatreduktion noch einmal mit höherer Umsatzrate an der Grenzfläche Wasser/Sediment abzulaufen. Der dabei generierte Schwefelwasserstoff verdrängt erneut Phosphat aus den während der vorangegangenen Oxydationsphase präzipitierten Fe-Oxiden. Bis zum späten Herbst stellen sich dann die schon im Herbst des Vorjahres beobachteten Verhältnisse im Interstitialwasser ein (vgl. Abb. 23, 25 und 26). Der konvexe Verlauf des SO_4 -Porenwasserprofils ist nicht als reines Diffusionsprofil erklärbar und indiziert die mikrobiell vermittelte Oxydation von vor allem im Verlaufe des Frühjahrs ausgefallenen Sulfiden. Die im Frühjahr festgestellten höheren Fe-Aktivitäten im oberen Profilabschnitt scheinen sich erst im Verlaufe des Winterhalbjahres zu regenerieren (vgl. Abb. 10 und 24).

Der heterotrophe mikrobielle Umsatz im Oberflächensediment eines hypertrophen Sees ist kaum durch die Verfügbarkeit metabolisierbarer organischer Materie, jedoch im starken Maße durch die Bereitstellung von Elektronenakzeptoren limitiert. Wie die Entwicklung der in den Abbildungen 9-26 dargestellten Porenwasserprofile zeigt, verläuft der Stoffumsatz im Oberflächensediment eines hypertrophen Flachwassersees mit einer beträchtlichen jahreszeitlichen Dynamik, die nicht ohne Auswirkungen auf den Stoffaustausch zwischen Sediment und Wasserkörper bleibt. Primärer Steuerparameter ist die Temperatur. Letzten Endes hält der diffusive EA-Flux in das Sediment mit den durch Temperaturanstieg accelerierenden EA-Senken im Sediment nicht Schritt. Die Erwärmung des Sediment erfolgt durch Wärmeleitung und führt zur Ausbildung deutlicher Temperaturprofile während der Erwärmungsphase im Frühjahr und der herbstlichen Abkühlung (Abb. 27). Diese vertikalen Temperaturvariationen tragen ihren Teil zur festgestellten Dynamik in Oberflächensedimenten bei. Die durch die Sediment Erwärmung bedingte Zunahme mikrobieller Aktivität betrifft auch die Methanogenese. Methan und der bei der Sulfatreduktion frei-

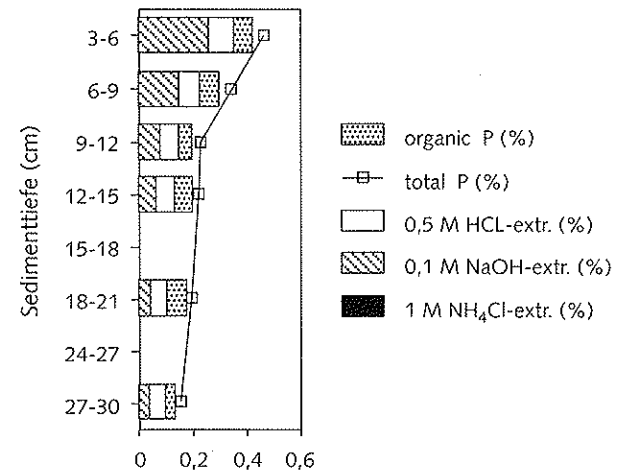
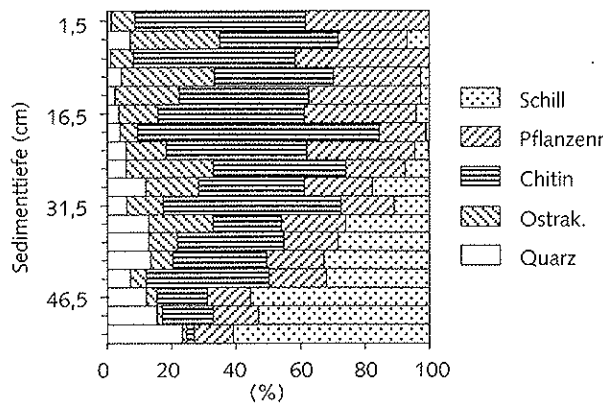
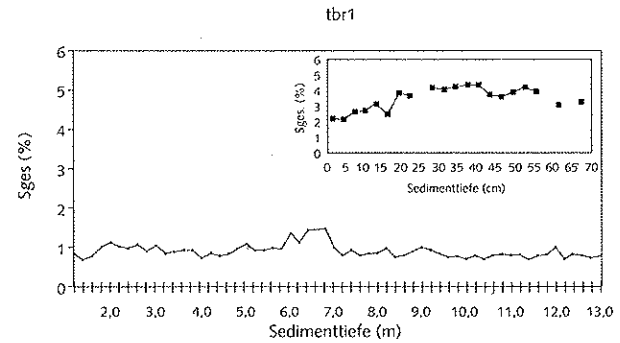
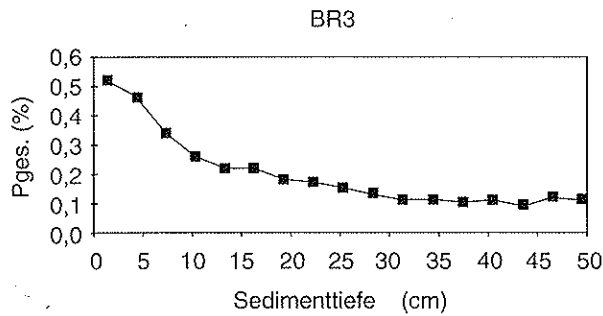
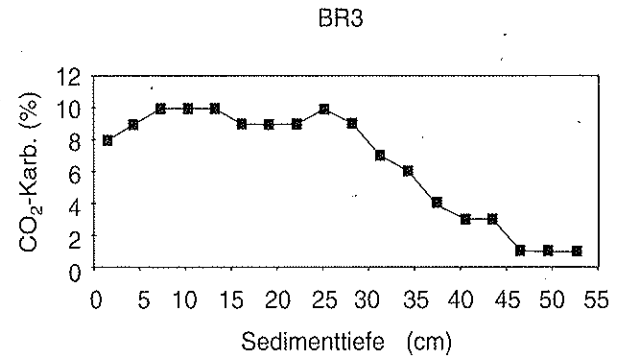
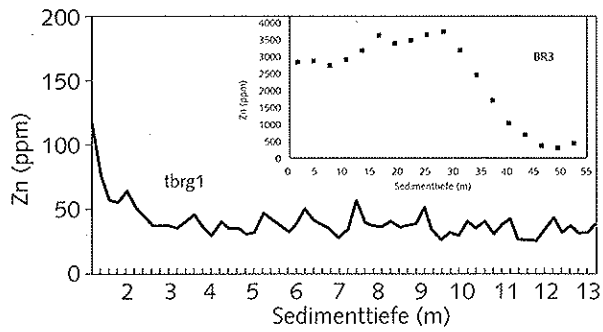
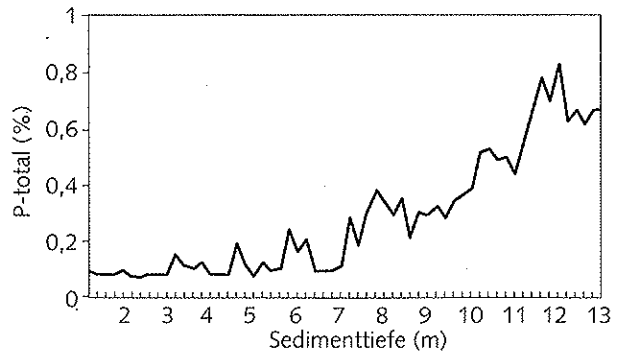
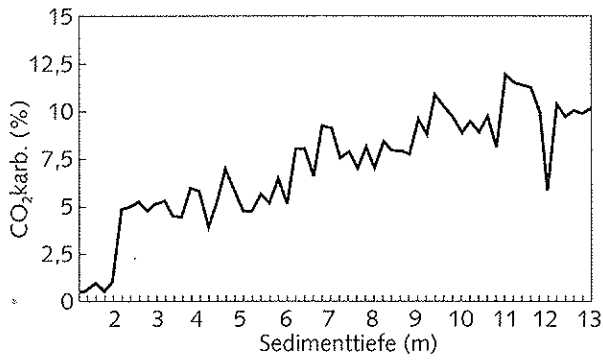


Abb. 1 bis 8 (von links oben nach rechts unten): Geochemische Sedimentprofile aus dem Breitlingsee

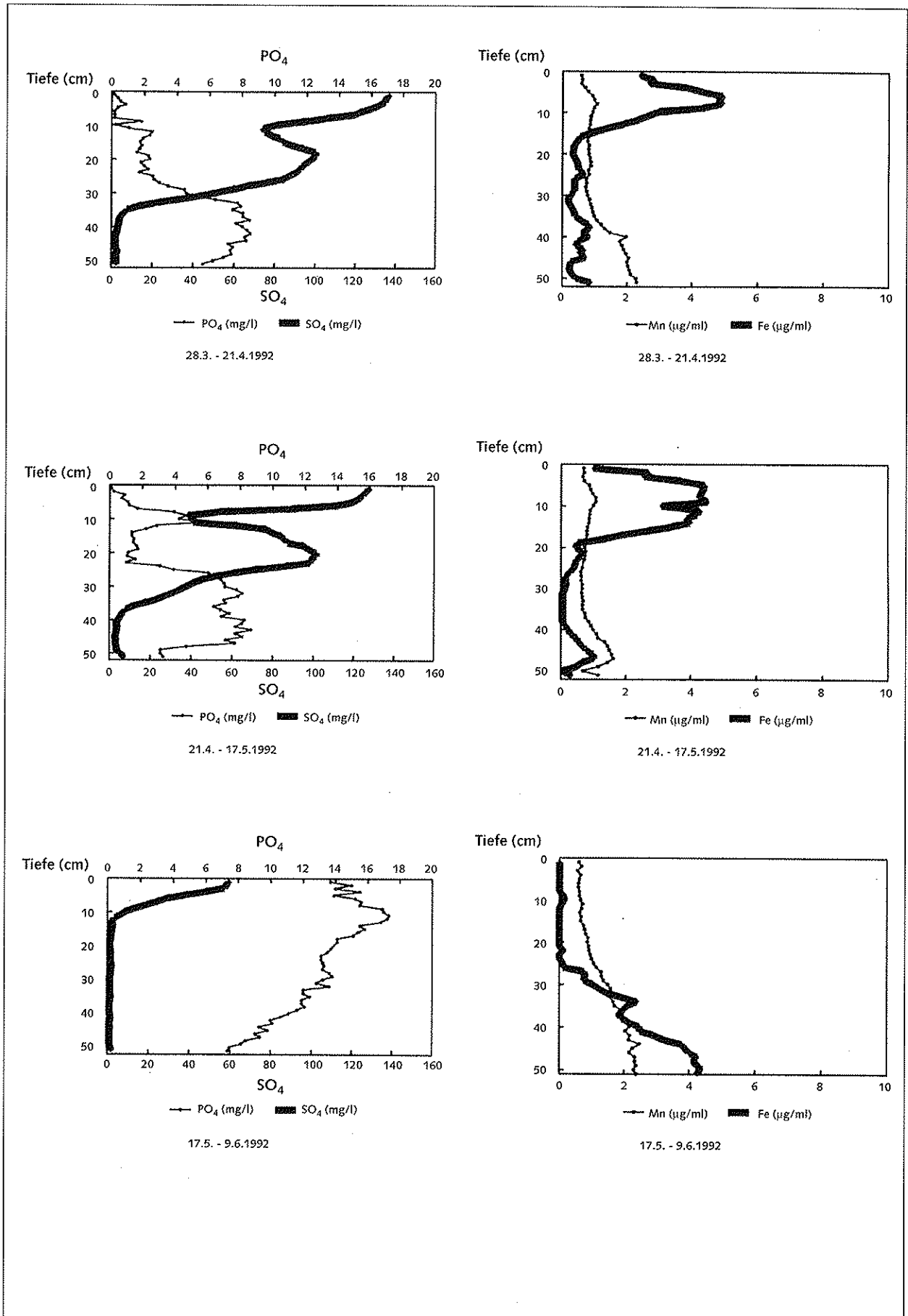


Abb. 9 bis 14: Porenwasserprofile von SO₄ und PO₄ bzw. Fe und Mn aus dem Oberflächensediment des Breitling

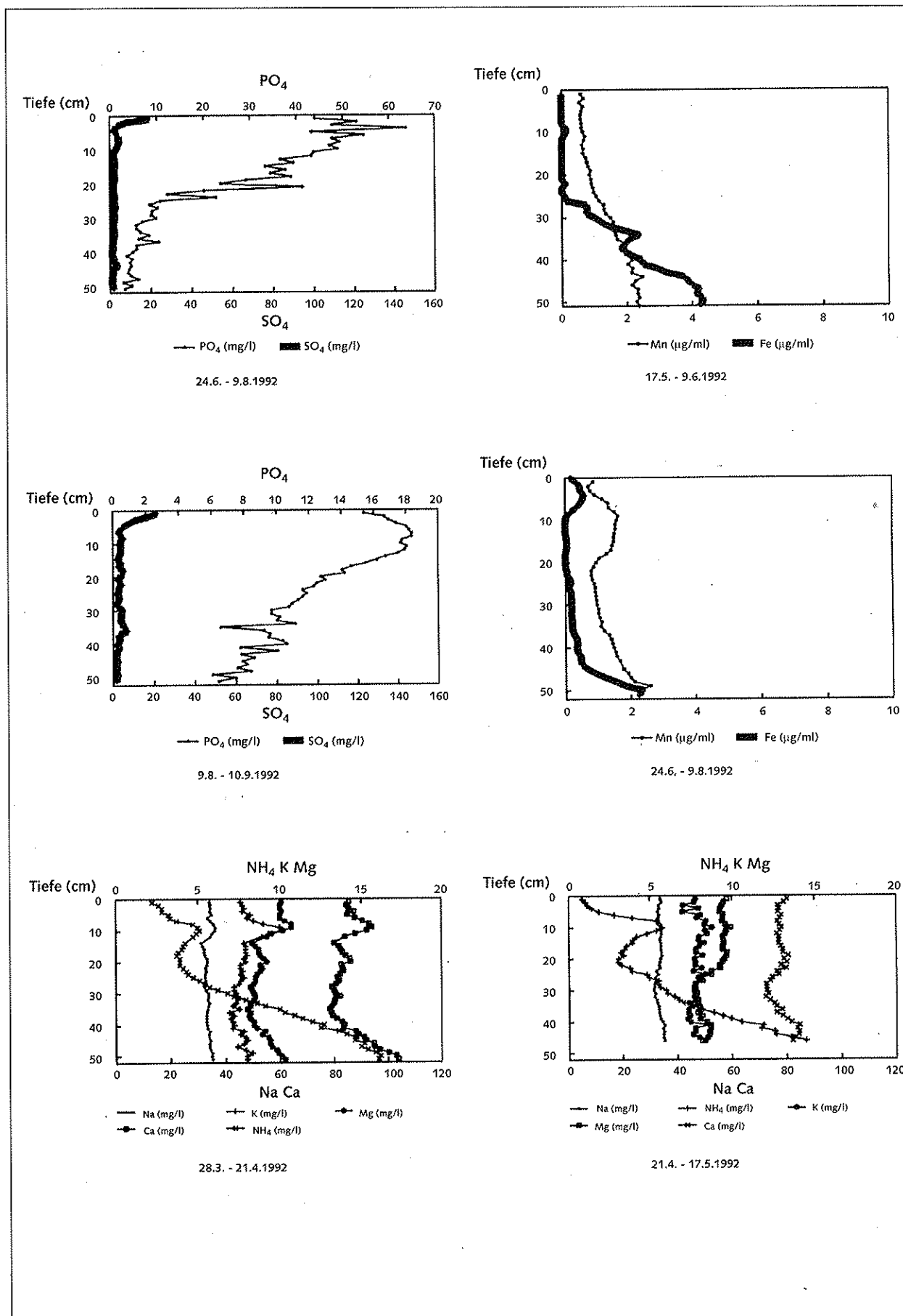


Abb. 15 bis 20: Porenwasserprofile von SO₄ und PO₄ bzw. Fe und Mn aus dem Oberflächensediment des Breitling

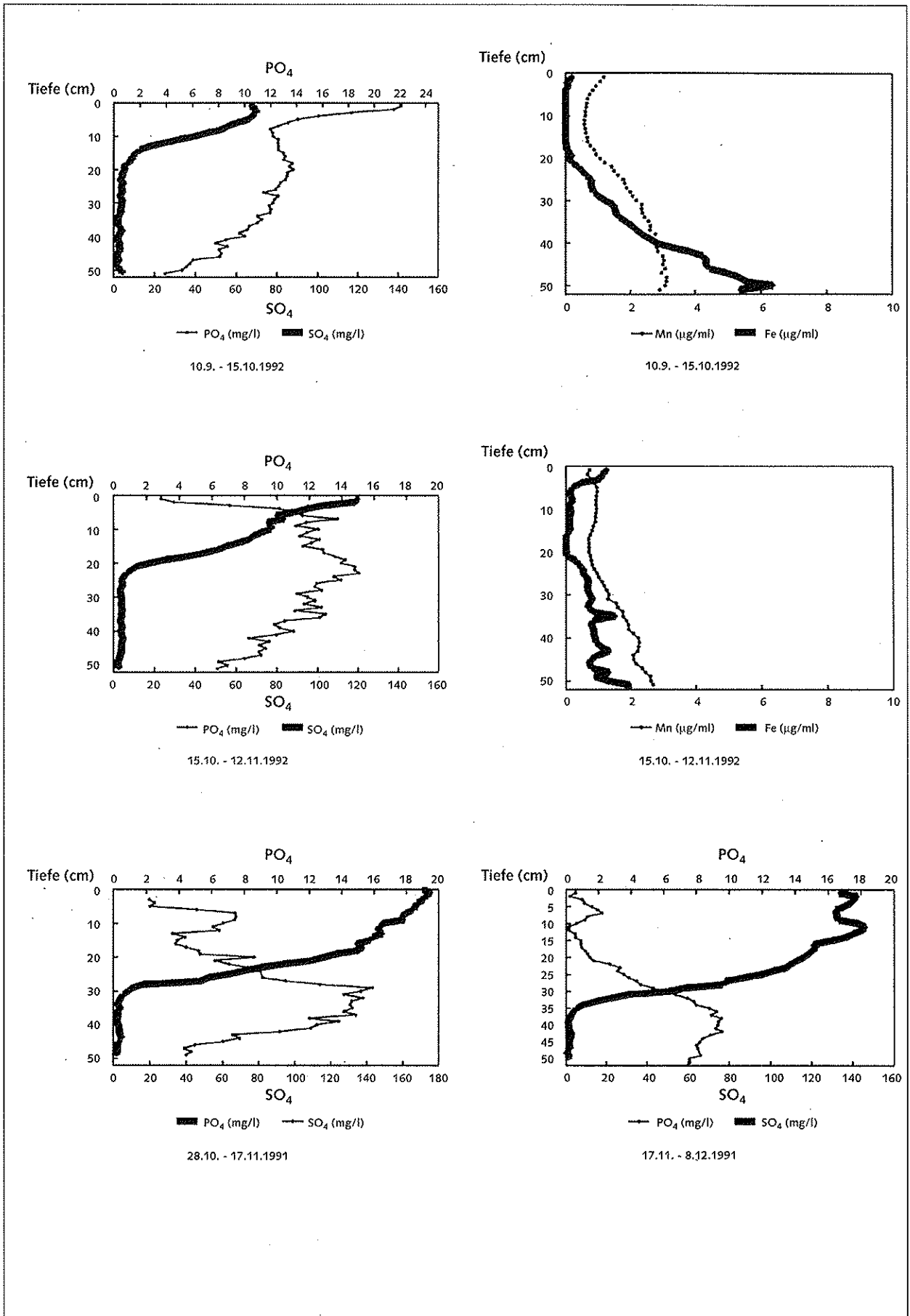


Abb. 21 bis 26: Porenwasserprofile von SO_4 und PO_4 bzw. Fe und Mn aus dem Oberflächensediment des Breitling

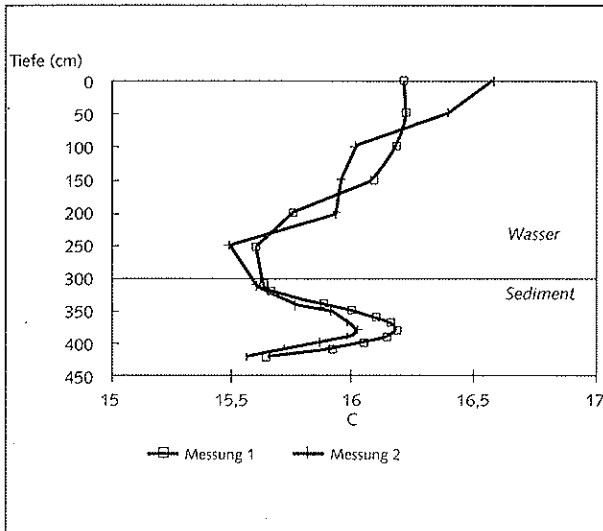


Abb. 27: Temperaturprofile aus dem Breitlingsee

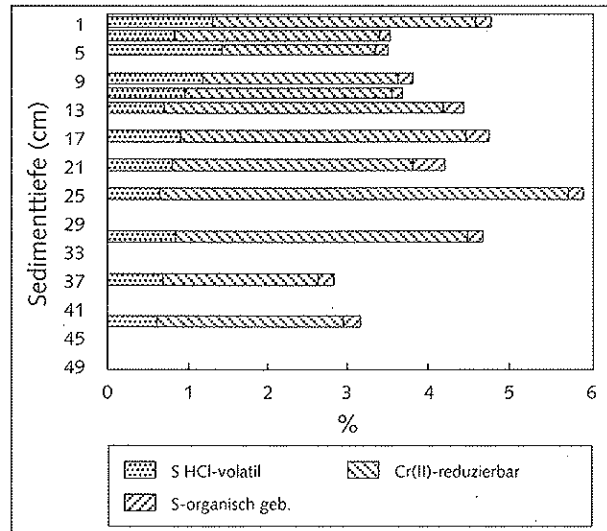


Abb. 28: Schwefelspeziation eines aerob inkubierten Sedimentkerns aus dem Breitlingsee

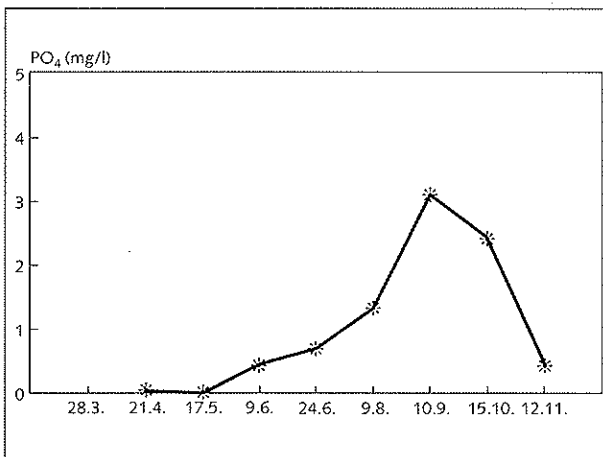


Abb. 29: Jahresganglinie von PO_4 im Breitlingsee (1992)

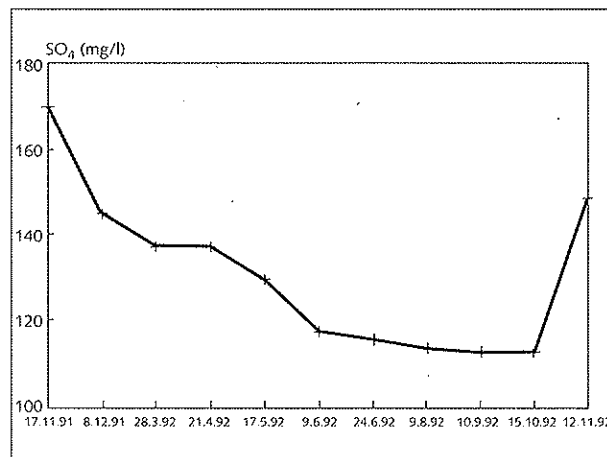


Abb. 30: Jahresganglinie des Sulfats im Breitlingsee (1991-1992)

gesetzte Schwefelwasserstoff können mit höheren diffusiven Fluxraten in den aeroben Sedimentabschnitt gelangen und deren ebenfalls mikrobiell vermittelte aerobe Oxydation beansprucht den in das Sediment gerichteten diffusiven Sauerstofffluss zusätzlich. Allerdings geben die aufgenommenen Porenwasserprofile Hinweise auf wirksame abiotische Schwefelwasserstoffsenken. Dazu gehören der Umsatz mit elementarem Schwefel zu Polysulfiden, der Umsatz mit Fe(II)- und Fe(III)-Präzipitaten zu Eisenmonosulfid und die sulfidische Ausfällung des gelösten Fe^{2+} -Inventars. In den Oberflächensedimenten des Breitling läßt sich durch geeignete Speziationsverfahren monosulfidisch und pyritisch gebundener Schwefel nachweisen (Abb. 28). Auch in den obersten Sedimentabschnitten von im zeitigen Frühjahr (März) entnommenen Sedimentkernen aus dem Breitling, die keine Schwarzfärbung durch Eisenmonosulfid zeigen, tritt im erheblichen Umfang Pyrit auf. Pyrit erweist sich im gut gepufferten sedimentären Environment (vgl. Karbonatinventar dieser

Sedimente) im Vergleich zu Eisenmonosulfid als relativ oxydationsunempfindlich. Der Verfasser vermutet, daß der Umsatz von Eisenmonosulfid mit elementarem Schwefel bzw. Polysulfid die Dominanz pyritisch gebundenen Schwefels in den Oberflächensedimenten des Breitling erklärt. Die jahreszeitliche Verlagerung der Sulfatreduktionszone ist die Voraussetzung, daß Produkte des reduktiven und oxydativen Schwefelzyklus überhaupt im dafür erforderlichen Umfang im Oberflächensediment aufeinandertreffen.

Welche Rolle Fe(III), Mn(III,IV) und Nitrat beim mikrobiell vermittelten Abbau im Oberflächensediment des Breitling spielen, ist durch die durchgeführten Untersuchungen nicht endgültig abgeklärt worden. Die Stabilität des Mn^{2+} -Porenwasserprofils über den gesamten Beobachtungszeitraum und das im Vergleich zu Eisen um das Zwanzigfache niedrigere Mangan-Inventar lassen darauf schließen, daß Mangan als Elektronenakzeptor allenfalls eine unterge-

ordnete Rolle unmittelbar an der Phasengrenze Wasser/Sediment für die anaerobe Mineralisation des organogenen Deposits spielt.

Am Ende der winterlichen Reoxydationsphase sind etwa 50 Prozent des partikulären sedimentären Eiseninventars pyritisch gebunden. Eisen gelangt gelöst oder kolloid gelöst, vielfach an Humin- und Fulvosäuren gebunden, über die Zuflüsse und fluvial partikulär transportiert sowie äolisch in das Gewässer. Im belüfteten Environment des Sees kommt es zur Präzipitation von Fe-Oxiden. Diese Fe-Präzipitate stellen das eigentliche reaktive Eiseninventar im Sediment dar. Der an den akzessorischen minerogenen Eintrag (Ilmenit, Magnetit, Biotit, Titanogit, Feldspäte) gebundene Fe-Input verhält sich im sedimentären Environment bei Betrachtung jahreszeitlicher Prozeßabläufe quasi inert, so daß bei Gesamteisengehalten zwischen 0.15 und 0.3 g je 100 g Naßschlamm das nach der Reoxydationsphase zu erwartende Fe(III)-Inventar nicht erheblich sein muß. Dabei besteht kaum Klarheit darüber, wie Eisen- und Schwefeloxydation miteinander konkurrieren. Leicht oxydierbare sulfidische Präzipitate sind auf Grund der diskreten Ausbildung von Sulfatreduktionszonen durchaus nicht gleichmäßig im Sedimentprofil verteilt und schließen deshalb nicht aus, daß Fe(III)-Präzipitate in tieferen Sedimentabschnitten auftreten, obwohl sie in höheren Profilabschnitten fehlen. Man muß sich darüber im klaren sein, daß mikrobiell vermittelte aerobe Oxydationsvorgänge im niedrig temperierten Sediment nur mit langsamer Umsatzrate ablaufen können und deshalb den diffusiven Sauerstoffdurchtritt in tieferliegende Sedimentabschnitte ermöglichen können.

Der geringe Kenntnisstand zum Ablauf der winterlichen Oxydationsphase in den großen Havelseen hat seine Ursache in Beprobungsschwierigkeiten. In den vergangenen Jahren waren die Seen nur von einer dünnen, nicht betretbaren Eisdecke überzogen, so daß Beprobungen, wie sie im Sommerhalbjahr durchgeführt wurden, nicht möglich waren.

Die über das Sommerhalbjahr aufgenommenen Porenwasserprofile lassen sich hinsichtlich der Ausbildung einer diskreten Sulfatreduktionszone bei 12 cm Sedimenttiefe und der Nichtinanspruchnahme eines vermuteten reaktiven Fe(III)-Inventars als EA (was thermodynamisch paradox ist) in einem darunterliegenden Sedimentabschnitt am schlüssigsten interpretieren, wenn die von oben nach unten erfolgende Durchwärmung des Sedimentkörpers im Verlaufe des Frühjahrs in Betracht gezogen wird.

4. Quantifizierung von Austauschraten

Das PO_4 -Porenwasserprofil (Abb. 13) gibt wie alle anderen dargestellten Interstitialwasserprofile ein zeitlich über den Expositionszeitraum der Dialysezelle intergriertes Bild der Porenwasserchemie. Durch die

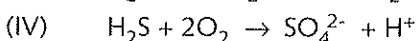
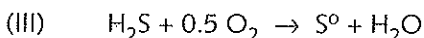
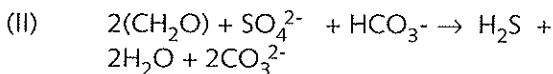
vornehmlich windinduzierte Wasserbewegung im Breiüling kann die Profilfortsetzung im Freiwasser eine hohe zeitlich Variation aufweisen, über die es müßig wäre zu spekulieren. Entwickelt sich das in Abbildung 13 dargestellte PO_4 -Konzentrationsprofil innerhalb von 2 cm gegen Null, wäre näherungsweise ein diffusiver Phosphorflux von $\sim 30 \text{ mg PO}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ableitbar.

Es wurden PO_4 -Freisetzungsraten in aeroben Durchflußexperimenten bestimmt (SCHETTLER, 1993 [6]). Dazu wurden insgesamt 6 ungestörte Sedimentkerne ($d_i = 100 \text{ mm}$) aus dem Oberflächensediment des Breiüling bei $16 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ im Durchfluß (2.2 l d^{-1}) in Langzeitversuchen inkubiert. Simuliert wurden damit Temperaturverhältnisse, wie sie im Mai oder September im Oberflächensediment des Breiüling vorliegen. Mit Ausnahme eines über einen längeren Zeitraum zuvor anaerob inkubierten Sedimentkerns waren alle Kerne mit Chirinomiden und Tubifiziden besetzt ($< 10 \text{ l}$). Durch die Durchflußexperimente war der Lebenszyklus der Zuckmückenlarven nicht gestört. Im Verlaufe der Experimente kam es zum Schlüpfen der Insekten, so daß mit der Experimentfortdauer keine Chirinomiden mehr feststellbar waren. Die Phosphatfreisetzungsraten aller aeroben Durchflußexperimente zeigten eine ähnliche zeitliche Entwicklung. Nach anfänglich hohen Freisetzungsraten (bis um $200 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ging die Freisetzungsraten auf deutlich niedrigeres Niveau zurück. Die sich im mehrmonatigen aeroben Experiment einstellenden Phosphatfreisetzungsraten lagen zwischen 10 und $20 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ mit gelegentlichen Anstiegen bis auf $50 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Freisetzung von Methangasblasen). Der zuvor anaerob inkubierte Sedimentkern zeigte weniger schwankende PO_4 -Freisetzungsraten auf geringfügig höherem Niveau (um $30 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), was auf die fehlende Lebenstätigkeit benthischer Organismen zurückgeführt wurde. Die Gesamt- PO_4 -Freisetzung über 4.000 Stunden lag für die einzelnen Sedimentkerne zwischen 8.000 und 13.000 mg m^{-2} . Das Gesamt- PO_4 -Inventar der oberen 5 cm Oberflächensediment im Bereich der Kernentnahme liegt um 35.000 mg m^{-2} . Die Ergebnisse verdeutlichen den hohen Phosphorreflux aus dem temperierten Oberflächensediment eines hypertrophen Havelsees auch unter aeroben Wasserüberstand. Die Inkubationsexperimente können allerdings nicht den permanenten Sedimentzuwachs, der im realen Gewässer zur Versenkung remobilisierbaren Phosphors beiträgt, simulieren. Darüber hinaus sind über einen Zeitraum von über 160 Tagen konstante Temperaturverhältnisse am Gewässergrund ungeschichteter Seen nicht zu erwarten.

5. Zusammenfassung

Die vorgestellten Untersuchungen machen deutlich, in welchem Maße der diffusive Phosphorreflux aus dem Oberflächensediment durch den Schwefelkreislauf und das reaktive Eiseninventar bestimmt ist. Die

reversible Immobilisierung des Phosphors erfolgt durch Fe-Präzipitate, seine Remobilisierung vornehmlich durch sulfidische Verdrängung aus diesen Präzipitaten. Durch die Gewässereutrophierung hat sich infolge angestiegenen biogenen kalzitischen Deposits und verminderter Kalzitrücklösung das Karbonat-Inventar der Oberflächensedimente drastisch erhöht. Die Phosphorimmobilisierung an karbonatischen Mineralphasen und im Hydroxyapatit ist von Bedeutung. Die Remobilisierung dieses Phosphoranteils ist an pH-Wert erniedrigende Reaktionspfade gekoppelt. Dazu zählen der aerobe Umsatz des organogenen Deposits und die Schwefelwasserstoffoxydation nach Gleichung (IV). Der aerobe Umsatz verlagert sich im Verlaufe des Frühjahrs zusammen mit der Sulfatreduktion in den unmittelbaren Grenzbe- reich Wasser/Sediment. Es ist fraglich, ob der für die aerobe Schwefelwasserstoffoxydation erforderliche Sauerstoffbedarf überhaupt noch den aeroben Abbau metabolisierbarer Organik ermöglicht. Die zu berücksichtigende Oxydation von S^{2-} erfolgt teilweise nur bis zum elementaren Schwefel und trägt nicht zu pH-Erniedrigung bei. Andererseits produziert die Sulfatreduktion im Verlaufe des Frühjahrs Alkanität, was neben dem erheblichen partikulären Karbonatinventar zur Stabilisierung der pH-Verhältnisse im Interstitialwasser beiträgt.



Die Jahresganglinien von Phosphat und Sulfat im Wasserkörper des Breitling zeichnen die Stoffflüsse zwischen Sediment und Wasserkörper nach (siehe Abb. 29 und 30). Die Abnahme des SO_4 -Gehalts im Wasserkörper des Sees im Verlaufe des Frühjahrs resultiert aus dem auf die Sulfatreduktionszone gerichteten diffusiven SO_4 -Fluß in das Sediment. Der im Winterhalbjahr festgestellte hohe SO_4 -Gehalt läßt sich auf einen Schwefelfluß aus dem Sediment im Zuge der Reoxydation des Oberflächensediments zurückführen. Trotz stabil hoher Sulfatreduktionsraten während des Sommers im Bereich der Grenzfläche Wasser/Sediment verringert sich der Sulfatgehalt im Wasserkörper des Sees nur geringfügig. Das läßt auf einen kleinräumigen intensiven Oxydations-Reduktionszyklus des Schwefels im Bereich der Phasengrenze Wasser/Sediment schließen. Zwischen der Jahresganglinie des Phosphats im Wasserkörper des Sees und den im Oberflächensediment auftretenden Porenwasserprofilen des Phosphors existiert ebenfalls ein offensichtlicher Zusammenhang.

Anerkennungen

Die Sedimentkernentnahmen erfolgten mit finanzieller Unterstützung der Wasserwirtschaftsdirektion Oder/Havel in Potsdam unter Mitwirkung der Fa.

Düngestoffe Groß-Kreutz, die Aufnahme der Porenwasserprofile wurde durch eine Finanzbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Projekt: Sche 372/1-2) ermöglicht. Meßtechnische und logistische Unterstützung gewährte das Zentralinstitut für Physik der Erde und das GeoForschungsZentrum Potsdam. Neben diesen Körperschaften bin ich Frau Dipl.-Chem. Heilek und Herrn Uwe Neumann für die geleistete Mitarbeit zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Literatur

- [1] BERTZEN, G. (1987): Diatomeenanalytische Untersuchungen an spätpleistozänen und holozänen Sedimenten des Tegeler Sees. - Berliner Geographische Abhandlungen, Heft 45, 150 S.
- [2] PACHUR, H.-J.; RÖPER, H.-P. (1987): Zur Paläolimnologie Berliner Seen. - Berliner Geographische Abhandlungen H. 44, 150 S.
- [3] SCHEITTLER, G. (1992): Verteilung ausgewählter toxischer Spurenelemente im Sediment des Breitlingsees bei Brandenburg. - Acta hydrochim. hydrobiol. 20, 142-149
- [4] WOLTER, K.-D. (1992): Paläolimnologie des Tegeler Sees (Berlin). Ein Beitrag zur Analyse der postglazialen Entwicklung von Seen und Einzugsgebieten. - Schriftenreihe der Gesellschaft für Gewässerbewirtschaftung und des Fachgebiets Limnologie der TU Berlin, Ökosystemforschung und Gewässerbewirtschaftung, H. 3, 162 S.
- [5] HIELTJES, A.H.M.; LIJKLEMA, L. (1980): Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. - J. Environ. Qual. 9, 3, 405-40
- [6] SCHEITTLER, G. (1993): Arbeitsbericht zum DFG-Vorhaben „Dynamik und Bilanz des Schadstoffaustauschs zwischen Sediment und Wasserkörper in umweltbelasteten Havelseen“
- [7] FURRER, G.; WEHRLI, B. (1993): Biogeochemical processes at the sediment-water interface: measurements and modelling. - Applied Geochemistry: Environmental Geochemistry, Selected Papers from the 2nd International Symposium, Uppsala, Sweden 16-19. September 1991, 117-119
- [8] SCHWEDHELM, E.; VOLLMER, M.; KERSTEN, M. (1988): Bestimmung von Konzentrationsgradienten gelöster Schwermetalle an der Sediment/Wasser Grenzfläche mit Hilfe der Dialysetechnik. - Fresenius Z. Anal. Chem. 32, 756-763
- [9] EHRlich, H.L. (1990): Geomicrobiology. - Marcel Dekker Verlag New York, 646 S.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Geochemisches Sedimentprofil des karbonatisch gebundenen Kohlenstoffs aus dem Breitlingsee, < 0,185 mm Fraktion des gefriergetrockneten Sediments, Kern tbr1 (SCHEITTLER, 92), 13 m entspricht ca. 5.000 Jahre BP
- Abb. 2: Geochemisches Sedimentprofil des Phosphors aus dem Breitlingsee, Kern tbr1 (vgl. Abbildung 1)
- Abb. 3: Geochemisches Sedimentprofil des Zinks, Kern tbr1 und BR 3, 1,2 m entspricht ca. 1900 (vgl. Abbildung 1)
- Abb. 4: Geochemisches Sedimentprofil des karbonatisch gebundenen Kohlenstoffs aus dem Oberflächensediment des Breitlingsees, Kern BR 3 (vgl. Abbildung 1)
- Abb. 5: Geochemisches Sedimentprofil des Phosphors aus dem Breitlingsee, Kern BR 3 (vgl. Abbildung 1)
- Abb. 6: Geochemisches Sedimentprofil des Schwefels, Kern tbr1 (vgl. Abbildung 1)
- Abb. 7: Komponentenanalyse des Oberflächensediments im Breitlingsee, Kern BR 16, Bearbeiter BERGMANN (1990), > 0,185 mm Fraktion
- Abb. 8: Phosphorspeziation im Oberflächensediment des Breitlings, Kern BR 2, Extraktionsschema nach HIELTJES & LIJKLEMA (1980), Probenpräparation (vgl. Abbildung 1), total-P-Bestimmung mit ICP-AES
- Abb. 9 - 14: Porenwasserprofile von SO_4 und PO_4 bzw. Fe und Mn aus dem Oberflächensediment des Breitling. Beprobung mittels in-situ-Dialysetechnik, Zeitangabe entspricht Expositionsdauer des Dialysezellen, von links oben nach rechts unten

Abb. 15 - 20:

Porenwasserprofile von SO_4 und PO_4 bzw. Fe und Mn aus dem Oberflächensediment des Breitling. Beprobung mittels in-situ-Dialysetechnik, Zeitangabe entspricht Expositionsdauer des Dialysezellen, von links oben nach rechts unten

Abb. 21 - 26:

Porenwasserprofile von SO_4 und PO_4 bzw. Fe und Mn aus dem Oberflächensediment des Breitling. Beprobung mittels in-situ-Dialysetechnik, Zeitangabe entspricht Expositionsdauer des Dialysezellen, von links oben nach rechts unten

Abb. 27:

Temperaturprofile aus dem Breitlingsee über die Grenzschicht Wasser/Sediment, aufgenommen am 10.09.1992

Abb. 28:

Schwefelspeziation eines aerob inkubierten Sedimentkerns aus dem Breitlingsee, Fraktion (HCl-volatil) entspricht monosulfidisch gebundenem

Schwefel, Fraktion (Cr(II)-reduzierbar) entspricht Summe aus elementarem und pyritisch gebundenem Schwefel

Abb. 29:

Jahresganglinie von PO_4 im Breitlingsee (1992)

Abb. 30:

Jahresganglinie des Sulfats im Breitlingsee (1991-1992)

Dr. rer. nat. Georg Schettler
Geoforschungszentrum Potsdam
Projektbereich 3.1
Telegrafenberg C2
14473 Potsdam

Zur Problematik der Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten der Potsdamer Havelseen

Im Stoffhaushalt der Gewässer spielen die Sedimente eine große, manchmal sogar eine zentrale Rolle.

Die für die Bioproduktion wichtigen Nährstoffe Phosphor und Stickstoff sind hier sowohl in anorganischen als auch in organischen Bindungsformen gegenüber dem Wasserkörper angereichert. Zwischen Sedimentbeschaffenheit und Wasserqualität bestehen in Abhängigkeit von den physikalischen, chemischen, biologischen, hydrologischen und geomorphologischen Bedingungen direkte Beziehungen, die dazu führen, daß das Sediment einmal als Nährstofffalle und zum anderen als Nährstoffquelle fungiert.

Besonders im Zusammenhang mit der Planung und Realisierung von Sanierungsmaßnahmen ist der Einfluß der Sedimente auf das Pelagial immer mit zu betrachten. Es gibt zahlreiche Beispiele in der Literatur, wo Einzugsgebietssanierungen besonders bei Flachseen mit großen Aufenthaltszeiten nicht den gewünschten Sanierungseffekt gebracht haben (BJÖRK, 1972 [1], RYDING und Mitarb., 1977 [2]). Durch die interne Düngung, d.h., durch die Nährstoffrückführung aus dem sedimentierten Material und aus dem Sediment wird der Nährstoffpool im Freiwasser so hoch gehalten, daß die erwartete Trophiesenkung nicht oder nur sehr stark verzögert eintritt. Die Stärke der Sedimentschicht, die im Austausch mit dem freien Wasser steht, schwankt nach Angaben in der Literatur zwischen 1 mm (HAYES, 1955 [3]) und 15 cm (HOLDEN, 1961 [4]), wobei die Mehrzahl der Autoren eine aktive, d.h., einen Einfluß auf das Pelagial ausübende Schicht von 2 - 6 cm angeben.

Die Phosphorfreisetzung aus dem Sediment ist das Ergebnis sehr vielfältiger Stoffumwandlungsprozesse, wobei erst die synoptische Betrachtung der einzelnen Stoffkreisläufe (Kohlenstoff-, Sauerstoff-, Stickstoff-,

Phosphor-, Schwefel- und Eisenkreislauf) eine Gesamteinschätzung der Abhängigkeiten ermöglicht.

Die folgende Übersicht zeigt stichpunktartig die wichtigsten Faktoren, von denen die Phosphorfreisetzung beeinflusst wird:

- Sauerstoffverhältnisse, Redoxbedingungen
 - Unterversorgung der biologisch höchst aktiven Sediment- Wasser- Grenzschicht mit Sauerstoff.
 - Ausfall von Nitrat als Elektronenakzeptor (Oxydationsmittel - NO_3) nach Konzentrationsrückgang im Sommer.
 - Abbau der organischen Substanz bei Sauerstoffmangel durch Sulfatatmung (Desulfurikation).
 - Das dabei frei werdende H_2S hebt die P-Bindung an Fe durch Eisensulfidbildung auf.
 - Hohe Sulfatkonzentrationen bedingen durch Sulfidbildung hohe Freisetzungen.
- Organische Substanz
 - Autochthone Belastung durch Sedimentation abgestorbener Biomasse
 - Restbelastung aus Kläranlagen
- Temperatur
- pH-Wert
- Bakterien (P-Bindung, P-Freisetzung)
 - Fakultativ anaerobe Bakterien können unter aeroben Bedingungen Phosphor speichern. Unter anaeroben Bedingungen geben sie Phosphor wieder frei.
 - Autolyse von Zellen
- Gesamtposphorgehalt des Sedimentes und des Interstitialwassers
 - Diffusion
 - Abbau von Konzentrationsgradienten
- Gasblasenkonvektion (Methanbildung)
- Fische, Zoobenthonorganismen
- Wind, Strömung

Spezielle Untersuchungen zur Quantifizierung des Einflusses der einzelnen Faktoren auf die Phosphorfreisetzung aus dem Sediment liegen z.Z. im Landesumweltamt noch nicht vor. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeit von SCHETTLER im gleichen Heft verwiesen.

Der Autor des vorliegenden Beitrages versucht, die Phosphorfreisetzung mittels Nährstoffbilanzen zu quantifizieren. Das Gewässer wird als „black box system“ betrachtet.

Die einfachste Form von Nährstoffbilanzen sind „Oberflächenbilanzen“, d.h., die Differenzbildung zwischen allen Zu- und Abflüssen.

Diese „Oberflächenbilanzen“ berücksichtigen nur Konzentrationen oder Frachten bei Vernachlässigung der zeitlichen Dynamik.

Für den Templiner See zwischen Potsdam und Caphuth liegen von KLOSE (pers. Mitt.) entsprechende Untersuchungen vor.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

Die Erfassung der seeinternen Stoffumsetzungsprozesse ist durch die Anwendung einer dynamischen Massenbilanzgleichung möglich. Durch den Autor erfolgte eine Nährstoffbilanzierung des Schwielow-Sees nach folgender Formel:

Bilanzgleichung

$$\frac{dC}{dt} = f(x) + \frac{Q_z \cdot C_z}{V} - \frac{Q_A \cdot C_A}{V}$$

$\frac{dC}{dt}$ = Nährstoffkonzentrationsänderung im See zwischen zwei Meßterminen

Q_z = Zuflußmenge

C_z = Konzentration im Zufluß

Q_A = Abflußmenge

C_A = Konzentration im Abfluß

V = Seevolumen

$f(x)$ = Nährstofffreisetzung bzw. Eliminierung

Der Schwielow-See ist ein typischer Havelsee u.h. Potsdams, der extrem starke Eutrophierungserscheinungen aufweist.

Angaben zur allgemeinen Seecharakteristik:

Fläche	:	850 ha
max. Tiefe	:	6,5 m
mittl. Tiefe	:	2,9 m
Volumen	:	24,65 Mill m ³
Verweilzeit	:	7-30 d

Der Schwielow-See ist ein hypertropher, im Normalfall ungeschichteter Flachsee. Infolge länger anhaltender windstiller Wetterlage sind temporäre Schichtungen mit starkem O₂-Abfall in Sedimentnähe in der Vergangenheit regelmäßig beobachtet worden.

Bei der Aufstellung der Phosphorbilanz wurde zur Vereinfachung von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Die ein- und ausfließende Wassermenge ist gleich. Auftretende Wasserstandsänderungen, Verdunstung und evtl. GW-Infiltration wurden vernachlässigt.
- Der Nährstoffimport durch Seenutzung, Niederschläge, Flächenabtrag aus dem direkten Seeinzugsgebiet wurden nicht berücksichtigt.
- Der Seekörper wurde als homogen durchmischter Reaktor betrachtet.

Bei der Bewertung der Bilanzen ist zu beachten, daß sie das Resultat von Verlust- (Ablagerung im Bodensediment) und Freisetzungsprozessen sind; was wir auf diese Weise beobachten können, ist lediglich die Nettoänderung.

Dies bedeutet, daß Zeiten mit Nettoverlusten durchaus Freisetzungen aufweisen können, die aber durch die Verlustprozesse überkompensiert werden. Deshalb ist eine kausale Zuordnung zu einzelnen Wirkmechanismen ohne weitere Informationen nicht möglich. Es können vielmehr nur mehr oder minder plausible Ursachen für die beobachtete Phänomäne genannt werden, deren Zuordnung aber nicht eindeutig ist.

Für den Schwielow-See ergeben sich mittlere Phosphorfreisetzungsraten zwischen 20 und 100 mg P/m²/d. Phosphorfreisetzungen wurden nur im Sommer bis Anfang Herbst beobachtet. Die Phosphorfreisetzungen können je nach Wetterlage im Juli beginnen, wobei es Jahre gibt, in denen im Juli keine Freisetzungen auftreten.

Die höchsten P-Freisetzungen treten in den Monaten August und September auf. Hier wurden maximale Freisetzungsraten von bis zu 150 mg P/m²/d ermittelt. In den Phasen mit hohen P-Freisetzungen übertrifft die interne Düngung die externe Phosphorbelastung um ein Mehrfaches.

Im Vergleich mit Literaturwerten sind die Phosphorfreisetzungsraten als recht hoch einzuschätzen, wobei von zahlreichen Autoren gleich hohe Werte angegeben werden (BENGTSSON, 1975 [5]; MOTHES, 1982 [6]; ROHDE, 1983 [7]; RIPL, 1990 [8]).

Die jährliche Phosphorfreisetzung im Schwielow-See zeigt die Abbildung 2.

Mit zunehmender Eutrophierung stiegen die Freisetzungsraten von ca. 2 g/m²/a in den siebziger Jahren auf über 4 g/m²/a in den achtziger Jahren an. Durch die Einführung der Phosphoreliminationsanlagen auf den Großkläranlagen von Berlin konnte die externe Phosphorbelastung der Potsdamer Havel auf über 50 Prozent gesenkt werden. Im Ergebnis dieser Lastsenkung gingen auch die jährlichen P-Freisetzungen durch sog. „Ausbluten“ im Nachlauf zurück.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die interne Düngung einer Wasserbeschafftheitsverbesserung über viele Jahre entgegen wirkt. SCHETTLER (1995) gibt für den Breitling See ein

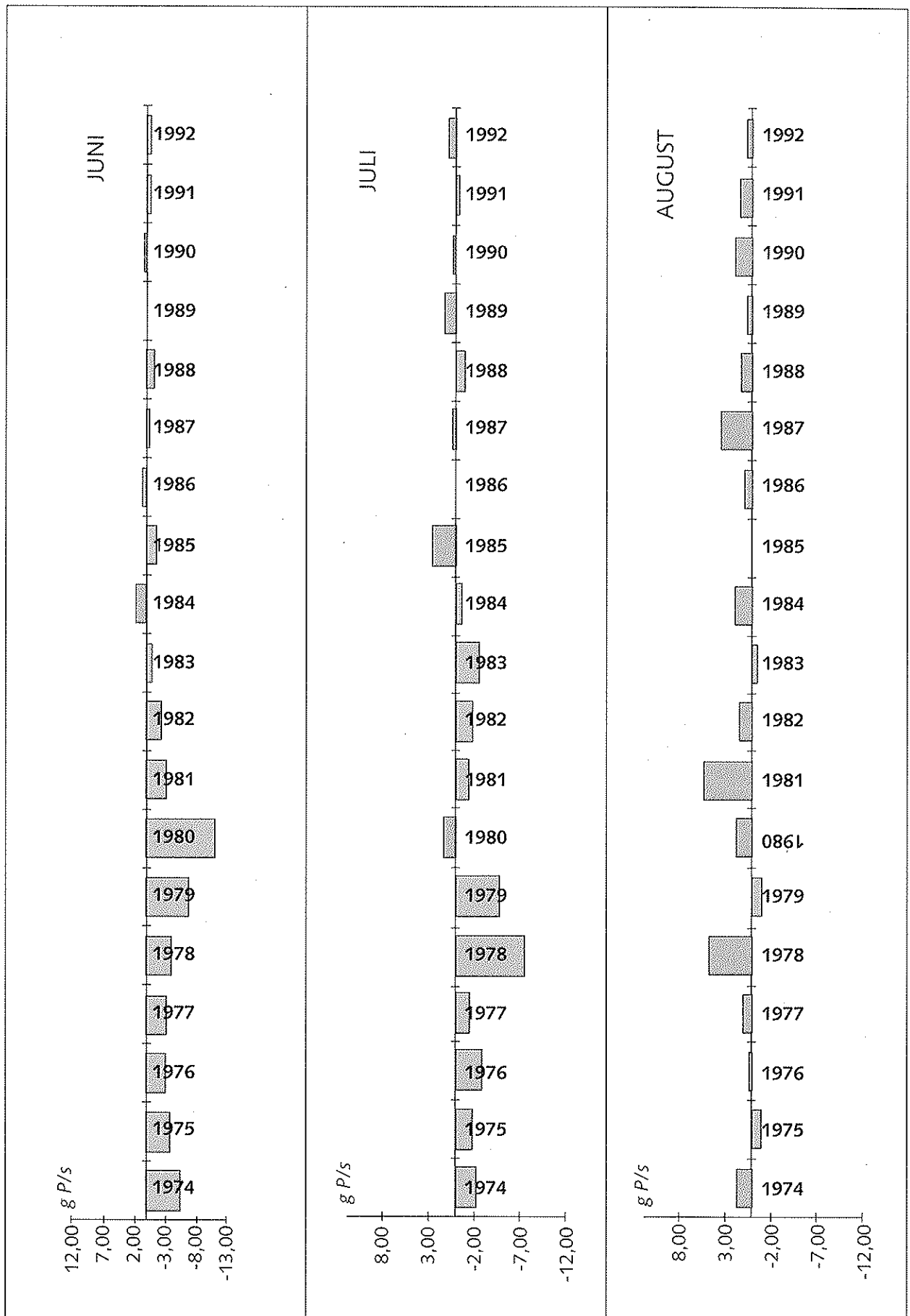


Abb. 1: Frachtdifferenzen zwischen Caputh und Potsdam, Kiewitt für o-Phosphat-Phosphor (ermittelt aus Monatswerten)

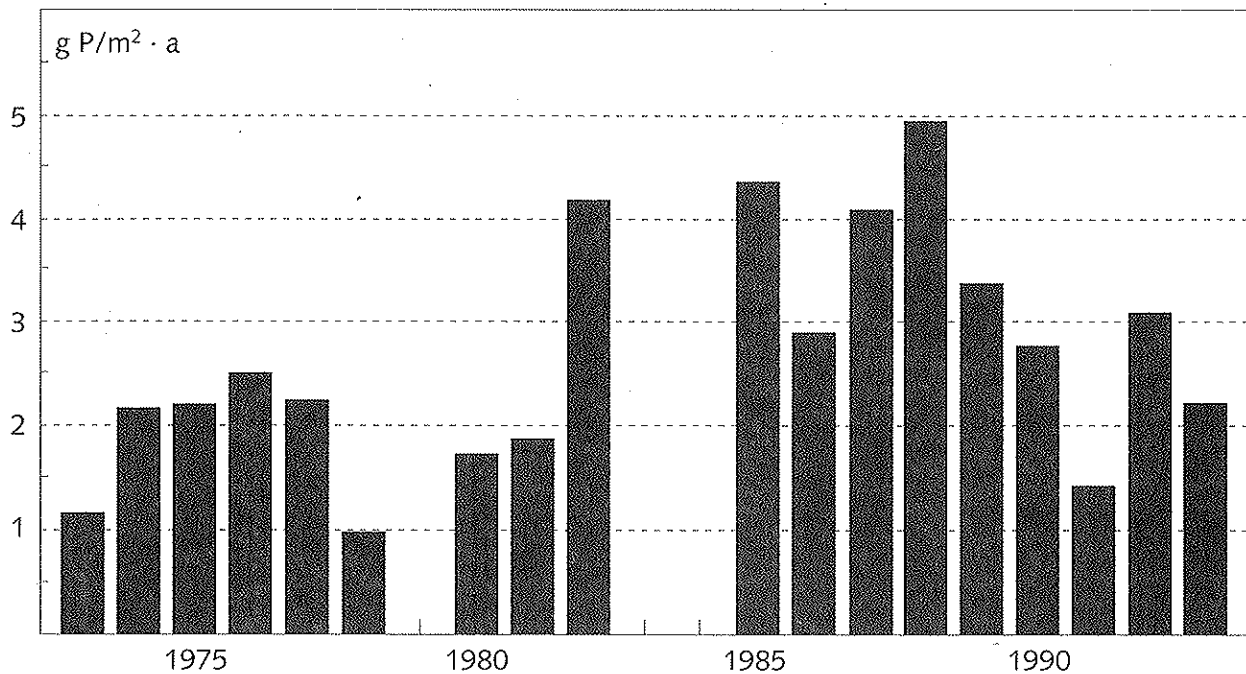


Abb. 2: Jährliche Phosphorfreisetzung im Schielowsee in g/m² im Zeitraum 1973 bis 1993

Gesamt-PO₄-Inventar der oberen 5 cm Oberflächen-sediment von 35.000 mg/m² an.

Die Sanierung solcher hochbelasteter, hypertropher Flachseen ist in der Regel sehr kompliziert und kostenintensiv.

Verschiedene Wege sollen im Rahmen dieser Art nur kurz skizziert, aber nicht diskutiert werden:

- Reduzierung des Nährstoffimportes zur Dämpfung der seeinternen Produktionsprozesse = Hauptweg!
- Alle Maßnahmen, die zur Entlastung und zur Oxydation des Sedimentes führen
 - weitestgehende Nitrifikation auf Kläranlagen
 - Reduzierung der Sulfatbelastung
 - Injektion von Kalziumnitrat in den Faulschlamm
 - Belüftung
 - Sedimententnahme, Entschlammung

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Havelseen besonders unterhalb Berlins hohe Phosphorfreisetzungsraten aufweisen und somit einer Wasserbeschaffenheitsverbesserung über Jahre entgegenwirken.

Literatur

- [1] BJÖRK, S. (1972): Swedish lake restoration program gets results. *Ambio* 1, 153-165
- [2] RYDING, S.-O. und FORSBERG, C. (1977): Sediments as a nutrient source in shallow polluted lakes. SIL-UNESCO Sym., Amsterdam 1976
- [3] HAYES, F.R. (1955): The effect of bacteria on the exchange of radio phosphorus at the mud-water interface. *Verh. int. Ver. Limnol.* 12, 111-116
- [4] HOLDEN, A.V. 1961: The removal of dissolved phosphate from lake water by bottom deposits. *Verh. int. Ver. Limnol.* 14, 247-251
- [5] BENGTSON, L. (1975): Phosphorus release from a highly eutrophic lake sediments. *Verh. int. Ver. Limnol.* 19, 1107-1116
- [6] MOTHES, G. (1982): Sauerstoff- und Phosphatgehalt im Müggelsee als Indikation für Austauschprozesse. *Acta hydrophys.* 27, 218-224
- [8] RIPL, W. (1990): Die Sanierung der Schlei. Forschungsbericht, FG-Limnologie der TU Berlin.
- [7] ROHDE, E. (1983): Veränderungen der Beschaffenheitsparameter von Wasser und Sediment eines hypertrophen Flachsees unter Einfluß einer Entschlammungsmaßnahme. Diss., TU Dresden

*Dr. rer. nat. Eberhard Rohde
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Hauptlabor
Referat Gewässerüberwachung – Referenzlabor
Wasseranalytik*

Die Bedeutung der Havel im naturschutzbezogenen Fließgewässer-Biotopverbundsystem

Die Konzeption des naturschutzbezogenen Fließgewässer-Biotopverbundsystems des Landes Brandenburg (BRAASCH, SCHARF, KNUTH, 1993 [1], 1994 [2], SCHARF, BRAASCH, 1994 [3]) unterscheidet nach ihrer ökologischen Funktion in Anlehnung an das niedersächsische Fließgewässerschutzsystem Verbindungsgewässer, Hauptgewässer, Nebengewässer und sonstige Gewässer. Verbindungsgewässer und Hauptgewässer sind die Stützen des Systems. Die Verbindungsgewässer durchfließen mehrere Naturraumgebiete oder ein Naturraumgebiet auf so langer Strecke, bis die Mehrzahl der kleinen Fließgewässer in sie einmündet (DAHL u. HULLEN, 1989 [4]). Sie verbinden mehrere Naturraumgebiete miteinander oder erschließen mehr oder minder vollständig ein Naturraumgebiet. Sie stellen ein einheitliches Einzugsgebiet für alle nachgeordneten Fließgewässer dar und ermöglichen für die Lebewesen eine Durchgängigkeit vom Meer bis zu den Quellen und umgekehrt.

Hauptgewässer repräsentieren den Fließgewässertyp des betreffenden Naturraums. Sie sind Lebensraum der natürlichen Lebensgemeinschaften des betreffenden Stromgebiets oder des Einzugsgebiets eines Verbindungsgewässers.

Damit sind sie das Kernstück bzw. Hauptgewässer des Fließgewässerverbundsystems.

Die **Havel** nimmt im naturschutzbezogenen Fließgewässerverbundsystem als **Untereinheit des Verbindungsgewässers Elbe** einen wichtigen Platz ein. Mit ihrem größten Zufluß, der Spree und deren Einzugsgebiet, den Zuflüssen aus dem Fläming wie Plane, Buckau, Nieplitz und den nördlichen Zuläufen wie Dosse, Temnitz und Rhin als **Hauptgewässer** durchzieht sie fast 2/3 des ganzen Landes. Die Havel stellt sich im Bereich der Havelflußseen als ein „Flachlandfluß mit extrem geringem Gefälle“ dar (BUCHTA, 1995 [5]) und ist hinsichtlich ihrer hydrologischen Verhältnisse stark gestört bzw. in ihrem gesamten Lauf ganzjährig staugeregelt. Ökologisch betrachtet besitzt die Havel in ihrer ganzen Lauflänge Unterlaufcharakter bzw. ist dem Potamal zuzurechnen. Von den der Havel zufließenden Hauptgewässern weist der obere Rhin mit dem naturnahen Kleinen Rhin Oberlaufcharakter (Metarhithral) auf. In diesem Bereich treten Bachforelle und Bachneunauge als typische rhithrale Vertreter des Salmoniden-Niederungsbaches auf. Das Makrozoobenthon ist durch das Vorkommen von rheotypischen Arten aus den Wasserinsektenordnungen der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen gekennzeichnet. Im Bereich der mittleren Spree oberhalb des Spreewaldes ist das Havelein-

zugsgebiet ökologisch dem oberen Unterlauf (Epipotamal), fischereibiologisch der Barbenregion zuzuordnen.

Allerdings ist hier die Barbe bereits ausgestorben wie auch eine Reihe der hochsensiblen Arten der Flußplekopteren. Im Spreewald (Puhlstrom, Hauptspre) ist derzeit mit der Plekoptere *Isoperla obscura* eine der letzten Arten der ehemaligen ökologisch hochsensiblen Leitarten der Flußbiozönose Ostdeutschlands anzutreffen.

Als ein durchgängiges Fließgewässersystem ist die eigentliche Havel nur bedingt zu sehen. Neben der Aufgliederung des Haveleinzugsgebietes in strömungsbetonte Abschnitte der Ober- und Mittelläufe, der Zuschaltung von Kanalsystemen (Oder-Havelkanal, Rhinkanal) als weitere Verbindungsgewässer, der Unterbrechung durch Flußseen und der streckenweise geringen Strömungsgeschwindigkeit stellt dieses Verbundsystem sich als äußerst kompliziert dar, was die Durchgängigkeit des Gewässersystems insbesondere für das Vorkommen rheotypischer Arten betrifft. Wie diese Funktion, zumindest teilweise, erfüllt wird, ist vom Migrationsverhalten der unterschiedlichen Taxa als Bewohner der Havel abhängig. Weiterhin auch von anthropogenen Aktivitäten, etwa, was die passive Verschleppung betrifft. Das Problem der Durchgängigkeit stellt sich für die verschiedenen Taxa unterschiedlich dar. Grundsätzlich finden marine Fische ihren Weg bis zu den Fließgewässern, in denen ihre Reproduktion stattfindet. Gegenwärtig werden die sogenannten anadromen Arten wie Zope, Meer- und Flußneunauge, deren Reproduktion in besonderen Teillebensräumen der Fließgewässer stattfindet, nur in geringem Maße, vereinzelt oder gar nicht mehr in der Havel angetroffen (KNUTH, 1993 [6]; PETRICK, 1995 [7]). Die Fischfauna der Havel ist entsprechend ihrer Gewässerstruktur vor allem von Arten geprägt, deren Schwerpunkt vorkommen in Standgewässern liegen. Hierzu rechnen Fischarten wie Plötze, Blei, Güster, Aal, Hecht, Flußbarsch etc.. In der unteren Havelniederung, insbesondere der Gülper Havel treten aufgrund entsprechender Strömungsbedingungen rheotypische Fischarten wie Aland, Döbel, Steinbeißer u.a. auf, die nach der Roten Liste Brandenburg (KNUTH, 1992 [8]) zu den „gefährdeten“ Arten zu rechnen sind. Im Zusammenhang mit dem Vorkommen mancher Muschelarten steht die Reproduktion bestimmter Fischarten wie dem Bitterling, welches mit dem Vorkommen der Malermuschel (*Unio pictorum*) verknüpft ist.

Ein besonderes Phänomen in der Havel ist die Einwanderung der Chinesischen Wollhandkrabbe

(*Eriocheir sinensis*), die, erstmalig 1924 beobachtet, in unterschiedlicher Intensität anhält, wobei die Krabben schließlich zur Fortpflanzung ins Meer zurückwandern. Da Mollusken sich kaum aktiv verbreiten können, sind sie auf die Verschleppung durch den Schiffsverkehr und/oder durch Wasservögel angewiesen. Die Wassermolluskenfauna des Havelgebiets ist als relativ reichhaltig anzusehen. PETRICK (unveröff. 1994 [9]) gibt aus dem Einzugsgebiet der Havel 40 Taxa an, die Erbsenmuscheln (*Pisidium*) nicht eingerechnet. Infolge der hohen Eutrophierung der gesamten Havellandschaft ist es besonders in den von der Havel durchflossenen Seen zu starkem Rückgang bei den Großmuscheln und teils zum Verschwinden von *Pseudanodonta complanata* infolge starker Schlammabfuhr gekommen.

Günstige Ansiedlungsbedingungen ergaben sich für einige Arten der Mollusken auf den Steinen der Uferverbauung, wo besonders die Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*) mit durchschnittlichen Abundanzen von 17 l/dm bis maximal 30 l/dm (MÜHLE, 1995 [10]) anzutreffen sind. Die Muscheln siedeln hier bis zur 3-4 m tiefen Flußsohle hinunter.

Besonders häufig sind an dieser Stelle auch verschiedene Lymnaeidae-Arten, so vor allem *Radix auricularia*. Bemerkenswert ist das Auftreten der Flußnapfschnecke (*Theodoxus fluviatilis*) und auch des Flußsteinklebers (*Lithoglyphus naticoides*), die nach der Roten Liste Brandenburg als „gefährdet“ gelten. Kennzeichnend für diese Bereiche sind Schneckenegeln wie *Glossiphonia complanata* und *heteroclitia*. Mit den Arten des Haveleinzugsgebietes befaßte sich KALBE (1965 [11]), wobei er insgesamt 12 Arten nachwies.

Für Libellen stellt die Flußseenlandschaft der Havel kein Hindernis in der Ausbreitung auch der strömungsbedingten Arten dar. Sowohl die vom Osten her eingewanderte, „stark gefährdete“ Asiatische Keiljungfer (*Gomphus flavipes*) wie auch die „gefährdete“ Gemeine Keiljungfer (*Gomphus vulgatissimus*) werden an der Havel angetroffen und breiten sich als sehr flugfähige Arten in neuerer Zeit offenbar verstärkt entlang der „Flußleitlinien“ aus. Unproblematisch ist auch die Ausbreitung der Gebänderten Prachtjungfer, die besonders im Frühsommer stark in Erscheinung tritt und ebenso an den der Havel zugehenden Fließgewässern eine häufige wie auffällige Erscheinung ist.

Wohl einer der bekanntesten Flüsse des Haveleinzugsgebietes im Hinblick auf die Makrozoobenthonbesiedlung ist die im Fläming entspringende Plane (SCHÖNEMUND, 1922 [12]; ALBRECHT, 1953 [13]; BRAASCH, 1989 [14]), wo einst 17 Steinfliegenarten (heute 13) nachgewiesen werden konnten. Eine Ausbreitung der nur mit einer geringen Flugenergie ausgestatteten Steinfliegen, etwas günstiger sind die Eintagsfliegen zu beurteilen, in Fließgewässern, wo sie einstmalig verbreitet waren, ist wohl nur ausnahms-

weise denkbar. Ausbreitungsgrenzen durch Längszonierung, Verinselung vieler Strecken durch Abwasserbarrieren und Stauhaltungen sind die Gründe dafür. Die Plane tritt nach über 60 km in den „Breitling“ bei Brandenburg ein.

Köcherfliegen und Kriebelmücken finden auf dem Luftwege bessere Ausbreitungsmöglichkeiten; zumindest gilt dies für die Arten des Potamals, der häufigsten Biotoptypengruppe der Fließgewässer in Brandenburg.

Andere Benthongruppen sind ausschließlich auf passive Verschleppung angewiesen.

Überragende Bedeutung besitzt die Havel aber als ein Biotopverbundsystem, in welchem die Auen der Spreewalder Bruch-, Sumpf- und Flußlandschaft letztendlich mit denen der Havelniederung und Elblandlandschaft verknüpft sind. Die Auengebiete der Havel im engeren Sinne bergen ein gewaltiges Potential an Biotoptypen und Arteninventarien, die z.Zt. noch in ihrer faunistischen Erfassung/Kartierung stehen. So sind viele Überschwemmungstümpel Heimstatt der großen altertümlichen Blattfußkrebse *Siphonophanes grubei* und *Lepidurus apus*. Unter den Laufkäfern sind u.a. besonders erwähnenswert die seltenen *Carabus clathratus*, *Platynus longiventris* und *krynickyi*, bei den Wasserkäfern die beiden Kolbenwasserkäfer, der Schwarzbauch (*Dytiscus semisulcatus*), *Agabus fuscipennis* u.v.a. bei den Schwimmkäfern.

Das Biotopverbundsystem Havel kann nicht nur als ein statisches oder sich selbst organisierendes Gebilde angesehen werden, sondern es wird unserer überlegten Planung, Mithilfe und Unterstützung von Maßnahmen zu Rückbau und Renaturierung bedürfen, es durchgängiger zu machen und für manche Taxa, evt. auch den einst weit verbreiteten Edelkrebs, mit Artenhilfsprogrammen das ehemalige Bild der Verbreitung durch eine Neubesiedlung verloren gegangener Abschnitte wieder funktionsfähig zu machen.

Literatur

- [1] BRAASCH, D.; SCHARF, R. u. KNUTH, D. (1993): Zur Erfassung und Bewertung sensibler Fließgewässer im Land Brandenburg. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, H. 2 1993, 31 - 36
- [2] BRAASCH, D.; SCHARF, R. u. KNUTH, D. (1994): Konzeption eines naturschutzbezogenen Fließgewässer-Biotopverbundsystems im Land Brandenburg. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg H. 1 1994, 12 - 23
- [3] SCHARF, R., BRAASCH, D. (1994): Sensible Fließgewässer im Land Brandenburg - Stand der Erfassung. Berichte aus der Arbeit 1993, 16 - 21, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- [4] DAHL, H.J. u. HULLEN, M. (1989): Studie über die Möglichkeiten zur Entwicklung eines naturnahen Fließgewässersystems in Niedersachsen (Fließgewässerschutzsystem Niedersachsen). - Naturschutz Landschaftspfll. Niedersachs.-Hannover 18, 5 - 120
- [5] BUCHTA, R. (1995): Flüsse zwischen Ost und West. Konzept für die ökologische Entwicklung der großen ostdeutschen Flüsse unter Einbeziehung der Binnenschifffahrt. - (Hrsg.): Michael Otto Stiftung für Umweltschutz, Hamburg, 1 - 21

- [6] KNUTH, D. u. MIETZ, O. (1993): Verbreitung, Gefährdung, Gewässeransprüche und Erhaltung des Edelkrebses *astacus astacus* in Brandenburg. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, H. 2 1993, 16 - 21
- [7] PETRICK, G. (1995): Zur Fischfauna des Gülper Sees und der Unteren Havelniederung. - Naturschutz und Landschaftspflege, H. 4/1994, H.1/1995
- [8] KNUTH, D. (1992): Rundmäuler (Cyclostomata) und Fische (Pisces). - Rote Liste. Gefährdete Tiere im Land Brandenburg. (Hrsg.): Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg. UNZE Verlag, Potsdam, 35 - 37
- [9] PETRICK, S. (1994): Artenliste Wassermollusken, unveröff.
- [10] MÜHLE, R.-U. (1995): Makroskopische Bodentiere als Indikatoren für den Gewässerzustand an der Unteren Havel. - Naturschutz und Landschaftspflege H. 4/1994, H. 1/1995
- [11] KALBE, L. (1965): Die Verbreitung der Hirudineen in Fließgewässern des Havelgebietes. Beiträge zur Tierwelt der Mark II. Veröff. Bezirksheimatmuseum Potsdam, H. 9, 5 - 17
- [12] SCHÖNEMUND, E. (1922): Plecopteren aus der Umgebung von Brandenburg. - Dtsch. Ent. Z. 175 - 176
- [13] ALBRECHT, M.-L. (1953): Die Plane und andere Flämingbäche. - Z. Fischerei 1, N.F.5/6, 389 - 477
- [14] BRAASCH, D. (1989): Ein Beitrag zur Plecopterenfauna der Mark. - Veröff. Potsdam-Museum 30. Beiträge zur Tierwelt der Mark XI, 22 - 32

*Dipl.-Biologe Dietrich Braasch
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Naturschutz
Referat Grundlagen Naturschutz*

*Dr. rer. nat. Rolf Scharf
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Naturschutz
Referat Grundlagen Naturschutz*

Die Fischfauna der Havel

1. Einleitung

Im vorigen Jahrhundert beschrieben verschiedene Autoren auch die Fischfauna der Havelgewässer (BORNE 1882 [1], ECKSTEIN 1908 [2], FRIEDEL 1886 [3], GROTE & VOGT & HOFER 1909 [4], QUIEL 1936 [5], SCHULZ 1845 [6]). Bis 1787 wurden noch Lachse in der Havel und 1867 in der Spree sogar noch Störe gefangen [3]. Danach erloschen die Bestände dieser Fischarten, die unter den Fischen als Indikatoren für oligosaprobe und unverbaute Gewässer gelten. Veröffentlichungen zur aktuellen Situation der Fischfauna der Havel und ihrer Nebenflüsse fehlen. Mit dieser Arbeit soll ein erster Schritt zur Beseitigung dieses Defizits unternommen werden.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet für die nachfolgenden Ausführungen zur Fischfauna der Havel erstreckt sich über den gesamten Havelverlauf (Quellgebiet bis zur Mündung in die Elbe). Neben den Bereichen der Flußhavel müssen die durchflossenen Seen, aber auch die in die Havel einmündenden Fließgewässer Spree, Nuthe, Plane und Buckau Berücksichtigung finden. Einerseits wandern Fische aus den oben genannten Fließgewässern, bei entsprechendem Populationsdruck der Fischbestände in diesen Fließgewässern, in die Havel ein (PETRICK 1995 [7]) oder werden durch Hochwasserwellen abgedriftet. Andererseits stellt die Elbe einen traditionellen Wanderweg für die anadromen Wanderfische dar, der schon über mehrere Jahrtausende existiert und auch heute eine besondere Funktion besitzt. Weiterhin übt sie mit der Ausbildung großer Fischpopulationen einen wesentlichen Einfluß auf die Struktur und den Gesamtfischbestand der Havel aus, insbesondere der Unterhavel.

3. Das Fischartenspektrum der Havel

3.1 Historische Verhältnisse

Eine umfassende Übersicht des Fischartenspektrums der Havel erstellte ECKSTEIN 1908 [2] (Abb. 1). Für den Havellauf von Templin bis Havelberg wurden durch ECKSTEIN 31 Fischarten beschrieben. Die größte Artendichte besaß damals mit 28 Fischarten die Unterhavel im Raum Havelberg. Die geringsten Kenntnisse, mit nur neun Arten, lagen aus dem Gebiet der Templiner Seen vor. Da wirtschaftlich uninteressante und seltene Fische kaum bei derartigen Zusammenstellungen Berücksichtigung fanden, kann das von ECKSTEIN (1908) beschriebene Artenspektrum nicht der realen Zusammensetzung der damaligen Fischfauna entsprechen. BAUCH (1954) [8] ging in seiner Beschreibung nur auf wenige Havelgewässer ein. Für den Beobachtungszeitraum 1953 bis 1958 im westlichen Brandenburg nennt KNAACK (1959) [9] 37 Fischarten, bezieht in seinen Betrachtungen jedoch auch die Forellenregion des Fläming ein.

3.2 Aktuelle Bestandssituation

PAEPKE (1981a, 1981b) [10, 10a] beschreibt die Situation der Ichthyofauna im Territorium der ehemaligen DDR Anfang der achtziger Jahre. Erstmals verdeutlichte eine Einstufung der einheimischen Fischfauna nach dem Gefährdungsgrad eine bei vielen Fischarten bereits zu verzeichnende rückläufige Tendenz. Für die Westberliner Gewässer und für die Havel liegen intensive Untersuchungen aus den letzten Jahren vor (DOERING 1985, 1986, 1991 [10b, 11, 12], GROSCH 1979/1980 [13], GROSCH & EL-

Fischarten

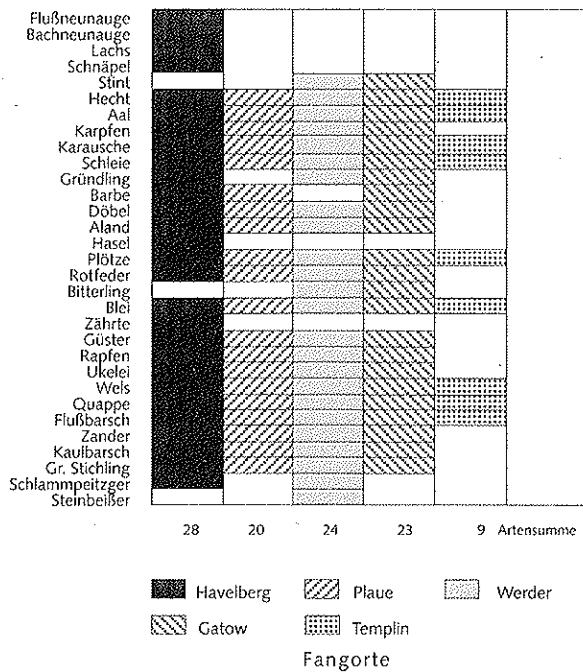


Abb. 1: Fischartenverteilung in der Havel

VERS 1982 [14], PETRICK 1995 [7], VÖLZKE 1988 [15], VILCINSKAS 1991 [16]). Die Veränderungen in Flora und Fauna der Havelgewässer sind langfristiger Natur [13]. Sie vollzogen sich in zwei Phasen und begannen mit der Stauhaltung der Havel im 13. und 16. Jahrhundert durch die Errichtung von Mühlenstauen und Wehren (DOERING 1991 [12]). In den letzten 20 Jahren wurde sie durch die rasante Gewässereutrophierung verschärft. Die hohen Nährstoffkonzentrationen, vor allem Phosphatverbindungen, stammten aus der Landwirtschaft und den Kommunalabwässern. Die Strukturverarmung der Havelgewässer, als wesentliche Eutrophierungsfolge, fand ihren Niederschlag in einer Verarmung der Fischfauna. Analog der Veränderungen der Fischfauna in den Berliner Gewässern (DOERING 1991 [12]) verschob sich in der gesamten Havel das Fischartenspektrum, am stärksten in den Havelseen zwischen Brandenburg, Potsdam und Berlin. Fischarten mit geringen Biotopansprüchen verdrängten Arten mit spezifischen Lebensansprüchen.

Die Zunahme von Blei, Güster und Plötze erklärt sich aus diesen Zusammenhängen. Nach MENZEL (1992) [17] müßten fünf Jahre je 350 t „Weißfisch“ der Havel entnommen werden, um die Gesamtbiomasse von über 1.000 t abzubauen. Dadurch könnten wieder ausgeglichene Bestandsverhältnisse bei den Cypriniden erreicht werden. Eine Darstellung des aktuellen Fischartenspektrums in drei Havelbereichen zeigt die Tabelle 1. Mit zunehmendem Umweltinteresse fanden auch die sogenannten Kleinfische, also die wirtschaftlich nicht nutzbaren Fische, bei Erfassungen stärkere Beachtung. Im Vergleich zu ECKSTEIN

Tab. 1: In den letzten 15 Jahren nachgewiesene Fischarten der Havel

Fischart	Rathenow - Brandenburg	Potsdam Berlin	Schnelle Havel - Liebenwalde
1. Meerneunauge	(X)		
2. Flußneunauge	(X)	(X)	
3. Bachneunauge	(X)	(X)	X
4. Lachs	(X)		
5. Gr. Maräne	(X)		X
6. Stint	X	X	X
7. Hecht	X	X	X
8. Aal	X	X	X
9. Karpfen	X	X	X
10. Karausche	X	X	X
11. Giebel	X	X	
12. Schleie	X	X	X
13. Barbe	(X)		
14. Gründling	X	X	X
15. Döbel	X		X
16. Aland	X	X	X
17. Hasel	X	X	X
18. Plötze	X	X	X
19. Rotfeder	X	X	X
20. Moderieschen	X	X	
21. Bitterling	X	X	
22. Blei	X	X	X
23. Zope	X		
24. Güster	X	X	X
25. Rapfen	X	X	X
26. Ukelei	X	X	X
27. Graskarpfen	X	X	
28. Marmorkarpfen	X	X	
29. Silberkarpfen	X	X	
30. Wels	X	X	X
31. Quappe	X	X	X
32. Flußbarsch	X	X	X
33. Kaulbarsch	X	X	X
34. Zander	X	X	X
35. Dreist. Stichling	X	X	X
36. Neunst. Stichling	(X)	(X)	
37. Steinbeißer	X	X	X
38. Schlammpeitzger	X	X	
39. Schmerle	(X)	(X)	
40. Flunder	(X)		
Artenzahl	40	33	25

X - ständiges Vorkommen im Gewässer

(X) - gelegentliche Einwanderung in die Gewässer, Abdrift

(1908) [2] wurden im Bereich der Unterhavel 40 Fischarten nachgewiesen. In der Tabelle 1 sind größere Einzugsbereiche zusammengefaßt worden, da die Fischereigenossenschaften (Brandenburg, Werder - Potsdam) ihre Fanggebiete entsprechend abgrenzten.

3.3 Bestandssituation ausgewählter Fischarten

Im Vergleich zu den Verhältnissen vor 1990, haben sich in der Fischartenstruktur in den letzten Jahren positive Veränderungen vollzogen. So scheinen sich die Bestände der anadrom wandernden Neunaugen in der Nordsee langsam zu erholen. Im Jahr 1995 konnte das Einwandern von Hunderten von Flußneunaugen aus der Nordsee in die Elbe festgestellt werden (KNÖSCHE mdl.). Der Fang eines Tieres im Bereich der Havel bei Rathenow 1991 und Nachweise von über 10 Exemplaren zur Laichzeit, in der Buckau

bei Brandenburg im Frühjahr 1995, zeigen eine Tendenz bei dieser Tierart auf, die eine erneute Ausbildung von Laichpopulationen in den Fläminggewässern sowie in der Havel bei Brandenburg und Potsdam erwarten läßt. Hinweise auf die Existenz von Laichpopulationen in der Unterhavel gab es schon seit 1993 (BUCHTA mdl.). Meerneunaugen gehören schon immer zu den seltenen Fängen. In den letzten fünf Jahren kam es ebenfalls zu einer Häufung der Nachweise bei dieser Tierart. Am 24.01.1989 konnte nach dreißig Jahren in der Havel bei Pritzerbe ein Weibchen des Meerneunauges gefangen werden. Seit 1993 wurde der regelmäßige Fang von mindestens einem Tier in der Havel bekannt. Dabei handelte es sich sowohl um weibliche wie auch männliche Meerneunaugen (s. Belegsammlung Potsdam-Museum). Die Ursachen für das gehäufte Auftreten dieses anadromen Laichwanderers sind nicht nachgewiesen. Sie müssen jedoch im Zusammenhang mit der Verbesserung der Belastungssituation in der Elbe diskutiert werden, wie der verstärkte Meerneunaugenanstieg an der Staustufe Geesthacht zeigt. Ebenso selten sind heute die Nachweise von Lachs und Meerforelle zu bewerten. Durch den Fischer SCHULZE wurde 1994 in der Unterhavel am Gahlbecker Wehr wieder ein erwachsener Lachs (LT 680 mm, Masse 385 g) gefangen. Der Fangzeitpunkt und die Größe des Tieres sind deutliche Hinweise auf den Versuch einer erneuten Ansiedlung dieser ausgestorbenen Fischart. Ob dieser Versuch der Wiederbesiedlung ursprünglicher Fließgewässerbereiche erfolgreich verläuft, wird nicht nur von der zukünftigen Wasserqualität in Elbe und Havel, sondern primär vom Ausbaugrad, d.h. von der Möglichkeit der Passage der Elbe und Unterhavel, abhängig sein. Von der in Brandenburg ausgestorbenen Barbe, die in den 50er Jahren noch regelmäßig in der Havel bei Potsdam gefangen wurde, konnte 1994 durch den Fischer W. SCHRÖDER ein Nachweis erbracht werden. Der geschlechtsreife Fisch (LT 450 mm, Masse 760 g) wurde im Gülper See gefangen. Da zuvor starke Hochwassereinflüsse in der Elbe verzeichnet worden sind, könnte es sich um ein Tier aus den Beständen des Oberlaufes der Elbe handeln.

Aussagen zu den Kleinfischbeständen lassen sich nicht mehr über die Fischereistatistiken erlangen, da derartige Nachweise nicht berücksichtigt worden sind. Im Rahmen von langjährigen Untersuchungen erfolgte durch das Potsdam-Museum auch im Havelbereich eine Faunenerfassung. Kenntnisse zum Vorkommen, der Verbreitung und zu Trendentwicklungen bei den Kleinfischarten wurden im Rahmen eigener Erfassungen, Befragungen von Fischern, Anglern und Biologen zusammengetragen. Drei typische Fischarten der Havel sollen nur beispielhaft genannt werden, um die Situation aufzuzeigen.

Der Bitterling war früher eine häufig anzutreffende Fischart in den Havelgewässern. Heute ist er in der

Havel noch in sehr kleinen Restpopulationen erhalten geblieben, wie aktuelle Bestandserfassungen zeigen (WEISSER 1995 [18]). Die hochspezialisierte Fortpflanzungsweise über Fluß- oder Teichmuscheln, sowie das Aussterben großer Muschelbestände in der Havel, führte zum Zusammenbruch der Bitterlingspopulationen. Verbliebene Muschelrestbestände, selbst von Arten der Gattung *Unio*, reichten nicht zur großflächigen Bestandserhaltung des Bitterlings in der Havel aus. Heute ist die Art überwiegend in abgeschlossenen Kleingewässern mit schwach eutropher bis eutropher Wasserqualität zu finden (KNUTH 1989 [19]). Die Verbesserung der Wasserqualität der Havel hat in den letzten Jahren zur Zunahme der Muschelpopulationen geführt. Damit kann für die kommenden Jahre eine Zunahme der Bitterlingsbestände in der Havel erwartet werden.

Als Schwarmfisch besaß der Stint früher eine große Popularität - heute ist er zwischen Potsdam und Brandenburg fast in Vergessenheit geraten. Die riesigen Bestände in der Havel schmolzen auf Restvorkommen zusammen. Stabile Populationen sind nur noch aus Gewässern im Raum Teupitz-Klein-Köris und Templin-Fürstenberg bekannt (KNUTH 1992b [20]).

Der Steinbeißer besiedelte die Havel und viele Seen um Potsdam noch vor einigen Jahren zahlreich. Auch er verschwand durch die Vernichtung seiner Lebensräume (u.a. Verschlammung der Uferbereiche) aus vielen Gewässerabschnitten. Noch existieren jedoch selbst im unmittelbaren Havelbereich von Potsdam isolierte Restvorkommen. Die Verbesserung der Wasserqualität der Havel dürfte bei dieser Art ebenfalls zu einer positiven Bestandsentwicklung führen, da Steinbeißer auf saubere und sandige Bodenbereiche angewiesen sind. Wie die Untersuchungen im Rahmen der UVS zum Havelausbau zeigten, konnten Steinbeißer ausschließlich in den Havelabschnitten nachgewiesen werden, die noch über eine sehr gute morphologische Vielgestaltigkeit verfügten (WEISSER 1995 [18]).

3.4 Ursachen der Veränderungen des Fischartenspektrums

Die anadromen Wanderfischarten (Meerneunauge, Flußneunauge, Stör, Lachs, Meerforelle, Maifisch, Finte) und die Barbe verschwanden in den vergangenen Jahrzehnten als typische Vertreter der rheophilen Fischfauna der Havel. Ursachen waren der Ausbau der Gewässer mit Wehren und Schleusen, der harte Uferverbau, aber auch die allgemeine Verschlechterung der Wasserqualität und eine damit einhergehende Verschlammung der Gewässersohle. Am stärksten waren von diesen Veränderungen die typischen Fließgewässersfischarten betroffen, die auf einen sandigen oder kiesigen Untergrund angewie-

Tab. 2: Verteilung der Bach-, Fluß- und Stillgewässerfische nach Gefährdungskategorien nach der Roten Liste der Rundmäuler und Fische Brandenburgs (KNUTH 1992a [21])

Gefährdungskategorien	Bach- und Flußfische		Stillgewässerfische	
	n Fische	%-Anteil	n Fische	%-Anteil
ausgestorben	11	26,8	1	2,5
vom Aussterben bedroht	3	7,3	2	4,9
stark gefährdet	10	24,4	3	7,3
gefährdet	6	14,6	2	4,9
potentiell gefährdet	1	2,4	2	4,9
	31	75,5	10	24,5

sen sind (Tab. 2). Spezialisten, wie der Bitterling, wurden indirekt geschädigt, da mit der Verschlamung die für die Fortpflanzung erforderlichen Muschelbestände (Unio, Anodonta) verloren gingen. Untersuchungen zum Einfluß der Nährstoffbelastungen auf die Planktonzusammensetzung in der Havel in den vergangenen Jahrzehnten existieren nur im geringen Umfang (KNÖSCHE 1995 [22]). Aussagen zu den Wechselwirkungen zwischen Nährstofffrachten, Planktonstrukturen und der Fischfauna können aus diesem Grund derzeit nicht gemacht werden. Negative Auswirkungen ließen sich jedoch beim Binnenstint und Ukelei feststellen, die in ihrer Ernährung besonders auf das Zooplankton angewiesen sind. Bei diesen Fischarten waren bis Anfang der neunziger Jahre dramatische Bestandseinbußen zu verzeichnen. Beim Ukelei konnten in den letzten zwei Jahren jedoch wieder größere Schwärme im Bereich der Potsdamer und Brandenburger Stadthavel festgestellt werden. Ursachen sind in der Verringerung der Nährstoffbelastungen der Havel zu suchen, die sich seit 1989 halbiert haben, wie die GPO_4 -Werte und Sichttiefen erkennen lassen (ROHDE 1992 [23]). Von einer Änderung der Planktonstruktur in der Havel kann deshalb ausgegangen werden.

4. Zusammensetzung der fischereiwirtschaftlich genutzten Fischbestände

Zu Aussagen über die mengenmäßige Zusammensetzung der wirtschaftlich nutzbaren Fischbestände der Havel und Havelseen bis Ende der Achtziger Jahre kann man bei der Auswertung der umfangreichen Fischfangstatistiken der ehemaligen Fischereibetriebe gelangen. Deutlich ist ein hoher Anteil der kommunen „Weißfischbestände“ (Blei, Güster, Plötze), besonders der kleinen Sortierungen („Futterfisch“), zu erkennen (Abb. 2 u. 3). Veränderte Struktur- und Nahrungsbedingungen in den Gewässern waren die wesentlichste Ursache für diese Entwicklung (BARTHELMES 1981 [24]). Von veränderten Bedingungen waren verschiedene Fischarten betroffen (Tab. 3). So ging beispielsweise der Fanganteil großer Bleie (Größenklasse 1) im gesamten Havellauf stark zurück und hatte in den letzten Jahrzehnten wirtschaftlich nahezu keine Bedeutung mehr. Ähnliche Entwicklungen waren bei Barsch und Plötze zu verzeichnen. In den letzten drei Jahren lassen sich auch hier Veränderungen feststellen. So wurden von

Tab. 3: Fanganteil nach Größenklassen Trebelsee bis Ketzin 1978-1987
Fangdurchschnitte Fischereigenossenschaft Brandenburg

Fischart	Fangmengen nach Größenklassen in kg/a			
	1 sehr groß	2 groß	3 klein	4 sehr klein
Blei/Güster	0	80	130	} 12.000
Plötze	0	300	1.500	
Flußbarsch	30	100	150	

Unterhavel bei Strodehne Fangdurchschnitt (jährlich) 1978-1987 PGB Brandenburg

Aal (1-3): 7,1 t

Schleie: 0,4 t

Karpfen: 0,5 t

Hecht (1-2): 3,2 t

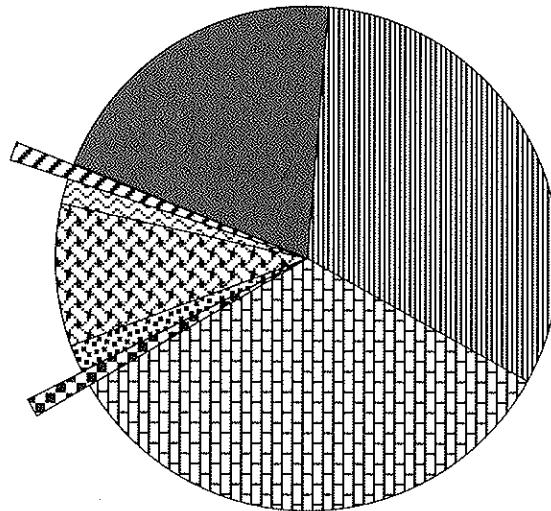
Zander: 0,5 t

Quappe: 0,4 t

Blei (1): 100 kg

Wels: 50 kg

Barsch (1): 10 kg



Konsumfisch: 11 t

(Blei 2-4, Barsch 2-3, Plötze, Karausche, Aland, Rapfen)

Futterfisch: 11,5 t

(kleine Bleie, Güstern, Plötzen)

Unterhavel bei Briest Fangdurchschnitt (jährlich) 1978-1987 PGB Brandenburg

Aal (1-3): 9,2 t

Schleie: 0,4 t

Karpfen: 0,5 t

Hecht (1-2): 2,5 t

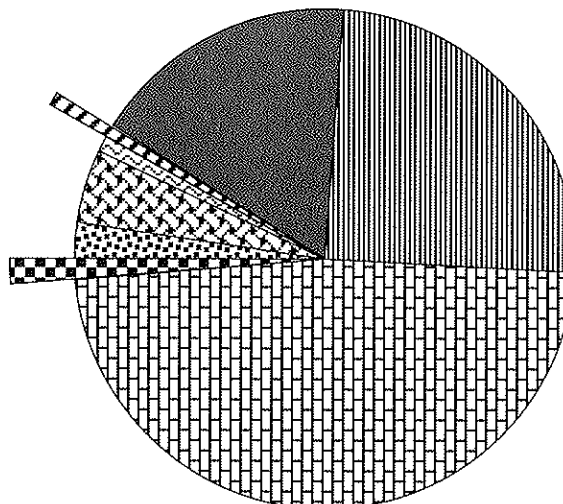
Zander: 1,3 t

Blei (1): 0,6 t

Wels: 50 kg

Barsch (1): 10 kg

Quappe: 5 kg



Konsumfisch: 12,7 t

(Blei 2-4, Barsch 2-3, Plötze, Karausche, Aland, Rapfen)

Futterfisch: 25 t

(kleine Bleie, Güstern, Plötzen)

Abb. 2: Fangdurchschnitt 1978 - 1987 in der Unterhavel

Trebelsee bis Ketzin Fangdurchschnitt (jährlich) 1978-1987 PGB Brandenburg

Aal (1-2): 16,8 t

Schleie: 0,9 t

Karpfen (1): 0,4 t

Hecht (2): 1,5 t

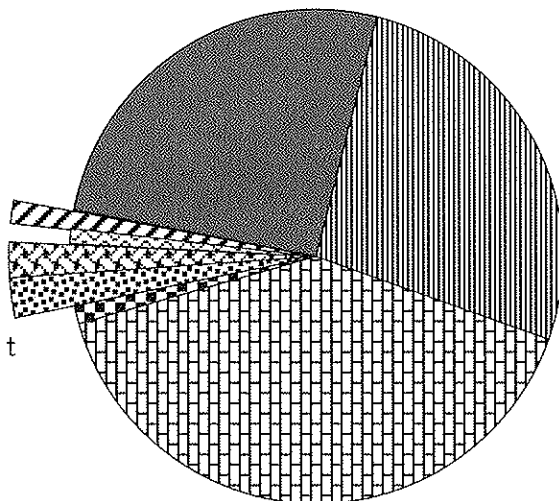
Zander: 1 t

Wels: 0,2 t

Karausehe (1-2): 0,7 t

Barsch (1): 30 kg

Quappe: 3 kg



Konsumfisch: 16,8 t

(Blei 2-4, Barsch 2-3,
Plötze, Aland, Rapfen)

Futterfisch: 25,8 t

(kleine Bleie, Güstern,
Plötzen)

Havel zwischen Werder und Potsdam Fangdurchschnitt (jährlich) 1977-1987 PGB Werder (Havel)

Aal (1-2): 37,9 t

Schleie: 0,2 t

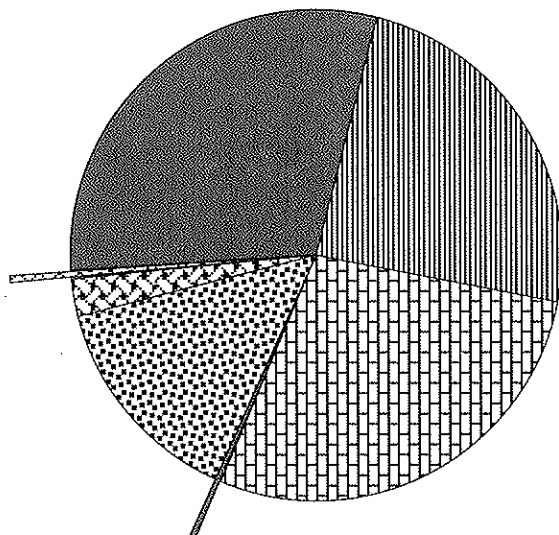
Barsch (1): 0,4 t

Hecht: 3,2 t

Zander: 17,5 t

Quappe: 0,1 t

Wels: 0,2 t



Konsumfisch: 29,9 t

(Blei 2-4, Barsch 2-3,
Plötze, Güster,
Aland und Rapfen)

Futterfisch: 35,8 t

(kleine Bleie, Güstern
und Plötzen)

Abb. 3: Fangdurchschnitte in Trebelsee und Havel zwischen Werder und Potsdam

Gr. Plessower See bei Werder Fangdurchschnitte (jährlich) 1979-1988 Binnenfischer-GmbH Potsdam

Aal: 0,9 t

Marmor-/
Silberkarpfen: 2 t
Karpfen: 0,2 t

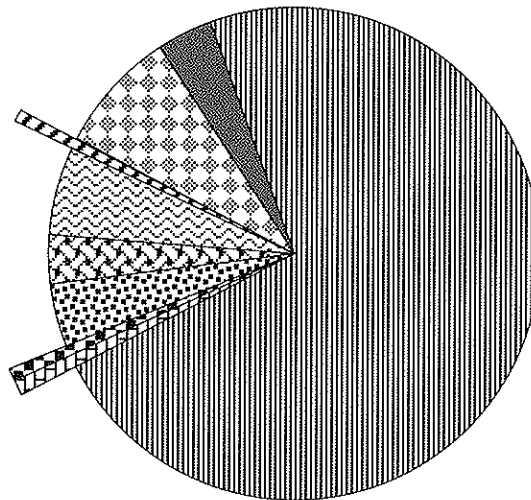
Blei (1): 1,4 t

Plötze (1): 0,8 t

Hecht: 1 t

Zander: 0,2 t

Barsch (1): 0,2 t



Konsumfisch: 18 t

(Plötze 2+3, Güster, Blei 2 – 4,
Rotfeder, Barsch 2+3)

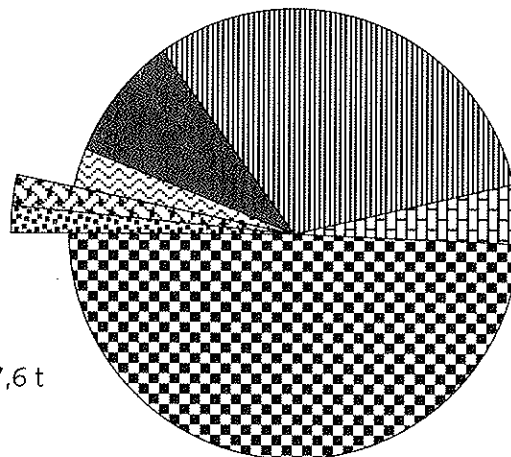
Gr. Seddiner See Kreis Potsdam-Land Fangdurchschnitte (jährlich) 1983-1988 Binnenfischer-GmbH Potsdam

Aal (1-2): 1,4 t

Karpfen: 0,4 t
Hecht: 0,3 t
Zander: 0,2 t

Marmorkarpfen
und Silberkarpfen: 7,6 t

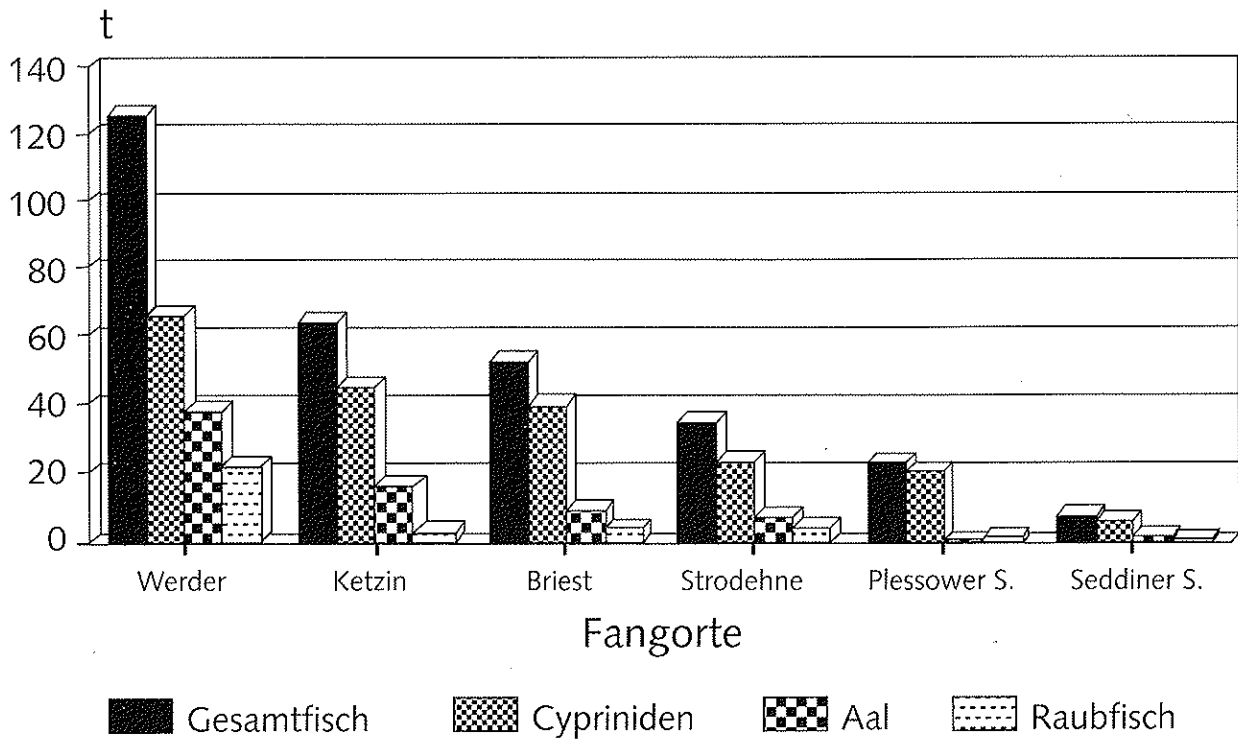
Schleie: 40 kg



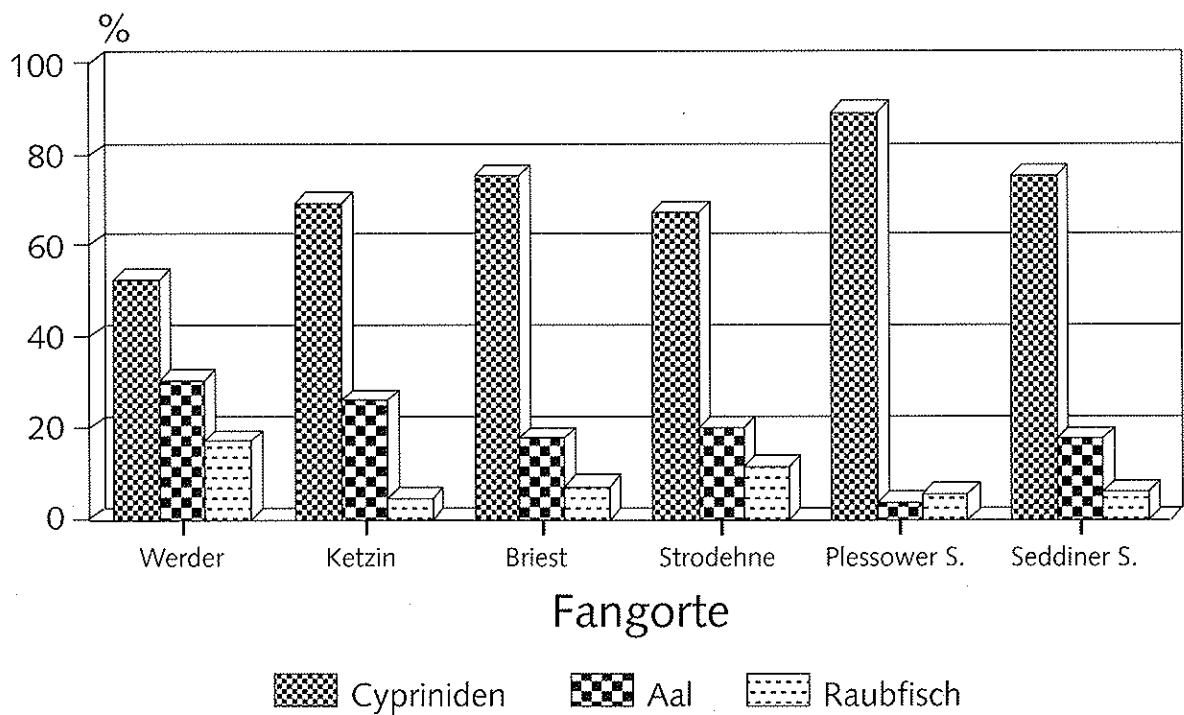
Futterfische: 4,8 t
(kleine Bleie, Güstern
und Plötzen)

Konsumfische: 0,6 t
(Blei 2-4, Barsch 2-3,
Plötze, Rapfen, Aland)

Abb. 4: Fangdurchschnitte im Plessower und Seddiner See



Fanganteil Cypriniden–Aal–Raubfisch Havel und eutrophe Flachseen 1978 - 1987



ohne Silber- u. Marmorkarpfen

Abb. 5 und 6: Fanganteile Cypriniden, Aal und Raubfisch in Havel und eutrophe Flachseen im Zeitraum 1978 - 1987 in Mengen- und Prozentangabe

den Fischern zwischen Potsdam und Brandenburg wiederholt sogenannte „Palmplötzen“ gefangen. Hierbei handelt es sich um sehr große Fische (LT: 371 mm, Masse: 771 g - Größenklasse 1). Magenanalysen in Jahr 1995 zeigten (ROTHE mdl.), daß sich diese Fische auch von der Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) ernährten. Eine Zunahme der Populationen dieser autochthonen Muschel in der Havel ist seit Ende der achtziger Jahre zu verfolgen. Auch der Anteil großer Bleie in den Reusenfängen nahm nach Mitteilung der Potsdamer Fischer wieder zu.

Das natürliche Aufkommen des Hechtes ging in den letzten Jahrzehnten in vielen Havelbereichen durch den Verlust der Laichplätze (überschwemmte Uferwiesen) stark zurück. Wegen des Fehlens von ausreichenden Schilfbereichen, submersen und emersen Makrophyten an den Ufern der Havel und in ihren Nebengewässern mangelt es außerdem an Versteckmöglichkeiten für Jungfische. Dadurch kommt es zum gehäuften Auftreten von Kannibalismus durch größere Artgenossen und zu größeren Verlusten bei Junghechten (GRIMM 1983 [25]). Der Zander besaß, mit einer durchschnittlichen Jahresfangquote 1977-1987 von mehr als 17 Tonnen (Abb. 3) allein im Havelbereich zwischen Werder und Potsdam, den größten Anteil am natürlichen Raubfischaufkommen im gesamten Havelverlauf. Diese Art hat als aktiver Raubfisch, im Gegensatz zum stationären Hecht, von den Eutrophierungsprozessen der letzten Jahrzehnte profitiert.

Eine Besonderheit bilden im gesamten Gewässerverlauf die sehr hohen Aalfänge. Allerdings muß bei der Bewertung dieser Fangmengen bedacht werden, daß sie ausschließlich aufgrund der ständigen Besatzmaßnahmen möglich sind. Nach MENZEL (mdl.) traten im Jahr 1995 jedoch rückläufige Fangmengen im Raum Brandenburg auf, die auf mögliche Störungen in der Altersstruktur der Aalpopulationen beruhen könnten.

Der Wels besitzt in der Havel nur eine geringe Bestandsdichte. Er kann als einziger Raubfisch das Überangebot an großen „Weißfischen“ nutzen. Eine Bestandsförderung im Rahmen der ökologisch orientierten Fischerei wäre bei dieser Art empfehlenswert. Der natürliche Gesamtraubfischbestand (ohne Aal) für die Havel beträgt durchschnittlich nur 10% (Abb. 5 u. 6) und ist den Angaben von KASPRZAK (1988, 1993) [26, 27] und BENNDORF (1993, 1994) [28, 29] für ausgeglichene Ökosysteme als zu niedrig zu bewerten. Bei der Aufstellung der Fangstatistiken durch die Fischereibetriebe wurden fast ausschließlich wirtschaftlich wichtige Fischarten berücksichtigt. Eine Ausnahme macht hierbei der Rapfen. Die Fangquoten im Raum Werder waren von 1980 bis 1985 stabil. In den Jahren 1986 und 1987 war eine Verdoppelung der Rapfenfänge feststellbar, ein Trend, der auch in den Folgejahren festzustellen war. Für

den Bereich der Unterhavel muß mit einer stärkeren Zunahme der Bestände, besonders bei dieser Art, gerechnet werden. Mit dem Wegfall der Belastungen in der Elbe kam es zu einer fast explosiven Bestandszunahme des Rapfens, die sich auf die Unterhavelbereiche auswirken wird.

Die Potsdamer Landseen (z.B. Gr. Seddiner, Gr. Plesower See) wiesen ähnliche Verhältnisse in der Zusammensetzung der Fischpopulationen auf, wie viele Havelabschnitte (Abb. 4). Durch einen starken Besatz mit Silber- und Marmorkarpfen waren sie aus den Fangstatistiken oft nicht sofort ersichtlich. Die erhofften Verbesserungen der Wasserqualitäten der Gewässer durch das Besetzen mit Silber- und Marmorkarpfen, aufgrund der Ernährung dieser Arten als Phyto- und Zooplanktonfiltrierer, haben sich nicht erfüllt. Große hygienische Probleme entstanden nach 1989 in vielen Seen Brandenburgs, die ehemals mit größeren Mengen dieser Fischarten besetzt wurden (u.a. Heilige See b. Potsdam, Gr. Seddiner See). So verendeten in den Sommermonaten der Jahre 1992 bis 1994 große Mengen dieser Fische. Als Ursachen sind mehrere Faktoren zu nennen. So kommt es mit der Geschlechtsreife zu Veränderungen im Körperstoffwechsel und Änderungen der Ansprüche an das Nahrungsspektrum. Das den Silber- und Marmorkarpfen in den europäischen Gewässern zur Verfügung stehende Plankton entspricht jedoch nicht den natürlichen Verhältnissen, wie es die Fische in ihren Heimatgewässern vorfinden würden. Auch das Einsetzen von Graskarpfen in große Seen führte zu negativen Entwicklungen. Die ohnehin schon geringen Restbestände an Makrophyten in den Seen werden durch den Fraßdruck der Graskarpfen zusätzlich geschädigt.

5. Zusammenfassung

Die Gesamtfischfauna der Havelgewässer setzt sich aus 44 einheimischen (autochthonen) und 9 eingebürgerten (allochthonen) Fischarten zusammen. Fische können als Indikatorarten zur Beurteilung der Gewässergüte herangezogen werden. Das gewässertypische Artenspektrum besitzt dabei in der Regel eine größere Bedeutung, als die Individuendichte einzelner Arten. Durch Verringerung der Gesamtbelastungen in Elbe und Havel kam es in den letzten Jahren zum erneuten Auftreten von ausgestorbenen Fischarten und zur Erholung der Bestände seltener Arten. In den oberen Gefährdungstufen sind die Fließgewässerfische am stärksten vertreten. 32% der ursprünglichen Fischfauna des Havelinzugsgebietes sind derzeit nicht gefährdet. Darunter befinden sich alle wirtschaftlich wichtigen Fischarten der Flußfischerei. Anspruchslose Fischarten wie Blei, Güster, Plötze, Rotfeder und Flußbarsch nahmen als Folge der Eutrophierung zu.

Danksagung

Besonderen Dank gilt Herrn Menzel für die Möglichkeit der Nutzung der umfangreichen Fangstatistik der ehemaligen PGB Brandenburg und für viele wertvolle Hinweise. Frau Rudolph (ehemals PGB Werder) und Herrn Hiller (ehemals Binnenfischerei) danke ich für die Bereitstellung von statistischen Materialien über die Fischbestände der Havel. Bei Herrn Dr. Mietz (Gewässerkataster Brandenburg) möchte ich mich besonders für die kritischen Hinweise und die anregenden Gespräche bedanken.

Literatur

- [1] BORNE, M. v. dem (1882): Die Fischerei-Verhältnisse des Deutschen Reiches, Oesterreich - Ungarns der Schweiz und Luxemburgs, W. Moeser Hofbuchdruckerei Berlin
- [2] ECKSTEIN, K. (1908): Die Fischereiverhältnisse der Provinz Brandenburg, Berlin
- [3] FRIEDEL, E. (1886): Die Wirbeltiere der Provinz Brandenburg, Berlin
- [4] GROTE, W., C.; VOGT & HOFER, B. (1909): Die Süßwasserfische von Mittel-Europa, Commissionsverlag W. Engelmann, Leipzig
- [5] QUIEL, G. (1936): Die natürlichen Grundlagen der Fischereiwirtschaft in den märkischen Seen, Brandenburgische Jahrbücher 1, Druck und Verlag Hayn's Erben, Potsdam u. Berlin
- [6] SCHULZ, J. H. (1845): Fauna Marchica, Verlag der Eyssenhardt'schen Buchhandlung Berlin
- [7] PETRICK, G. (1995): Zur Fischfauna des Gülper Sees und der Unteren Havelniederung, Z. Naturschutz u. Landschaftspflege Brdbg. H. 4 1994, H. 1 1995, 31 - 34
- [8] BAUCH, G. (1954): Die einheimischen Süßwasserfische, Neumann Verlag Radebeul und Berlin
- [9] KNAACK, H.- J. (1959): Über die im Bezirk Potsdam (westliches Brandenburg) auftretenden Fischarten, Dtsch. Fischerei-Zeitung 6, 161 - 168
- [10] PAEPKE, H.-J. (1981a): Die gegenwärtige Situation der Süßwasserfischfauna in der DDR. Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch. 21 (3), 113 - 130
- [10a] PAEPKE, H. - J. (1981b): Anthropogene Einwirkungen auf die Süßwasserfischfauna der DDR und Möglichkeiten des Artenschutzes, Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch. 21(4), 241- 258
- [10b] DOERING, P. (1985): Fischfauna - Verbreitung, Umweltsprüche und Gefährdungsgrad, In: Umweltatlas Berlin, Senator f. Stadtentwicklung u. Umweltschutz, Abt. III (Hrsg.), 2 - 4
- [11] DOERING, P. (1986): Ergebnisse fischfaunistischer Untersuchungen und eine Revision der Roten Liste der Fische von Berlin (West), In: Die limnische Fischfauna Westdeutschlands in Vergangenheit und Gegenwart, Schriftenreihe AG Dtsch. Fischereiverw.-beamten, Fisch.-wiss. 3, 66 - 80
- [12] DOERING, P. (1991): Fischbestände West-Berliner Groß- und Kleingewässer - Ergebnisse aus den achtziger Jahren - Sber.Ges. Naturf. Freunde Berlin. (N.F.) 31, 31 - 44. Duncker & Humblot/Berlin
- [13] GROSCH, u.a. (1980): Die Fischfauna in Berlin (West) am Ende der siebziger Jahre. Berl. Naturschutzbl. 23 (68), 530-536, 24 (69), 560-565
- [14] GROSCH, u.a. & ELVERS, H. (1982): Die Rote Liste der gefährdeten Rundmäuler (Cyclostomata) und Fische (Pisces) von Berlin (West). Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 11, Berlin: 197 - 210
- [15] VÖLZKE, V. (1988): Bestandsanalyse für die Güster (*Blicca bjoerkna*) und für die Plötze (*Rutilus rutilus*) des Tegeler Sees (Berlin). Berlin-Forschung, FU Berlin. 168 S.
- [16] VILCINSKAS, A. (1991): Rote Liste der gefährdeten Fische und Rundmäuler (Osteichthyes et Cyclostomata) von Berlin (West) 1990 in AUHAGEN & PLATEN (Hrsg.) 1991- Rote Liste der gefährdeten Pflanzen und Tiere in Berlin 1990. Landschaftsentw. u. Umweltforschung Berlin: 1 - 11
- [17] MENZEL, R. (1992): Massenfischentnahme, Projektantrag an das MELF Brandenburg, 11 S.
- [18] WEISSER, (1995): UVS zur Unteren Havelwasserstraße, Im Auftrag des Bundeswasserstraßenamtes Ost
- [19] KNUTH, D. (1989): Zum Vorkommen des Bitterlings (*Rhodeus sericeus amarus*) im Bezirk Potsdam, Beitr. Tierwelt Mark XI, 45 - 52
- [20] KNUTH, D. (1992b): Die Verbreitung des Binnenstintes (*Osmerus eperlanus f. spirinchus*) in Brandenburg unter besonderer Betrachtung von populationsdynamischen Aspekten im Teupitzer Seengebiet, sowie die Bedeutung eines Fließgewässerschutzsystems für den Erhalt charakteristischer Lebensräume und ihrer Naturausstattung, Diss. HU Berlin, 118 S.
- [21] KNUTH, D. (1992a): Die Rote Liste der Rundmäuler (Cyclostomata) und Fische (Pisces) des Landes Brandenburg, (Hrsg.): Umweltministerium Brandenburg,
- [22] KNÖSCHE, R. (1995): Planktische Primärproduktion und Phosphatgehalt in verschiedenen Gewässertypen der Unteren Havelaue bei Gülpe, Z. Naturschutz und Landschaftspflege Brdbg. H. 4 1994, H. 1 1995, 35 - 41
- [23] ROHDE, E. (1992): Zur Problematik der Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten der Potsdamer Havelseen, 1. Tagung Seenkataster Brandenburg 23.11.1992, unveröff.
- [24] BARTHELMES, D. (1981): Hydrobiologische Grundlagen der Binnenfischerei, Gustav Fischer Verlag Jena, 252 S.
- [25] GRIMM, M. P. (1983): Regulation of biomasses of small (< 41 cm) northern pike (*Esox lucius* L.), with special reference to the contribution of individuals stocked as fingerlings (4-6 cm). Fish. Mgmt 14 (3). 115 - 134
- [26] KASPRZAK, P.; BENNDORF, J.; KOSCHEL, R. u. RECKNAGEL, F. (1988): Applicability of the food-wb manipulation in the restoration program of a hypertrophic stratified lake: Model studies for lake Haussee (Feldberg, GDR), In: Limnologica, 19, 87-95
- [27] KASPRZAK, P.; KRIENITZ, L. u. KOSCHEL, R. (1993): Changes in the plankton of lake Feldberger Haussee in response to biomanipulation. In: Arch. Hydrobiol. 128, 149 - 168
- [28] BENNDORF, J. (1993): Einsatz der Nahrungskettenmanipulation zur Sanierung eutropher Seen, Zwischenbericht BMFT-Vorhaben 0339423A unveröff.
- [29] BENNDORF, J. (1994): Sanierungsmaßnahmen in Binnengewässern: Auswirkungen auf die trophische Struktur. In Limnologica, 24, 2, 121 - 135

Dr. rer. nat. Detlef Knuth
Institut des Gewässerkataster und angewandte
Gewässerökologie e.V.
Mitschurinstraße 5
14469 Potsdam

Die Amphibien und Reptilien der Havel

Im Haveleinzugsgebiet sind dank der Vielgestaltigkeit der Landschaftsräume die meisten einheimischen Amphibien- und Reptilienarten anzutreffen. Besonders der Teich- (*Rana cl. esculenta*) und der Seefrosch (*Rana ridibunda*) sind direkt an den Ufern der Flußläufe und zahlreichen Seen verbreitet. Für die meisten anderen Arten sind jedoch nicht die Flußläufe oder Kanäle selbst, sondern Lebensräume angrenzender Landschaftsformationen entscheidend. Dies können zuführende Entwässerungsgräben, Seen, Teiche, Tümpel, Altarme, Sand-, Kies- und Tongruben sein. Grünland, Bruch- und Auwälder bieten Sommerlebensräume und Winterquartiere.

1. Bedeutung der Havel für die Brandenburger Herpetofauna

In den ausgedehnten Niederungsgebieten formte der Fluß dank seiner ursprünglich hohen Dynamik weiträumige Überschwemmungslandschaften. Ausgedehnte Mäander, Altarme und großflächige, überwiegend entwässerte Moore prägen neben der Vielzahl von Seen und künstlichen Gewässern wie Kanälen, Entwässerungsgräben, Kies-, Ton- und Torfstichen heute das Landschaftsbild. Die Einzugsgebiete der Havel - mit Ausnahme des Berliner Raumes - besitzen einen noch relativ geringen Zersiedlungsgrad und werden von einem weitverzweigten Gewässernetz durchzogen. Somit besitzt die Havelregion noch heute die Voraussetzungen für die Existenz überregional bedeutender und stabiler Metapopulationen einer Reihe von Amphibien- und Reptilienarten. Besonders für Arten, die vorrangig auf Wasserwegen wandern und größere Gewässer besiedeln, ist das Gewässernetz der Havel bis heute ein wichtiges Ausbreitungs- und Verbreitungsgebiet. Dies trifft vor allem für den Seefrosch und ursprünglich auch für die Sumpfschildkröte zu. Andere Arten wie Teichmolch, Knoblauchkröte, Erdkröte, Teichfrosch, Moorfrosch, Ringelnatter und regional Kammolch, Kreuzkröte, Grasfrosch, Waldeidechse und Blindschleiche besitzen ebenfalls im Einzugsgebiet der Havel bedeutende Verbreitungszentren. Nicht nur der Reichtum an Gewässern und ihr Verbund sondern auch ihre direkte Anbindung an andere Teillebensräume, wie Wälder und Moore, bot den Amphibien und einigen Reptilienarten günstige Bedingungen. Selbst xerothermophile Arten, wie Glattnatter und Zauneidechse besiedeln verschiedene Randlagen havelbegleitender Landschaftsformationen.

2. Amphibien

• Teichmolch (*Triturus vulgaris*) und Kammolch (*Triturus cristatus*)

Teich- und Kammolch sind im Brandenburger Havelgebiet noch heute weit verbreitet. Im Gegensatz zum Teichmolch ist der Kammolch jedoch seltener und weist nach vorliegenden Erhebungen wesentlich geringere Abundanzen auf (HEIN 1991 [1]). Nach JASCHKE (1992) [2] lagen im ehemaligen Kreis Rathenow etwa 30 Fundpunkte für den Kammolch vor.

• Rotbauchunke (*Bombina bombina*)

Die Rotbauchunke zählt zu den am meisten gefährdeten Amphibienarten im Einzugsgebiet der Havel. Insbesondere die westlichen Vorkommen an der Unteren Havel sind in den letzten zehn Jahren nahezu erloschen. JASCHKE (1992) [2] führt für den ehemaligen Kreis Rathenow in den Jahren 1984-1990 nur noch fünf Fundpunkte mit jeweils ein bis fünf rufenden Rotbauchunken an. Eine Wiederbesiedlung dieser Region - ausgehend von den noch relativ stabilen Vorkommen im Elbtal (GASSMANN 1984 [3]) - erscheint im Zusammenhang mit den Extensivierungsmaßnahmen und der Frühjahrsüberstauung ausgedehnter Niederungsflächen an der Unteren Havel (Parey, Gülpe) nicht gänzlich ausgeschlossen. Im Brandenburg - Potsdamer Havelgebiet existieren noch einige meist isolierte Restvorkommen. Bemerkenswert individuenstarke, jedoch ebenfalls isolierte Populationen befinden sich in den Naturschutzgebieten Döbberitzer Heide und Teichgebiet Linum. Die Vorkommen im Berliner und Oranienburger Havelgebiet sind erloschen (KÜHNEL et al. 1991, SCHNEEWEISS 1993 [4, 5]). Weiter nördlich im Bereich der Zehdenicker Tonstiche quert die Havel ein regionales Verbreitungszentrum der Rotbauchunke.

• Knoblauchkröte (*Pelobates fuscus*)

Im Einzugsgebiet der Havel ist die Knoblauchkröte eine der am weitesten verbreiteten und zugleich häufigsten Amphibienarten. Sie besiedelt hier vor allem das intensiv genutzte Agrarland der Niederungen. Aufgrund der verborgenen Lebensweise wird ihre relative Häufigkeit jedoch meist unterschätzt. Während einer Amphibienschutzaktion in der Unteren Havelniederung bei Parey wurden im Frühjahr 1995 mehr als 500 Knoblauchkröten registriert (HAASE). Südwestlich von Oranienburg, zwischen Annahof und Leegebruch, wurden im Rahmen einer Untersuchung 1995 ca. 700 Knoblauchkröten gezählt (SCHMIDT).

• Erdkröte (*Bufo bufo*)

Besonders in den durch Wälder geprägten Gebieten ist die Erdkröte entlang der Havel die häufigste Amphibienart. Im Gegensatz zu den vorherigen Arten nutzt sie zum Teil auch die Röhrichtgürtel der Havelseen als Laichhabitat. Verbreitungsschwer-

punkte befinden sich vor allem in den gewässer- und waldreichen Regionen der Unteren Havelniederung, des Brandenburg - Potsdamer und des Fürstenberger Havelgebietes.

- **Wechselkröte (*Bufo viridis*)**

Die Wechselkröte besitzt im Einzugsgebiet der Havel nur sporadische, überwiegend individuenschwache Vorkommen, die meist an Sekundärhabitats in Kies- und Sandgruben gebunden sind. JASCHKE [2] zählt sie an der Unteren Havel, im ehemaligen Kreisgebiet Rathenow, zu den vom Aussterben bedrohten Amphibienarten.

- **Kreuzkröte (*Bufo calamita*)**

Im Bereich der Unteren Havel ist die Kreuzkröte noch regelmäßig anzutreffen. Sie bevorzugt hier sandige und lockere Böden. Laichgewässer sind vor allem temporäre Kleingewässer in dem durch Hochwasser beeinflussten Bereich der Havelniederungen. Nach JASCHKE [2] beherbergen die Feuchtgebiete von nationaler und internationaler Bedeutung an der Unteren Havel wahrscheinlich die größten Kreuzkrötenvorkommen der Mark Brandenburg.

- **Europäischer Laubfrosch (*Hyla arborea*)**

Im Einzugsgebiet der Havel sind dem Verfasser keine aktuellen Laubfroschvorkommen bekannt. Die Art soll jedoch früher westlich und nördlich von Berlin nicht selten gewesen sein (DÜRIGEN 1897 [6]).

- **Moorfrosch (*Rana arvalis*) und Grasfrosch (*Rana temporaria*)**

Beide Arten sind im Havelgebiet anzutreffen und besiedeln sowohl im offenen Agrarland als auch in geschlossenen Wäldern oft die gleichen Laichgewässer und Landlebensräume. Nach einer Kartierung von JASCHKE (1984) [7] ist der Moorfrosch in der Unteren Havelniederung mehr oder weniger regelmäßig anzutreffen, wogegen der Grasfrosch wesentliche Verbreitungslücken aufweist. So ist letztere Art im Havelländischen Luch äußerst selten [2]. Dort, wo beide Arten gemeinsam auftreten, ist der Moorfrosch in der Regel deutlich zahlreicher vertreten. Im Raum Rathenow sind in Gebieten mit großflächig intensiver Landwirtschaft die Moorfroschbestände auf klägliche Reste zusammengeschrumpft [2]. Bei einer Amphibienschutzaktion in Parey wurden im Frühjahr 1995 1.310 Moorfrösche und 634 Grasfrösche registriert (HAASE). Nördlich von Berlin ist der Grasfrosch ebenfalls wesentlich seltener als der Moorfrosch (SCHNEEWEISS).

- **Seefrosch (*Rana ridibunda*), Teichfrosch (*Rana cl. esculenta*) und Kleiner Wasserfrosch (*Rana lessonae*)**

Obwohl der Seefrosch den gesamten Havelverlauf von Fürstenberg bis zum Gülper See besiedelt, ist er

westlich von Berlin wesentlich häufiger als nördlich davon (GÜNTHER 1990 [8]). Bei Oranienburg fand GÜNTHER (SCHIEMENZ & GÜNTHER 1994 [9]) in einem Havelaltarm ein Seefroschvorkommen mit über 300 adulten Individuen. Bemerkenswert erscheint, daß der Seefrosch im Oberlauf der Havel Richtung Norden immer seltener wird und schließlich seine Arealnordgrenze erreicht. Im gewässerreichen Mecklenburg - mit Ausnahme einzelner peripherer Vorkommen - fehlt er fast gänzlich (SCHIEMENZ & GÜNTHER 1994 [9]). Auch in den Berliner Havelgewässern sind Teich- und Seefrosch verbreitet. WENDLAND (1971) [10] traf an den großen Westberliner Havelseen fast ausschließlich Seefrösche an. Eine ähnliche Situation beschrieb PAEPKE (1966) [11] für den Potsdamer Raum. In den großen seenartigen Erweiterungen der unteren Havel besiedelt der Seefrosch vor allem ruhige, pflanzenreiche Buchten und ihre Verlandungszonen. Aber auch am Flußlauf und in einmündenden Gräben und Kanälen findet man den Seefrosch schon in kleineren pflanzenreichen Buchten. Von der Havel ausgehend besiedelte der Seefrosch überwiegend auf dem Wasserwege zahlreiche periphere Gewässer im Einzugsgebiet der Unteren Havel [11]. Der Teichfrosch kann am gesamten Flußlauf angetroffen werden, wenngleich er vor allem an den größeren Gewässern gegenüber dem Seefrosch in den Hintergrund tritt. In den nicht durch Wasserläufe mit der Havel verbundenen kleineren Gewässern dagegen dominiert der Teichfrosch. Der Kleine Wasserfrosch bevorzugt kleine Weiher und moorige Gewässer. Aufgrund seiner Ähnlichkeit mit der zuvor genannten Hybridart wird er bei Kartierungen oft übersehen. Nach JASCHKE (1992) [2] ist er im Raum Rathenow weit verbreitet und nach SCHIEMENZ und GÜNTHER (1994) [9] auch im Potsdamer Gebiet und im Havelländischen Luch.

3. Reptilien

- **Europäische Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*)**

Ursprünglich hatte die Havel als Ausbreitungsweg und Lebensraum erhebliche Bedeutung für die Sumpfschildkröte. Noch aus dem 19. Jahrhundert sind Sumpfschildkrötenfunde selbst aus dem Berliner Havelgebiet bekannt. So berichtet DÜRIGEN (1897 [6]) von Sumpfschildkröten, die in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts auf den Spandauer Wiesen oder auch später noch im Tegeler See gefangen wurden. Der selbe Autor berichtet von Sumpfschildkröten aus dem Westhavelland bei Plaue. Mehrere Nachweise liegen noch aus jüngerer Vergangenheit für die Potsdamer Seen vor. PAEPKE (1977) [12] zitiert Funde bzw. Reusenfänge am Zernsee, Wublitz-, Schwielow- und Griebnitzsee, deren Brandenburger Herkunft zum Teil angezweifelt wird. Weiter westlich führt PAEPKE [12] Nachweise aus der Beetzseerinne an. Von der Oberen Havel sind Sumpf-

schildkrötennachweise aus dem Marienthaler Raum bekannt [12]. Bis heute werden in größeren Abständen einzelne Sumpfschildkröten an den Havelseen beobachtet bzw. in Reusen gefangen. Von den Vorkommen, die schon Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts als bemerkenswert galten (STRUCK, SIEMSEN zitiert nach DÜRIGEN [6]), existieren einzelne als individuenarme Restpopulationen in peripheren Einzugsgebieten der Havel noch heute. In ihrer ursprünglichen Form bot das Gewässernetz der Havel Sumpfschildkröten mit Sicherheit wichtige Wege, auf denen neue Lebensräume erschlossen wurden. Gerade in Anbetracht ihres hohen Alters („> als 100 Jahre“ sind möglich) und der differenzierten Anforderungen an Wohngewässer und Eiablageplätze wird deutlich, daß der Reproduktionserfolg einer Sumpfschildkröte von einer gewissen Flexibilität bei der Wahl der Eiablageplätze abhängig ist. So werden bei sukzessionsbedingten Veränderungen an den Gelegeplätzen neue, besser geeignete Habitate aufgesucht. Die Mobilität ermöglicht es ihnen, überwiegend auf Wanderungen im Wasser - neue Lebensräume zu erschließen.¹⁾ Für das Überleben von Sumpfschildkrötenpopulationen ist daher ein naturnahes Gewässernetz unverzichtbar.

- **Blindschleiche (*Anguis fragilis*) und Waldeidechse (*Lacerta vivipara*)**

Beide Arten sind im Einzugsgebiet der Havel noch heute weit verbreitet und stellenweise recht häufig anzutreffen. Ihre Habitatanforderungen ähneln sich und so sind Blindschleiche und Waldeidechse nicht selten gemeinsam in Niedermoorwiesen oder an Weg- und Waldrändern der Flußauwe anzutreffen. Vor allem entlang bewaldeter Uferpartien erstrecken sich die Lebensräume beider Arten oft bis in die Verlandungszonen der Havelgewässer.

- **Zauneidechse (*Lacerta agilis*)**

Für die wärmeliebende Zauneidechse sind besonders die Havel begleitende Sekundärhabitats, wie südexponierte Böschungen der Deiche und Kanaldämme von Bedeutung. Aber auch besonnte Wald- und Wegränder der Havelniederungen werden gerne besiedelt.

- **Ringelnatter (*Natrix natrix*)**

In den seenreichen Gebieten der Havel ist die Ringelnatter trotz starker Bestandseinbußen in den letzten zwei Jahrzehnten noch recht häufig zu finden. Bevorzugte Lebensräume sind die breiten Verlandungsgürtel der Seen, aber auch Kanalböschungen und Grabenränder werden besiedelt. Das weit verzweigte Gewässernetz im Havel Einzugsgebiet verbindet eine Vielzahl geeigneter Lebensräume miteinander und gewährt der Ringelnatter somit Voraussetzungen für noch großräumig geschlossene Populationen. Barriere-

charakter dürften vor allem die Stadtlagen von Berlin-Spandau, Potsdam und Brandenburg besitzen. Südexponierte Stein- und Kiespackungen der Dämme an Kanälen und Schleusen sind beliebte Sonnen- und Versteckplätze. Ein bemerkenswertes Massenvorkommen von Ringelnattern und Glattnattern wurde in der Zehdenick-Spandauer Havelniederung bekannt (KNUTH 1988 [13]). Im alten Böschungsgebiet einer Sportbootschleuse (Vosskanal) überwinterten 200 bis 300 adulte Ringelnattern und bis zu 50 Glattnattern. Dieses Überwinterungsquartier ist bereits seit mehr als 25 Jahren bekannt und existiert noch heute. Infolge von Rekonstruktionsarbeiten haben die Schlangenbestände jedoch abgenommen.

- **Glattnatter (*Coronella austriaca*)**

Für die wärmeliebende Glattnatter bieten vor allem südexponierte Böschungen und Waldrandlagen auf Dünenzügen innerhalb der Havelniederung oder auf angrenzenden Sanderflächen geeignete Lebensräume. Eine Reihe von Funden wurden vor allem aus der Zehdenick-Spandauer Havelniederung (STRECK 1965 [14]) und aus dem Potsdamer Raum bekannt (SCHIEMENZ & GÜNTHER 1994 [9]). Es sei hier noch einmal auf das Massenüberwinterungsquartier von 50 Glattnattern gemeinsam mit Ringelnattern am Vosskanal verwiesen (s. vorhergehender Abschnitt, KNUTH 1988 [13]). In der Unteren Havelniederung scheint die Glattnatter gänzlich zu fehlen.

4. Gefährdung

Neben den für Amphibien und Reptilien allgemein bekannten Gefährdungsursachen (NÖLLERT 1992, [15] HONEGGER, 1981 [16]) kann in Bezug auf die Situation an der Havel im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur kurz auf einige Besonderheiten hingewiesen werden. So weisen Uferstrecken - vor allem in den Stadtgebieten an stark befahrenen Schiffahrtsstraßen - meist keine Verlandungsgürtel auf. Dagegen befinden sich hier Uferbefestigungen aus Faschinen, Steinpackungen, Mauern und Spuntwänden. Vor allem senkrechte Uferbefestigungen bieten Amphibien und auch Reptilien oft keine Chance, das Gewässer zu verlassen. Wasserläufe können auf diese Weise ebenso Barrierecharakter erlangen, wie anderswo Straßen. Sowohl Amphibien als auch Sumpfschildkröten oder Ringelnattern sind z.B. in einer mit Spuntwänden ausgekleideten Schleusenzufahrt oft zum Ertrinken verurteilt. Der durch Bootsverkehr verursachte Weillenschlag führt dazu, daß die exponierten Ufer der Wasserstraßen von Amphibien gemieden werden. Schon kleinere Buchten bieten Deckung und Ausstiegsmöglichkeiten. Eine Auflockerung der Uferbefestigungen infolge Verrottung ist daher aus Sicht des Artenschutzes zu begrüßen.

¹⁾ Auf den Wanderungen zu den Gelegeplätzen können mehr als 3 km zurückgelegt werden (JABLONSKI mdl.)

Sumpfschildkröten werden in den Havelgewässern auch durch die Reusenfischerei gefährdet. Das Ausmaß der Verluste läßt sich jedoch nicht abschätzen, da wahrscheinlich nur ein geringer Anteil der Totfunde bekannt wird. Pflege- und Bewirtschaftungsmaßnahmen an Entwässerungsgräben und Kanalböschungen führen immer wieder vor allem unter den Amphibien zu Verlusten. In den Sommermonaten halten sich bevorzugt die Jungtiere zu Tausenden in den wassernahen Böschungen auf. Die Folgen der früher oft praktizierten chemischen Entkrautung auf die Herpetofauna der Wasserläufe sind nicht bekannt. Aber auch Grabenberäumungen im Winterhalbjahr sind zahlreiche Amphibien, die im Schlamm überwintern (Gras- und Teichfrosch), zum Opfer gefallen. An einem Fluß, der wie die Havel breite Kontaktzonen zur Großstadt besitzt wundert es nicht, daß zunehmend Exoten wie Nordamerikanische Schmuckschildkröten, Höcker- und selbst Geierschildkröten gefunden werden. Für die einheimischen Restvorkommen der Sumpfschildkröte könnte gerade in den Potsdamer Havelgewässern die Vermischung mit Sumpfschildkröten südosteuropäischer Herkunft eine Gefahr bedeuten (SCHNEEWEISS 1995 [17]). Eine artenreiche und für Brandenburg charakteristische Herpetofauna wird zukünftig vom Fortbestehen großräumiger Landschaften abhängig sein, die durch Reichtum und Dynamik ihrer Gewässer in ausreichendem Maße Rückzugs- und Regenerationsräume bieten. An der Havel bietet sich hierfür heute noch vielerorts die Chance.

Literatur

- [1] HEIN, U. (1991): Lurche und Kriechtiere im Landkreis Potsdam. unveröff. Manuskript
- [2] JASCHKE, W. (1992): Lurche im Kreis Rathenow. Rathenower Heimatblätter. Rathenow, S. 81-86
- [3] GASSMANN, F.H. (1984): Lurche und Kriechtiere des Bezirkes Magdeburg - Darstellung des gegenwärtigen Kenntnisstandes der Verbreitung. Naturschutzarbeit in den Bezirken Halle und Magdeburg, Halle 21/1: 29-56

- [4] KÜHNEL, K.-D.; RIECK, W.; KLEMM, C.; NABROWSKY, H.; BIEHLER, A. (1991): Rote Liste der gefährdeten Amphibien und Reptilien von Berlin. In AUHAGEN, A.; PLATEN, R. u. SUKOPP, H. (Hrsg.): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen und Tiere in Berlin. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung: 143-155
- [5] SCHNEEWEISS, N. (1993): Zur Situation der Rotbauchunke *Bombina orientalis* LINNAEUS, 1761, in Brandenburg. Z. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, 2/1993: 8-11
- [6] DÜRIGEN, B. (1897): Deutschlands Amphibien und Reptilien. Magdeburg: 676 S.
- [7] JASCHKE, W. (1984): Bemerkungen zur regionalen Verteilung des Grasfrosches (*Rana temporaria*) im Kreis Rathenow. Mitt. BAG „Artenschutz“ Potsdam 1: 24-25
- [8] GÜNTHER, R. (1990): Die Wasserfrösche Europas. NBB, Wittenberg Lutherstadt: 288 S.
- [9] SCHIEMENZ, H. & GÜNTHER, R. (1994): Verbreitungsatlas der Amphibien und Reptilien Ostdeutschlands. Rangsdorf, Natur und Text: 143 S.
- [10] WENDLAND, V. (1971): Die Wirbeltiere West-Berlins. S.ber Ges. Naturforsch. Freunde Berl. (N.F.), 11: 5-128
- [11] PAEPKE, H.-J. (1966): Die Verbreitung von See- und Teichfrosch (*Rana ridibunda* et *Rana esculenta*) in der Umgebung von Potsdam. Beiträge zur Tierwelt der Mark III, Potsdam 1966: 57-75
- [12] PAEPKE, H.-J. (1977): Zur gegenwärtigen Verbreitung der Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis* L.) in den brandenburgischen Bezirken Potsdam, Frankfurt/Oder, Cottbus und in Berlin (Reptilia, Emydidae). Mitt. Zool. Museum Berlin 53: 173-185
- [13] KNUTH, D. (1988): Massenüberwinterungsquartier von Ringelnatter (*Natrix natrix*) und Glattnatter (*Coronella austriaca*) im Kreis Oranienburg, Bezirk Potsdam. Rana, Berlin, 5: 111-112
- [14] STRECK, O.E. (1965): Zur Verbreitung der Glattnatter, *Cornella austriaca austriaca* (Laurenti), in der Mark. Beiträge zur Tierwelt der Mark II, Potsdam 1965: 21-29
- [15] NÖLLERT, A. & C. (1992): Die Amphibien Europas. Stuttgart: 382 S.
- [16] HONEGGER, R.E. (1981): Threatened Amphibians and Reptiles in Europe. Supplement zum „Handbuch der Reptilien und Amphibien Europas“, Wiesbaden.
- [17] SCHNEEWEISS, N. (1995): Letzte Chance für die Sumpfschildkröte - Ein NABU-Projekt in Brandenburg. Naturschutz heute, 2/95, Kornwestheim: 36-37

Dipl.-Biologe Norbert Schneeweiß
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Naturschutz
Naturschutzstation Niederbarnim
Buchenallee 49a
16341 Zepernick

Bedeutung der Havel für die Vogelwelt

Die Havel unterhalb Berlins ist eine, wenn auch vom Menschen beeinflusste naturnahe Landschaft. Zahlreiche Nebenarme, Altwässer, Buchten und Inseln prägen den Flußlauf. Die Uferbereiche besitzen ausgedehnte Verlandungszonen mit Phragmites-Beständen, Weidichten und Erlenbrüchen. An die Ufer schließen Niederungen an, die vielfach als Grünland bewirtschaftet werden, aber in Abhängigkeit von Wasserführung und Wasserstand in der Havel teilweise stark durchfeuchtet sind.

Für die Vogelwelt ist gerade das Mosaik unterschiedlicher, auch kleinflächiger Habitats, die sich mit

großflächigen Feuchtwiesen, Inundationsgebieten und größeren Seeflächen abwechseln, wichtig. Trotz Melioration und Eindeichung von Polderflächen im Unterhavelgebiet besitzt die Havellandschaft vor allem für Wasservögel eine sehr große Bedeutung, vergleichbar mit dem unteren Odertal und der Elbtal- aue. Deshalb wurde der Bereich unterhalb Rathenows schon in den 70er Jahren als FIB (Feuchtgebiet internationaler Bedeutung) gemäß RAMSAR-Konvention ausgewiesen. Teile davon und weitere Gebiete im Mittellauf zwischen Ketzin und Brandenburg, im Emstertal, und an der Stremmel sind Natur-

schutzgebiete. Für die Ausweisung als FIB sprach vor allem die Bedeutung als Brutgebiet für Limikolen (Schnepfenvögel wie Uferschnepfe, *Limosa limosa*, Großer Brachvogel, *Numenius arquata*, Rotschenkel, *Tringa totanus*, Kampfläufer, *Philomachus pugnax*) und Gründelenten (Spießente, *Anas acuta*, Knäkente, *Anas querquedula*, Löffelente, *Anas clypeata*) sowie als Rast- und Überwinterungsgebiet für zahlreiche Anatiden. Von den Brutvögeln gehören in die Rote Liste Brandenburgs (Kategorie 1) Brachvogel, Uferschnepfe, Rotschenkel, Kampfläufer, Spießente. Außerdem liegen in diesem Gebiet Brutvorkommen von Rohrdommel (*Botaurus stellaris*), Sumpfohreule (*Asio flammeus*), Wachtelkönig (*Crex crex*); diese Arten sind gleichfalls vom Aussterben bedroht.

Für die Wasservogelwelt zeichnen sich folgende wichtige Teilgebiete ab:

1. Potsdamer Havelseen: In Verbindung mit den Havelseen in Berlin besitzen die Gewässer vor allem für durchziehende Tauchenten und Gänse-säger (*Mergus merganser*) erhebliche Bedeutung. Hier konzentrieren sich in strengen Wintern bis zu 2.000 Gänse-säger (KALBE 1990 [1]) - neben Oder und Elbe das wichtigste Überwinterungsgebiet in Deutschland -, ca. 5.000 Reiherenten (*Aythya fuligula*), mehrere Hundert Schellenten (*Bucephala clangula*) und Tafelenten (*Aythya ferina*) und weitere seltene Entenarten wie Zwergsäger (*Mergus albellus*), Bergente (*Aythya marila*), Trauerente (*Melanitta nigra*), Samtente (*Melanitta fusca*). Ihnen folgen im Winterhalbjahr als Nahrungsgäste Seeadler (*Haliaeetus albicilla*) in größerer Zahl, z.B. am Schwielowsee bis zu acht Exemplaren.

Die Nahrungsgrundlage für die Tausenden von Wasservögeln bilden vor allem die in den letzten 10 Jahren wieder häufiger gewordenen Dreikantmuschelbestände (*Dreissena polymorpha*).

2. Mittlere Havel von Ketzin bis Pritzerbe: Zahlreiche Altwässer und Inseln machen das Gebiet vor allem für brütende Wasservögel attraktiv. Zu ihnen zählen: Löffelente, Knäkente, Uferschnepfe, Rotschenkel und Bekassine (*Gallinago gallinago*). Ausgedehnte Feuchtwiesen am Pritzerber See ermöglichen die Ansiedlung gerade der wiesenbrütenden Limikolen. In den Verlandungsbereichen sind Brutvorkommen von Tüpfelralle (*Porzana porzana*), Kleinralle (*Porzana parva*) und Wasser-ralle (*Rallus aquaticus*) bekanntgeworden. Außerdem sind mit gesundem Brutbestand Bartmeise (*Panurus biarmicus*) und Drosselrohrsänger (*Acrocephalus arundinaceus*) im Uferschilf, Beutelmeise (*Remiz pendulinus*), Blaukehlchen (*Luscinia svecica*), Schlagschwirl (*Locustella fluviatilis*) in Weidichten und Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*) und Feldschwirl (*Locustella naevia*) in den Randbereichen zur offenen Wiesenlandschaft verbreitet.

3. Unteres Havelgebiet mit dem Gülper See als Zentrum (RUTSCHKE und KALBE 1978 [2]): Hier sind

Rote-Liste-Arten des Havelgebietes (Brutvögel)

Kategorie	RL Deutschland	Habitat
1. Vom Aussterben bedroht		
Großer Brachvogel	2	Wiesen, Feuchtwiesen
Kampfläufer	1	Feuchtwiesen
Kleinralle	1	Moore, Sümpfe, Weiher
Rohrdommel	2	Röhrichte
Rotschenkel	3	Feuchtwiesen
Seeadler	2	Nahrungsgast
Spießente	4	Feuchtwiesen
Sumpfohreule	2	Feuchtwiesen
Trauerseeschwalbe	1	Flachgewässer
Uferschnepfe	2	Feuchtwiesen
Wachtelkönig	1	Wiesen, Feuchtwiesen
Wiedehopf	1	Offene Landsch./Wälder
2. Stark gefährdet		
Baumfalke	2	Feldgehölze/Wälder
Bekassine	2	Feuchtwiesen/Brüche
Blaukehlchen	2	Verlandungszonen
Eisvogel	3	Gewässer
Fischadler	2	Gewässer/Wälder
Flußseeschwalbe	2	Gewässer
Flußuferläufer	1	Fließgewässer
Knäkente	2	Feuchtwiesen, Flachseen
Krickente	3	Flachseen
Schilfrohsänger	2	Röhricht, Weidicht
Schwarzhalσταucher	2	Flachseen
Tüpfelralle	2	Feuchtgebiete
Wachtel	2	Äcker, Wiesen
3. Gefährdet		
Braunkehlchen	3	Wiesen, Weiden
Drosselrohrsänger	2	Röhricht
Kiebitz	3	Wiesen, Weide
Rebhuhn	3	Wiesen, Äcker
Rohrschwirl	3	Röhricht
Rotmilan	3	Wälder
Schafstelze	3	Wiesen
Schleiereule	3	Siedlungen
Schwarzmilan	3	Wälder
Turteltaube	-	Wälder/offene Landsch.
Weißstorch	2	Siedlungen
Wiesenpieper	3	Feuchtwiesen
4. Potenziell gefährdet		
Bartmeise	4	Röhricht
Brandgans	-	Gewässer
Löffelente	3	Wiesen, Flachseen
Schlagschwirl	-	Weidicht

die Uferschnepfe und der Rotschenkel in sehr guten Brutbeständen auf den Havelinseln und in angrenzenden Feuchtgebieten vertreten, z.B. auf der Insel Hühnemörder in Jahren mit hohem Wasserstand bis zu 25 Brutpaare der Uferschnepfe. Hier finden sich auch die einzigen ständigen Brutplätze des Kampfläufers neben den Brutvorkommen im Odertal in Brandenburg.

Neben den bereits genannten Gründelenten brüten in einigen Paaren Brandenten (*Tadorna tadorna*).

Von größter Bedeutung ist das Gebiet für Tausende von Gründelenten, wenn im Frühjahr die Havelwiesen teilweise überflutet sind: Maximal 7.000 Spießenten, 3.000 Pfeifenten (*Anas penelope*), 3.500 Löffelenten, 3.000 Krickenten (*Anas crecca*), 1.000 Schnatterenten (*Anas strepera*).

Im Winterhalbjahr sind der Gülper See und die angrenzenden Wiesen und Äcker Hauptsammelplatz Brandenburgs für nordische Gänse (*Anser fabalis*, *Anser albifrons*) und Graugänse (*Anser anser*), von

denen bis zu 120.000 den See als Schlafplatz nutzen. Zusammen mit den Äsungs- und Schlafplätzen an der Unterelbe bildet das Gebiet das größte zusammenhängende Rast- und Überwinterungsgebiet für diese Gänse, aber auch für überwinterte Sing- (*Cygnus cygnus*) und Zwergschwäne (*Cygnus columbianus*) in Deutschland.

Das untere Havelgebiet ist bekannter Sammelplatz für den Kranich (*Grus grus*) mit bis zu 6.000 Vögeln im Herbst.

An der gesamten Havel brütet der Eisvogel (*Alcedo atthis*) recht häufig. Als weitere Kostbarkeiten, die sporadisch das Gebiet besiedeln, sind zu nennen: Baumfalke (*Falco subbuteo*), Flußseeschwalbe (*Sterna hirundo*), Uferläufer (*Actitis hypoleucos*), Flußregenpfeifer (*Charadrius dubius*), Wiedehopf (*Upupa epops*).

Die Havel ist aufgrund der hervorragenden ökologischen Ausstattung, aber auch wegen ihrer geografischen Lage zwischen Oder und Elbe von eminent großer Bedeutung für die Vogelwelt. Veränderungen im Gebiet könnten zu einschneidenden Verlusten vor

allem bei den Brutvögeln führen. Eine Reduzierung der Schifffahrt unterhalb Rathenows mit Umwidmung von Bundeswasserstraße zur Landeswasserstraße wäre eine zu favorisierende Lösung. Es muß davon ausgegangen werden, daß die südlich und nördlich an die Havel angrenzenden Gebiete mit reichhaltiger Wasservogel- und Wiesenvogelfauna unmittelbar vom Havelgebiet profitieren, da deren Brutbestände zum Nuthe-Nieplitz-Tal, zum Emstertal und ins Rhinluch ausstrahlen. Die Erhaltung der derzeitigen Strukturen mit möglicher Verbesserung der Wasserbeschaffenheit ist dafür eine Voraussetzung.

Literatur

- [1] KALBE, L. (1990): Der Gänsesäger, Wittenberg Lutherstadt
- [2] RUTSCHKE, E.; KALBE, L. (1978): Das Gewässergebiet Untere Havel - ein Wasservogelreservat von internationaler Bedeutung. Arch. Naturschutz Landschaftsforsch. 18, 1-18

Dr. rer. nat. habil. Lothar Kalbe
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Hauptlabor

Die Havel als Lebensraum für Säugetiere

Die Havel mit ihren Nebenflüssen und die Landschaften, die von diesen Gewässern in der Vergangenheit geformt und maßgeblich beeinflusst wurden, bestimmen den Oberflächencharakter des Landes Brandenburg großflächig.

Das ist auch nicht weiter verwunderlich, liegen doch die Quellen der Havel nördlich der Landesgrenzen in Mecklenburg und die ihres bedeutendsten Nebengewässers, der Spree, weit im Süden schon im Sächsischen. Daneben bleibt nicht viel Raum für Fließe anderer Einzugsgebiete.

Wenn man die von der Havel und ihren Nebenflüssen berührten und beeinflussten Gebiete wie z.B. viele der großflächigen Niedermoorgebiete und auch den Spreewald mit in die Betrachtung einbezieht, so sind etwa ein Drittel der in Brandenburg lebenden Säugetierarten mit dem Großteil ihrer Individuen durch sie maßgeblich beeinflusst, leben in von der Havel geprägten Biotopen oder besitzen dort zumindest ihre Siedlungsschwerpunkte (Tab. 1).

So komplex soll der Einfluß der Havel auf die Säugetiere Brandenburgs jedoch nicht beleuchtet werden; hier wollen wir uns bewußt beschränken auf solche Arten, die durch und mit dem Wasser in direkter Weise verbunden sind.

Da fast ausschließlich im Wasser lebende Säugetiere Brandenburg nur ausnahmsweise besuchen, wie z.B. ein Seehund im Winter 1992/93 den Mündungsbe-

reich der Havel (DOLCH et al. 1994 [3]), sollen sie hier vernachlässigt werden.

Von Bedeutung ist die Havel aber für solche Arten, deren entscheidender Lebensraum das Ufer ist, und die deshalb als semiaquatische oder, die Lebensweise besser kennzeichnend, als ufergebundene Säugetiere bezeichnet werden (SCHRÖPFER 1985 [4]). In Brandenburg betrifft das sieben Arten aus unterschiedlichen Ordnungen (Tab. 2), die alle über ihre enge Bindung an den Lebensraum Ufer miteinander vergleichbar und damit einer Lebensformgruppe (SCHRÖPFER 1985 [4]) zuzuordnen sind.

Sie sind alle sowohl an den terrestrischen Teil ihres Lebensraumes als auch an den aquatischen mehr oder minder stark angepaßt. Das Bild auf Seite 89 verdeutlicht diese Angepaßtheit für die wichtigste Eigenschaft, die Säugetiere für die Nutzung des Wassers benötigen, das Schwimmen.

Die Untersuchung weiterer lebensraumspezifischer Adaptationen wie die Zusammensetzung des nicht durchfeuchtbaren, wärmeisolierenden Haarkleides, die Fähigkeit zum Tauchen, die Orientierung unter Wasser mit optischen, olfaktorischen und taktilen Sinnen, die Meisterung der Gewässervereisung u.a.m. offenbart die hohe Spezialisierung der hier lebenden Arten. Beim Biber ist die Anpassung so weit fortgeschritten, daß er zur aktiven Lebensraumgestaltung, z.B. zur Wasserstandsregulierung, befähigt ist.

Tab. 1: Die Säugetiere Brandenburgs, die stark auf Gewässer, Gewässerufer und von Wasser geprägte Lebensräume angewiesen sind

Art	Anmerkungen zur Lebensraumnutzung
Waldspitzmaus <i>Sorex araneus</i>	Hohe Siedlungsdichte auf vom Wasser beeinflussten Standorten (Bruchwälder, Hochstaudenfluren)
Wasserspitzmaus <i>Neomys fodiens</i>	Enge Bindung an natürliche/naturnahe Ufer
Fransenfledermaus <i>Myotis nattereri</i>	Jagd häufig im Uferbereich und über Wasserflächen
Große Bartfledermaus <i>Myotis brandti</i>	Jagd häufig im Uferbereich und über Wasserflächen
Kleine Bartfledermaus <i>Myotis mystacinus</i>	Jagd häufig im Uferbereich und über Wasserflächen
Teichfledermaus <i>Myotis dasycneme</i>	Jagd überwiegend über Wasserflächen
Wasserfledermaus <i>Myotis daubentoni</i>	Jagd überwiegend über Wasserflächen
Elbebiber <i>Castor fiber albicus</i>	Enge Bindung an Ufer, Charakterart der Flußauen
Zwergmaus <i>Micromys minutus</i>	Hohe Siedlungsdichte auf vom Wasser beeinflussten Standorten (Röhrichte, Hochstaudenfluren)
Gelbhalsmaus <i>Apodemus flavicollis</i>	Hohe Siedlungsdichte auf vom Wasser beeinflussten Standorten (Bruchwälder)
Wanderratte <i>Rattus norvegicus</i>	Die Ufer sind ein von der Art bevorzugter Lebensraum
Rötelmaus <i>Clethrionomys glareolus</i>	Hohe Siedlungsdichte auf vom Wasser beeinflussten Standorten (Bruchwälder)
Bisamratte <i>Ondatra zibethicus</i>	Enge Bindung an Ufer
Nordische Wühlmaus <i>Microtus oeconomus</i>	Hohe Siedlungsdichte auf vom Wasser beeinflussten Lebensräumen (Hochstaudenfluren, Seggen- und Naßwiesen)
Nutria <i>Myocastor coypus</i>	Enge Bindung an Ufer
Marderhund <i>Nyctereutes proconoides</i>	Feuchtlebensräume im weitesten Sinn sind der bevorzugte Lebensraum
Mink <i>Mustela putorius</i>	Enge Bindung an Ufer
Waldiltis <i>Mustela putorius</i>	Die Ufer und Feuchtlebensräume sind ein bevorzugter Lebensraum
Fischotter <i>Lutra lutra</i>	Enge Bindung an Ufer
Gemeiner Seehund <i>Phoca vitulina</i>	Im und direkt am Wasser lebend - in Brandenburg nur sehr seltener Irrgast

Tab. 2: Die in Brandenburg vorkommenden semiaquatischen Säugetiere

Art	Ordnung	Anmerkungen
Wasserspitzmaus <i>Neomys fodiens</i>	Insectivora	autochthon; gefährdet: Rote Liste BRD (1994) : 3 Rote Liste Bbg (1992) : 3
Schermäuse <i>Arvicola terrestris</i>	Rodentia	autochthon; nicht gefährdet
Bisam <i>Ondatra zibethicus</i>	Rodentia	allochthon; Heimat Nordamerika; nicht eingeordnet
Nutria <i>Myocastor coypus</i>	Rodentia	allochthon; Heimat Südamerika; nicht eingeordnet
Elbebiber <i>Castor fiber albicus</i>	Rodentia	autochthon; vom Aussterben bedroht: Rote Liste BRD (1994) : 2* Rote Liste Bbg (1992) : 1
Mink <i>Mustela vison</i>	Carnivora	allochthon; Heimat Nordamerika; nicht eingeordnet
Fischotter <i>Lutra lutra</i>	Carnivora	autochthon; vom Aussterben bedroht: Rote Liste BRD (1994) : 1 Rote Liste Bbg (1992) : 1

* betrifft die Art (*C. fiber*), nicht die Unterart (*C. f. albicus*)

Die Havel, obwohl ein vom Menschen in vielen Teilen durch Begradigung, Ausbau, Staustufen, Hochwasserdämme, Kanalisation, Nährstoffeintrag u.a.m. beeinflusstes Flußsystem, weist in erstaunlich hohem Maße noch naturnahe, sogar natürliche und für viele Tierarten attraktive Abschnitte auf. Die Ursache dafür liegt auch in der Vielgestaltigkeit dieses Flusses, der über weite Strecken mehr einer Seenkette als einem Fließgewässer ähnelt.

Die Havel ist über ihre Nebengewässer und diese unter sich in vielfältiger Weise, einem Netz vergleichbar, miteinander verknüpft. Wenn auch gerade die Maschen dieses Netzes überwiegend aus vom Menschen geformten naturfernen Grabensystemen bestehen, besitzen sie doch für etliche der hier zu behandelnden Säugetiere eine nicht hoch genug einzuschätzende Bedeutung.

Der Wert der Havel für Säugetiere sei an wenigen Beispielen näher erläutert.

Der Fischotter *Lutra lutra* (LINNAEUS 1758) ist in weiten Teilen Westeuropas ausgerottet worden. Auch in Deutschland gibt es großflächig zusammenhängende Vorkommen nur noch im äußersten Nordosten des Landes. Hauptursache für die Ausrottung war die Lebensraumzerstörung, in deren Folge das einst zusammenhängende Vorkommen in voneinander isolierte Teilgebiete zerfiel, mehr und mehr verinselte und damit für den ausgedehnte unzerschnittene Lebensräume beanspruchenden Otter nicht mehr bewohnbar war, da die zahlenmäßig geringen Teilpopulationen sich auf Dauer nicht mehr erfolgreich reproduzieren konnten. Hinzu kam, daß die wenigen Tiere individuellen Gefahren, wie beispielsweise dem Straßenverkehr, schnell zum Opfer fielen.

In Brandenburg kommt der Fischotter noch fast flächendeckend vor (DOLCH et al. 1992 [5]). Dabei spielt die Havel eine zentrale Rolle. Zum einen als direkter Lebensraum. So ist fast der gesamte Fluß mit seinem Einzugsbereich ständig von der Art besiedelt. Die aber vielleicht noch höher einzuschätzende Bedeutung für das Überleben der Art bis heute besteht in der vielfältigen Verknüpfung des gesamten Landes über die Wasserläufe miteinander, die das Fortbestehen einer einheitlichen Population gewährleistet. So konnte die Bildung voneinander isolierter Vorkommen bis heute erfolgreich vermieden werden, können offenbar durch Reproduktion nicht ausgleichbare Verluste an der einen Stelle durch Geburtenüberschuß an anderer noch kompensiert werden. Problematisch in diesem Zusammenhang ist nur die im Großraum Berlin erfolgte Unterbrechung des Biotopverbundes entlang der Havel und von der Havel zur Spree. Wünschenswert wäre die Wiederherstellung der Nutzbarkeit aus Artenschutzsicht, die im Bereich der Havel durchaus realisierbar erscheint, schwieriger umsetzbar allerdings bei der Spree. Aber auch in diesen beiden Fällen greift noch der Biotopverbund über Nebengewässer und gleicht diese Unterbrechung etwas aus.

Der Biber *Castor fiber* LINNAEUS 1758 überlebte in Europa nur an wenigen voneinander isolierten Vorkommen, in Deutschland nur im Bereich der Mittel-Elbe in der Unterart *C. f. albicus* (HEIDECHE 1978 [6]). Nach dem 2. Weltkrieg drohte die endgültige Ausrottung, die Anzahl der verbliebenen Tiere sank auf etwa 200. Dank konsequenter Schutzmaßnahmen konnten sich die Bestände erholen und die Art Teile ihres einstigen Verbreitungsareals wieder besiedeln. Sie erreichte von der Elbe her den Unterlauf der Havel, wo es seit den sechziger Jahren wieder ständige Ansiedlungen gibt (HEIDECHE 1991 [7]). Die danach anhaltende progressive Bestandsentwicklung, bedingt durch optimale Lebensbedingungen am Unterlauf der Havel, führte zu einer wesentlichen Erweiterung der besiedelten Gewässerabschnitte (HEIDECHE et al. 1995 [8]). Havelaufwärts hat der Biber die Stadt Brandenburg überwunden, Ketzin erreicht und Vorstöße bis in die Höhe Potsdams unternommen. Über den Rhin hat der Biber bei Oranienburg die Obere Havel erreicht und ist dieser aufwärts folgend an der Grenze zu Mecklenburg angekommen. Unterstützt durch mehrere Wiederansiedlungen wurde die Lücke zwischen Havel und Oder geschlossen, so daß jetzt wieder eine durchgehende Verbindung zwischen Elbe und Oder besteht. Die Havel bildet das Rückgrat der Bibervorkommen im Norden Brandenburgs. Entlang der Havel und ihrer Nebenflüsse, besonders des Rhin, erfolgte und erfolgt die Wiederbesiedlung. Ohne die Havel oder mit einer Havel, die wesentlich nachhaltiger negativ verändert gewesen wäre, insbesondere hinsichtlich Gestaltung der Ufer, wäre die Wiederbesiedlung bedeutend langsamer erfolgt, vielleicht auch gar nicht möglich gewesen.

Die Wasserspitzmaus *Neomys fodiens* (PENNANT 1771) ist eine Art, die in besonderer Weise an natürliche oder doch naturnahe Ufer - insbesondere von Fließgewässern, die sie bis in die Quellbereiche besiedelt - angepaßt ist. Nach SCHRÖPFER (1985) [4] ist die Wasserspitzmaus geradezu ein Güteanzeiger für solche Lebensräume. Natürliche Ufer sind entweder Steil- oder Flachufer. Die vom Menschen an Entwässerungsgräben und Kanälen bevorzugten Böschungswinkel von 1:1 und 1:2 gibt es in der Natur nicht. Solche Gewässer sind hinsichtlich den Ansprüchen der Art gewissermaßen ohne Ufer und bieten der Wasserspitzmaus keine Lebensbedingungen. Die noch weite Verbreitung der Wasserspitzmaus an und im Einzugsbereich der Havel ist somit ein positiver Hinweis auf noch intakte Ufer. Daß im Bereich der Luchgebiete, die über eine Vielzahl von Gräben verfügen, die Wasserspitzmaus sehr selten ist, zeigt, daß diese Lebensräume nachhaltig negativ beeinflusst wurden (DOLCH 1994 [9]).

Am Zusammenfluß von Spree und Havel befindet sich die Spandauer Zitadelle. Sie ist ein bedeutendes Winterquartier für Fledermäuse, insbesondere der

Grad der Spezialisierung auf die Fortbewegungsart Schwimmen bei semiaquatischen Säugetieren (verändert nach SCHRÖPFER 1985, aus DOLCH 1994)

SCHWIMMEN		Grad der Spezialisierung bei semiaquatischen Säugetieren →			
			Mink	Wasserspitzmaus	Fischotter
karnivor (= fleischfressend)					
		1. kleine Schwimmhäute 3. vierfüßiges Wassertreten	1. mit Borstensäumen 2. mit Borstenkiel 3. vierfüßiges Wassertreten	1. großflächige Schwimmhäute 2. kräftige Schwanzwurzel, daher fließender Übergang vom Rumpf zum Schwanz 3. vierfüßiges Wassertreten, alternierender oder synchroner Fußschlag, vertikales Schlingeln (ventral-horizontale Flexion)	
herbivor (= pflanzenfressend)	3. vierfüßiges Wassertreten, alternierender Fußantrieb	1. mit Schwimmhäuten 3. alternierender Fußantrieb	1. mit Borstensäumen 2. vertikal abgeflacht 3. alternierender Fußschlag, horizontales Schwanzoszillieren	1. großflächige Schwimmhäute 2. horizontal abgeflacht 3. alternierender Fußantrieb, Schwanz als Steuerruder, horizontales Schlingeln	
1. Anpassung der Füße 2. Anpassung des Schwanzes 3. Anpassung der Bewegung	Scherm Maus	Nutria	Bisam	Biber	

Wasserfledermaus *Myotis daubentoni* (KUHLE 1819) und der Fransenfledermaus *Myotis nattereri* (KUHLE 1818), von denen jeweils mehrere Tausend hier überwintern (LEHNERT 1993 [10]). Fledermäuse orientieren sich an Oberflächenstrukturen. Wasserläufe und deren Ufer spielen dabei eine besondere Rolle. Die in der Zitadelle im Spätsommer und Herbst Zwischenquartier nehmenden und im Winter überwinternden Wasser- und Fransenfledermäuse stammen aus nordwestlich bis nordöstlich angrenzenden Gebieten von in der Regel bis zu 80 km Entfernung, ausnahmsweise aus anderen Richtungen und/oder größerer Distanz. Das konnte durch Beringung sehr gut nachgewiesen werden (LEHNERT 1993 [10], KALLASCH mdl. 1995, DOLCH 1995 [11]). Die Havel hat hierbei in zweierlei Hinsicht Bedeutung. Zum einen hat sie, zusammen mit anderen Gewässern, eine Leitlinienfunktion, indem sie für einige Fledermausarten die Flugstraße bildet. Für die Wasserfledermaus ist dies naheliegend, für die Fransenfledermaus wahrscheinlich. Zum anderen liegt ihre Bedeutung in der Funktion als Jagdbiotop.

Der Einflug der Wasserfledermäuse beginnt schon im August, und sie halten sich zum Teil mehrere Wochen im Gebiet auf. Da sie überwiegend über Wasserflächen jagen, sind die anliegenden Havelgewässer als Jagdbiotop sehr wichtig.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Havel - gemeinsam mit ihren Zuflüssen und den vielen von ihr durchflossenen Seen - das die Landschaft Brandenburgs prägende Gewässersystem ist. Schon allein dadurch beeinflußt sie den Lebensraum vieler Säugetiere nachhaltig. Für einige Säugetiere, die als hochspezialisierte Arten den schwierigen Biotop Ufer besiedelt haben, hat sie eine große Bedeutung als Lebensraum und eine überragende innerhalb des Biotopverbundes. Daß in Brandenburg solche Arten noch großflächig vorkommen, ist auf die Havel mit ihren noch zahlreich vorhandenen natürlichen und naturnahen Lebensräumen zurückzuführen.

Auch einige Fledermausarten sind über die Nahrungskette eng mit dem Wasser verbunden und auf die Havel ebenso als Orientierungshilfe bei ihren Wanderungen angewiesen.

Literatur

- [1] Rote Liste der gefährdeten Tiere im Land Brandenburg 1992: (Hrsg.) Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung
- [2] Rote Liste der gefährdeten Wirbeltiere in Deutschland 1994: (Hrsg.) NOWAK, E.; BLAB, J. & BLESS, R.
- [3] DOLCH, D.; TEUBNER, J. u. LABES, R. (1994): Beiträge zur Säugetierfauna der Prignitz. - Veröff. Potsdam-Museum. Beitr. Tierwelt Mark XII(31): 33 - 68
- [4] SCHRÖPFER, R. (1985): Ufergebundenes Verhalten und Habitatselektion bei der Wasserspitzmaus *Neomys fodiens*. - Z. Ang. Zoologie 72: 37 - 48

- [5] DOLCH, D.; TEUBNER, J. u. TEUBNER, J. (1992): Der Fischotter im Land Brandenburg. - Habitat (7): 99 - 102
- [6] HEIDECHE, D. u. DORNBUSCH, M. (1978): Verbreitung und Ökologie, Schutz und Förderung des Elbebibers *Castor fiber albicus*
- [7] HEIDECHE, D. (1991): Zur Organisation der Biberzählung und das Ergebnis im Jahr 1990. - Mitt. AK Biberchutz 1(1): 1 - 8
- [8] HEIDECHE, D. et al. (1995): Säuger in: Untere Havelniederung in Sachsen-Anhalt. - Naturschutz in Sachsen-Anhalt. Sonderheft 32: 23-25
- [9] DOLCH, D. (1994): Die Bedeutung der Gewässer unter besonderer Beachtung der Uferstrukturen für Säugetiere. - Beitr. zur angewandten Gewässerökologie Norddeutschlands (1): 152 - 160
- [10] LEHNERT, M. (1993): Populationsökologische Aspekte der spätsommerlichen Einflüge der Wasserfledermaus (*Myotis daubentoni*) in der Spandauer Zitadelle. - Sonderdruck
- [11] DOLCH, D. (1995): Beiträge zur Säugetierfauna des Landes Brandenburg - Die Säugetiere des ehemaligen Bezirkes Potsdam. - Z. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg. 3. Sonderheft 1995: 2 - 95

*Dr. rer. nat. Dietrich Dolch
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Naturschutz
Naturschutzstation Zippelsförde
16827 Alt Ruppin*

Gewässernutzungen und Gewässergüte im Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie

1. Gewässerökologisches Resümee

Hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit wird die Havel in erster Linie durch Eutrophierungsprozesse geprägt. Die mit Beginn der 70er Jahre erfolgte drastische Erhöhung der Nährstoffbelastung aus Berlin und aus diffusen Quellen im gesamten Einzugsgebiet führte im Abschnitt unterhalb Berlins zu einem hocheutrophen Status, der bis zur Mündung in die Elbe beibehalten wird. Trotz Entlastungen in den 80er und 90er Jahren durch geringere Bewirtschaftungsintensität in der Landwirtschaft und erhebliche Verbesserungen der Abwasserbehandlung mit weitgehender Nährstoffeliminierung in den großen Berliner Anlagen hat sich daran wenig geändert. Das ist für solche Systeme charakteristisch, da systemerhaltende Prozesse wie Nährstoffremobilisierungen aus dem Sediment und Anpassungsfähigkeit der die Gewässer dominierenden Blaualgen noch für viele Jahre eine Oligotrophierung ausschließen. Der hocheutrophe Status der Havelgewässer wird durch die Stauhaltungen begünstigt, weil in rückgestauten Abschnitten bei größerer Verweilzeit des Wassers das potentielle Nährstoffangebot erhöht wird. Die Massenentwicklung des Phytoplanktons bewirkt eine Reihe symptomatischer Vorgänge und Geschehnisse, die für die Nutzung der Gewässer von ausschlaggebender Bedeutung sind. Dazu zählen verringerte Sichttiefen bis auf wenige Dezimeter und Reduzierung des Sauerstoffgehaltes über dem Grund und in den Nachtstunden, Erhöhung des pH-Wertes und Anstieg der Ammoniakwerte in den Nachmittagsstunden, Aufschwimmen von Algen und Verdriftungen in Buchten und Stillwasserbereiche, zeitweilige Anreicherung mit pathogenen Bakterien und Viren, Entwicklung von Blaual-

gentoxinen und Geruchsstoffen, Vernichtung von Unterwasserpflanzen und Auslichtung der Geleezonen („Schilfsterben“), Auftreten von Fisch- und Wasservogelsterben (Sauerstoffmangel, Botulismus) und Anreicherung von Giften in der Nahrungskette, Verstärkung der Sedimentation organischen Materials. Manche der anspruchsvollen Nutzungen sind heute infrage gestellt oder eingeschränkt, so die Gewinnung von Trinkwasser aus der Havel (Anreicherung mit kupplungsfähigen Substanzen im Uferfiltrat), das Baden (geringe Sichttiefe, Verletzungsgefahr, Infektionsrisiko, Allergien) und die Fischerei (Fischsterben).

Die Zielvorstellungen für die Wasserbeschaffenheit der Havel müssen sich an den Schutzgütern orientieren. Aus dieser Sicht ist die derzeitige Belastungs- und Gütesituation unzureichend. Unter ökologischem Aspekt sind entscheidende Beschaffenheitsverbesserungen und Renaturierungen in stärker ausgebauten Abschnitten unbedingt erforderlich, um die schutzgutbezogenen Vorstellungen gewährleisten zu können. Auch im Sinne der Erhaltung einer mannigfaltigen Natur, die trotz Regulierungen und Stauhaltungen fast am gesamten Mittel- und Unterlauf noch vorhanden ist, sind Wasserbeschaffenheitsverbesserungen erforderlich. Diese bieten für die Entwicklung einer interessanten Pflanzen- und Tierwelt die Voraussetzung.

2. Darstellung der Schutzgüter

• Fischerei/Angeln

Die Havel ist fischreich. Bedingt durch die hohe Eutrophierung haben sich Artenspektrum und Dominanz-

verhältnisse in den letzten zwanzig Jahren deutlich verschoben. Ehemals typische und häufige Arten wurden zurückgedrängt, z.B. Hecht, Schleie, Flußbarsch, Rapfen, Stör, Wels und Quappe. Andere wurden deutlich gefördert, wie z.B. Zander, Plötze, Blei und Güster. Insgesamt gesehen spielt aber nach wie vor die Fischerei eine große Rolle. Mehrere Fischereibetriebe, teils als Genossenschaften oder GmbH organisiert, sind im Gebiet angesiedelt und offensichtlich auch lebensfähig. Sicher spielt dabei die Nähe größerer Städte eine Rolle, vor allem Berlin, mit entsprechend hohem Bedarf an Frisch- und Räucherfisch. Produktionszahlen liegen teilweise vor (s. Beitrag, Dr. Knuth).

In der Zeit vor 1990 wurden die Havelseen unter den Wirtschaftsbedingungen der DDR als hoch produktiv eingestuft, mit Ertragszahlen um 50 kg Fisch pro Hektar und Jahr (durchschnittlich 15kg/ha·a Edelfisch; 47,6 kg/ha·a Gesamtfisch, Gewässerverzeichnis der DDR, Institut für Binnenfischerei, 1978). Die Flußfischerei spielte nicht die Rolle, allerdings war vor allem der Bereich der unteren Havel mit der Wehrgruppe Quitzöbel für die Aalfischerei von erheblicher Bedeutung. Neben der Berufsfischerei spielt die Havel seit langer Zeit, verstärkt vermutlich in jüngerer Zeit, eine große Rolle als Angelgewässer, da besonders für Friedfischangler, aber auch für Raubfischangler sehr günstige Bedingungen vorliegen. Speziell das Angeln auf Zander zu bestimmten Zeiten im späten Frühjahr und Frühsommer und an bestimmten Stellen ist außerordentlich lohnend. Allein die Zahl der Angler an den Potsdamer Havelseen wird auf weit über zweitausend geschätzt (Angler mit Berechtigungsschein).

Die Wasserbeschaffenheit der Havel ist für anspruchsvolle Fische nicht ausreichend. Bodentierfressende Arten und Raubfische finden jedoch überall günstige Bedingungen, auch für die Fortpflanzung, durch zahlreiche Buchten, Nebengewässer und Altarme sowie durch mancherorts ausreichende Gelege. Nachteilig wirkt sich aber auch hier der Gelegerückgang, speziell im Potsdamer und Berliner Raum, aus. Negative Auswirkungen durch die Fischerei sind nicht zu erwarten; bei unsachgemäßer Ausübung des Angelsports können Uferpartien und Gelege zerstört werden.

• Wasserstraßen

Die Havel ist Binnenwasserstraße. Sie wird von Schiffen genutzt, die speziell die Großstädte und Industriäräume Hamburg, Magdeburg, Berlin und Nordrhein-Westfalen verbinden, aber auch den Transitverkehr in die Ostsee und nach Polen über Oder-Spree-Kanal bzw. Oder-Havel-Kanal und Oder aufnehmen.

• Trinkwassergewinnung

Eine unmittelbare Entnahme von Havelwasser zur Trinkwasseraufbereitung findet nicht statt. Die Havel

Die Bedeutung der Potsdamer Havel für die Nutzung von Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung

Wasserwerk	Grundwasserneubildung (1000·m ³ /d)	Uferfiltrat (1000·m ³ /d)	Summe der nutzbaren Wassermenge (1000·m ³ /d)
Leipziger Straße	5,8	4,8	10
Wildpark	8,8	3,2	12
Nedlitz	4,7	7,6	12
Wilhelms-horst	2,7		2,5
		Summe:	36

besitzt jedoch nach wie vor eine große Bedeutung für die Nutzung von Uferfiltrat. Die hierbei durch Wasserwerke im Bereich der Potsdamer Havel nutzbaren Wassermengen sind in folgender Tabelle angegeben (HG, 1984).

• Tourismus

Für den Tourismus und das Erholungswesen spielt die Havel eine große Rolle. Allein die die Standgewässer frequentierenden Badelustigen bevölkern vor allem an den Wochenenden und in der Ferienzeit zu 100.000en die Strände und Badestellen. Es kann davon ausgegangen werden, daß zusammen mit Tagesausflüglern (motorisiert oder per Rad) und Sportbootbesitzern die Besucherzahl der Havel unterhalb von Berlin an schönen Wochenendtagen die Millionengrenze erreicht. Das erhöht den Druck auf die Gewässer, vor allem auf die Uferzonen, verlangt aber auch die Verbesserung der Wasserqualität gemäß EG-Badewasserrichtlinie, da derzeit nicht alle Parameter für das Baden eingehalten sind, wie z.B. die Sichttiefe mit einer Mindestforderung von 1 m (erhöhtes hygienisches Risiko).

• Abwasserbeseitigung

Die Havel dient der direkten und indirekten Aufnahme von Abwasser aus Klärwerken, die entweder unmittelbar in die Havel entwässern, oder aber mittelbar an natürliche und künstliche Nebengewässer der Havel angeschlossen sind. Eine sehr große Menge geklärten Abwassers fließt der Havel über den Teltowkanal zu, der das Klarwasser mehrerer Großklärwerke des Berliner Raumes aufnimmt. Aus dem Großraum Berlin gelangen täglich ca. 1 Mio m³ Abwasser über den Teltowkanal und die Berliner Havel in die Potsdamer Havel. Der Abwasseranfall des Stadtkreises Potsdam beträgt etwa 80.000 m³/d. Der größte Teil dieses Abwassers wird über die zwei Großklärwerke Potsdam-Nord und Stahnsdorf sowie sechs kleinere Anlagen in die Havel geleitet. Der Rest wird teilweise nicht durch Kanalisationen erfaßt und

nicht behandelt. Auch die vorhandenen Anlagen erfüllen nicht die Anforderungen, die heute an die Reinigungsleistung von Klärwerken gestellt werden müssen. Ein weiteres Problem besteht in dem noch ungenügenden Anschlußgrad der Bewohner im Landkreis Potsdam an das Kanalnetz, der z.Z. erst etwa 50% beträgt.

• Kühlwasserentnahme

Die direkte Entnahme von Kühlwasser aus der Havel spielt mengenmäßig nur eine untergeordnete Rolle. Eine große Wassermenge wird dem Teltowkanal zum Betrieb von Kraftwerkskühltürmen auf Berliner Stadtgebiet entnommen und wieder zugeführt. Das rückgeführte Wasser ist stark erwärmt und kann dazu führen, daß im Sommer maximale Wassertemperaturen von annähernd 30° C im Kanal auftreten können.

• Gewässerunterhaltung/Wasserwirtschaft

Die Gewässerunterhaltung der Havel schließt alle Aufgaben des Hochwasserschutzes, des Wasserbaus und der Bauüberwachung ein. Folgende bauliche Anlagen für unterschiedliche wasserwirtschaftliche Belange finden sich am und im Gewässer:

- Deiche und Dämme
- Wehre und Stau
- Schleusen
- automatische Meßstationen
- Düker
- Schöpfwerke und Pumpstationen

Die Gewässerunterhaltung obliegt den Wasser- und Bodenverbänden. Das Einzugsgebiet der Unterhavel wird durch die beiden Verbände „GHHK-Havelkanal-Havelseen“ und „Untere Havel-Brandenburger Havel“ abgedeckt.

• Landwirtschaft

Die Flußau und angrenzende Landschaftsräume wurden seit mehreren Jahrhunderten durch die landwirtschaftliche Nutzung geprägt, wodurch eine charakteristische, gewachsene Kulturlandschaft entstanden ist. Landschaftsverändernd wirkte hier neben der unmittelbaren Acker- und Weidewirtschaft die schon vor etwa 200 Jahren planmäßig begonnene großflächige Entwässerung, die in den 70er Jahren dieses Jahrhunderts noch einmal intensiviert wurde.

Ein weiterer Nutzungsaspekt besteht in der Verwendung von Havelwasser zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen.

• Naturschutz

Die Havel sowie die Havellandschaft besitzen eine außerordentlich große Bedeutung für den Naturschutz. Große Teile der Gebiete liegen inmitten ausgedehnter Landschaftsschutzgebiete, einige Bereiche wurden als Naturschutzgebiete, bzw. Flächennaturdenkmale ausgewiesen. Das untere Havelgebiet mit den angrenzenden Überflutungsflächen und dem Gülper See als Zentrum wurde als FIB (Feuchtgebiet

internationaler Bedeutung gemäß RAMSAR-Konvention) ausgewiesen. Solche Gebiete dürfen nicht verändert werden und unterliegen der Berichtspflicht an die IUCN. Hinsichtlich der Naturlandschaft und dem Reichtum an seltenen bzw. vom Aussterben bedrohten Pflanzen- und Tierarten (Rote Liste Brandenburg) stellt der gesamte Havelabschnitt unterhalb Potsdams bis zur Mündung in die Elbe eines der wertvollsten Gebiete des Landes Brandenburg dar. Er schließt unmittelbar an das Elbtal an, das als Biosphärenreservat mit eingeschlossen werden soll. Eingriffe in das sensible Gefüge der Havel sind stets von nachhaltiger Wirkung. Auch wenn durch den hohen Eutrophierungsgrad des Flusses bestimmte Ökosystemkompartimente zurückgedrängt sind, z.B. Unterwasserpflanzen, sensible Fischarten, Insektenlarvengruppen (Plecopteren und Ephemeropteren), Mollusken, bleibt die Zahl der schützenswerten Arten sehr groß.

Unter den Pflanzen sind vor allem Arten der Uferbereiche und Verlandungszonen sowie der Überflutungsflächen hervorzuheben, von denen die Schwabenblume (*Butomus umbellatus*), das Pfeilkraut (*Sagittaria sagittifolia*), der Wasserschwaden (*Glyceria maxima* und *G. fluitans*), das Schwingelschilf (*Scolochloa festucacea*) hervorgehoben werden sollen. Hinsichtlich der Besiedlung mit Tierarten wird vor allem auf die besondere Bedeutung für die Wasservogelwelt hingewiesen, deren Reichtum auch die Ausweisung als FIB initiierte. Hier wird vor allem auf die Brutvorkommen von Limikolen (Kampfläufer, Brachvogel, Bekassine, Uferschnepfe und Rotschenkel) und Gründelenten (Knäkente, Spießente und Löffelente) hingewiesen. Sehr wichtig ist das Gebiet als Brut- und Überwinterungsplatz für Zehntausende von nordischen Gänsen und Entenvögeln. Hervorzuheben sind neben den Vogelarten seltene Reptilien und Amphibien, wie Sumpfschildkröte, Moorfrosch und Grasfrosch, sowie Fischotter, Biber und Wasser-spitzmaus von den wassergebundenen Säugern.

Von größter Bedeutung für den Fortbestand der Havelniederung als aquatisches und semiaquatisches Ökosystem mit hoher Diversität ist die Wiederherstellung von Überschwemmungsflächen, die in den 70er Jahren durch großräumige Meliorationen und Schaffung von bewirtschafteten Poldern verloren gingen. Zweifellos erfordert der Naturschutz in diesem Raum Einschränkungen für andere Nutzungen.

3. Darstellung der Konflikte für konkurrierende Nutzungen und Schutzgüter

Die für die Havel maßgeblichen Nutzungen konkurrieren in unterschiedlicher Art und Weise. Daraus ergeben sich polyvalente Konflikte, die nicht immer auszuräumen sind. Wesentliche Konfliktpunkte sind:

Naturschutz	- Abwassereinleitungen - Tourismus/Baden - Berufsschiffahrt/Sportbootverkehr (Fischerei/Angeln) - Intensive Landwirtschaft
Fischerei	- Abwassereinleitungen - Tourismus - Berufsschiffahrt/Sportbootverkehr - Naturschutz - Angeln
Schiffsverkehr	- Naturschutz - Tourismus/Baden - Fischerei/Angeln
Tourismus	- Naturschutz - Fischerei
Abwassereinleitungen	- Naturschutz - Tourismus/Baden - Fischerei/Angeln
Baden	- Abwassereinleitungen (Berufsschiffahrt/Sportbootverkehr) - Intensive Landwirtschaft
Intensive Landwirtschaft	- Naturschutz - Baden - Trinkwassergewinnung
Trinkwasserversorgung	- Abwassereinleitungen (Berufsschiffahrt/Sportbootverkehr) (Tourismus/Baden) - Trinkwassergewinnung

Aus der Lage der Havel in Brandenburg mit der Bevölkerungskonzentration in Berlin und dessen Umland ergeben sich von vornherein Zwänge, z.B. die Erhaltung des Schifffahrtsweges von und nach Berlin, der touristische Druck von nahezu vier Millionen Einwohnern auf die Havelgewässer und die sich aus der Wasserversorgung und Abwasserableitung ergebenden Restbelastungen und Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. Dieser Druck richtet sich vor allem auf die Schutzgüter Natur mit den aquatischen Lebensgemeinschaften, der Ufervegetation und der Pflanzen- und Tierwelt sowie die Fischerei.

Davon können durch bestimmte Reglementierungen Negative Auswirkungen eingeschränkt werden. Bei der Nutzung der Havel als Schifffahrtsweg könnte die Verlegung des Schiffsverkehrs (Berufsschiffahrt) auf Kanäle, Festlegung von Langsamfahrstrecken, Begrenzung der Tonnage und Schiffsgrößen und Neubau von Seitenkanälen Verbesserungen bringen. Auch für den Sportbootverkehr scheinen Reglementierungen unumgänglich zu sein. Das gilt für ein Fahrverbot in den Nachtstunden, Geschwindigkeitsbegrenzungen und Sperrung von Gewässerabschnitten sowie das generelle Verbot des Befahrens von Verlandungszonen (Schilfgürtel, Erlenbrüche, Wasserpflanzenbestände u.ä.).

Technisch lösbar sind Entlastungen des Wasserhaushaltes und Verbesserungen der Wasserbeschaffenheit, jeweils mit großem Aufwand. Vor allem die Auffüllung des Wassermengendefizites durch Verringerung von Zuflüssen aus der Grundwasserhaltung des Braunkohlebergbaus im Spreegebiet ist nur durch aufwendige Maßnahmen zu erreichen. Dafür kommen vor allem Speichervorhaben in den Oberläufen der Flüsse und eine möglichst mehrfache Nutzung des Wassers in den Ballungsgebieten durch Kreislaufführungen infrage (Ableitungskonzepte z. B. für das Abwasser in Berlin). Die Verringerung der z.Z. noch hohen Belastung aus dem Berliner Raum kann durch weitergehende Nachreinigung erreicht werden. Eine geeignete Lösung könnte die Schaffung von ausreichend großen Versickerungsflächen im Berliner Umland, z.B. auf Brachland, und die Anlage von Teichen (Schönungsteiche) sein. Bei dem zu erwartenden Abwasseranfall von ca. 1 Mill. m³/d ist dafür allerdings ein erheblicher Flächenbedarf erforderlich (ca. 10.000 ha), der nicht ohne weiteres zu decken ist, zumal ehemalige Rieselfelder wegen der vorliegenden Schadstoffkontamination, der fehlenden technischen Voraussetzungen und der z.Z. nur noch geringen Flächenausdehnung (maximal 1.000 ha) kaum infrage kommen. Aufgrund des bestehenden Wertes der Havel für den Naturschutz und den Tourismus ist aus Sicht der Autoren bei allen Planungen für das Gebiet dem Schutz der Pflanzen und Tiere, der Erhaltung der einzigartigen Landschaft, der Erhaltung der naturnahen Uferbereiche der Gewässer, der Schaffung bzw. Erhaltung der Überschwemmungsflächen und der Verbesserung der Wasserbeschaffenheit absoluter Vorrang einzuräumen.

4. Darstellung spezieller Problemfelder

• Länderfusion Berlin - Brandenburg

Im Rahmen der angestrebte Fusion der Länder Berlin und Brandenburg könnten Zielvorstellungen beider Länder zur Nutzung der Havel harmonisiert werden.

Aus Sicht der Autoren besteht die vorrangige Aufgabe, die im Land Brandenburg konzipierten Zielvorstellungen auch nach einer Fusion zu realisieren.

• Verkehrsprojekt 17

Wie im Abschnitt 3 erläutert, gibt es für die zukünftige Nutzung der Havel als Wasserstraße verschiedene Varianten. Ob es für bestimmte Havelabschnitte Einschränkungen für den Schiffsverkehr geben wird und welche Beeinträchtigungen der Wasserbeschaffenheit, der Gewässermorphologie und -ökologie zustandekommen, wird gegenwärtig diskutiert. Das umzusetzende Konzept muß unterschiedlichen Ansprüchen gerecht werden: Zum einen muß die Durchgängigkeit des Havelinzugsgebietes über den Flußlauf und über die Kanäle für die Schif-

fahrt gewährleistet sein, zum anderen müssen Folgeschäden unter hydrologischen und gewässerökologischen Aspekten ausgeschlossen werden.

5. Ausblick

Für Brandenburg ist die Havellandschaft mit ihrem Naturreichtum unverzichtbar. Unsere heutige Gesellschaft hat die Verpflichtung, diese Landschaft für die nachfolgenden Generationen zu bewahren und, wenn möglich, noch attraktiver zu gestalten. Dabei steht eine reichhaltige Naturlandschaft mit seltenen Pflanzen und Tieren im Vordergrund. Gerade die Verbindung dieser Werte mit den kulturhistorischen Leistungen voriger Generationen im Hinblick auf Landschaft und Siedlungsstruktur bietet dafür eine fast einzigartige Chance.

*Dr. rer. nat. habil Lothar Kalbe
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Hauptlabor*

*Dipl.-Biologe Rainer Bock
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Gewässerschutz und Wasserwirtschaft
Ref. Gewässerökologie, -güte/Schutzgebiete*

Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0948 - 0838)

- Band 1* *Geotechnik im Deponiebau*
Ausgewählte Beiträge aus den Geotechnischen Seminaren des Landesumweltamtes
Brandenburg 1992/93 (1994)
- Band 2* *Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg*
Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg – dezentrale Lösungen –
Tagungsberichte über das Abwassersymposium am 21.10.1992 (1993)
- Band 3* *Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg*
Eine Modellbetrachtung aus wasserwirtschaftlicher Sicht – Studie (1994)
- Band 4* *Abfallwirtschaft und Bergbau*
Beiträge der Fachtagung „Abfallwirtschaft/Kreislaufwirtschaft – Herausforderung
für die Region Cottbus und die Braunkohlenindustrie“ am 05./06.04.1995 (1995)
- Band 5* *Luftqualität 1975 bis 1990*
Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg – Studie (1995)
- Band 6* *Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen*
Bergbaubedingte Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen
– Analyse, Bewertung und Prognose –
Untersuchungen im Lausitzer Braunkohlenrevier – Studie (1995)
- Band 7* *Rüstungsaltpasten*
Beiträge des Fachseminars „Rüstungsaltpasten“ am 22.06.1995 in Potsdam (1995)
- Band 8* *Die Havel*
Naturwissenschaftliche Grundlagen und ausgewählte Untersuchungsergebnisse
– Studie (1995)
- Band 9* *Rieselfelder Brandenburg-Berlin*
- Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“ im Februar 1995
- Bericht des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB)
vom Dezember 1995

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam
Telefon: (0331) 2323-259
Telefax: (0331) 29 21 08