



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

**Sektion Gewässerforschung Magdeburg
Brückstr. 3 a
39114 Magdeburg**

Endbericht zum Projekt

„Stofftransport und –umsatz in Bühnenfeldern der Elbe“

Auftraggeber:

BMBF – PT BEO (FKZ Forschungsvorhaben 0339801/7)

Laufzeit: 01.04.2000 – 31.03.2003

(kostenneutral verlängert bis 31.07.2003)

Projektleiter:

Dr. Helmut Guhr

Projektbearbeiter:

Dr. Klaus Ockenfeld

Dipl.-Biol. Sandra Brandt

unter Mitwirkung von:

Dipl.-Biol. Michael Böhme

Dipl.-Chem. Veit Hultsch

Dipl.-Ing. Dieter Spott

Dipl.-Chem. Martina Baborowski

Magdeburg, 25.01.2004

Gliederung

1. Einleitung	2
1.1 <i>Einleitung und wissenschaftliche Ziele des Vorhabens</i>	2
1.2 <i>Durchführungsvoraussetzungen während des Projektzeitraumes; Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern</i>	3
1.3 <i>Planung und Ablauf des Vorhabens</i>	5
1.4 <i>Wissenschaftlich-technischer Stand, an welchen angeknüpft wurde</i>	7
2. Ergebnisse und potenzielle Ergebnis-Nutzung	8
2.1 <i>Publikationen, Patente und Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen</i>	9
2.2 <i>Ergebnisse und Diskussion zu Untersuchungen des Buhnenfeldes bei Strom-Km 317</i>	12
2.2.1 Hydrologische Situation und Schwebstoffdynamik.....	13
2.2.2 Dynamik partikulär gebundener Stoffe.....	16
2.2.3 Dynamik gelöster Stoffe.....	21
2.2.4 Chemische Konzentrationsverhältnisse und Kalkulation des Stoffrückhaltes im Buhnenfeld.....	26
2.2.5 Planktonuntersuchungen.....	28
2.2.6 Einflüsse der Schifffahrt auf die Stoffverlagerung.....	30
2.3 <i>Ergebnisse und Diskussion zu 5 fließzeitkonformen Bereisungen der Elbe</i>	32
2.3.1 Die erste Bereisung und ihre Auswirkungen auf das Buhnenfeldprojekt.....	32
2.3.1.1 <i>Ergebnisse bzgl. der Stoffkonzentrationsunterschiede Hauptstrom-Buhnenfeld</i>	32
2.3.1.2 <i>Ergebnisse bzgl. der Primärproduktion</i>	32
2.3.1.3 <i>Ergebnisse bzgl. der Nutzung der Resultate durch Modell-Nachbildungen</i>	35
2.3.2 Vier Bereisungen in 2002.....	39
2.3.2.1 <i>Ziel der Reisen</i>	39
2.3.2.2 <i>Die longitudinale Chlorophylla-Entwicklung</i>	40
2.3.2.3 <i>Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zur planktischen Primärproduktion</i>	41
2.3.2.4 <i>Vergleich pelagischer zu gesamtsystemaren Sauerstoffumsetzen</i>	41
2.3.2.5 <i>Phytoplankton in Hauptstrom und Buhnenfeld entlang der Elbe</i>	43
3. Zusammenfassende Diskussion	45
4. Endbericht-Zusammenfassung	48
5. Literatur	49
6. Anlagen	58

1. Einleitung

1.1 Einleitung und wissenschaftliche Ziele des Vorhabens

Der Funktionsanalyse strömungsberuhigter Zonen in Fließgewässern wurde in der jüngeren Vergangenheit zunehmend Aufmerksamkeit gewidmet, wobei neben rein hydraulischen Betrachtungen auch ökologische Fragestellungen eine wesentliche Tragweite erlangten (Carling et al. 1996, Engelhardt et al. 2001, Köhler 1998, Ouillon & Dartus 1997, Uijttewaai et al. 2001, 2002, v. Mazijk & Weitbrecht 2001, Westrich 1997). Da sich die Effekte reduzierter Wasserbewegungen besonders gut an künstlich entstandenen „Totzonen“ ermitteln lassen, stehen Buhnenfelder im Vordergrund des Interesses. Diese „Stillwasserbereiche“ werden von je zwei künstlich geschaffenen Querbauwerken begrenzt, deren wasserwirtschaftliche Bedeutung sehr vielschichtig sein kann. Seit geraumer Zeit dienen sie primär der Reduktion des Fließquerschnitts und sollen eine durchgängige Schiffbarkeit vieler Flüsse auch während Niedrigwasserperioden ermöglichen. Einen Überblick zum Funktionsspektrum transversaler Flussbauwerke in der Elbe im Lauf der Geschichte findet sich in Rohde (1998) und Schwarz & Kozerski (2002).

Solche vom Menschen errichteten Buhnen verstärken die Breitengliederung des Flusses in eine hydraulisch beruhigte ufernahe Zone und den hochturbulenten Hauptstrombereich. Mit der durch den Bau bewusst herbeigeführten Verengung des Fließquerschnitts erhöht sich der Flächenanteil von Ruhewasserbereichen an der Gesamtwasser Oberfläche. Hiermit geht eine Verlängerung der Uferlinie, eine Erhöhung der Verweilzeit ufernaher Wassermassen sowie eine Reduktion der Turbulenz innerhalb dieser Ruhe zonen einher. Für plankton dominierte Fließgewässer müssen diese primär physikalisch-morphologischen Veränderungen von erheblicher Bedeutung sein, da das Wachstum von Plankton in Fließgewässern hauptsächlich durch physikalische Größen wie Fließgeschwindigkeit, Turbulenz und Wassertiefe beeinflusst wird (Gervais et al. 1997, Köhler 1993, Köhler et al. 2002, Reynolds & Descy 1996). Veränderungen dieser Steuergrößen sollten sich besonders gravierend auswirken, wenn, wie im Fall der Elbe, große Abschnitte der Uferlinie durch eine Vielzahl von Buhnen vom Verbau betroffen sind. Gerade die Reaktion planktischer Organismen und deren Umsatzleistung wurde jedoch bislang nur unzureichend im Zusammenhang mit Buhnenfeldern untersucht. Deren Rolle für pelagische Metabolismusleistungen und den permanenten und temporären Nährstoffrückhalt gilt daher als weitgehend unbekannt. Im vorliegenden Bericht werden Studien und relevante Ergebnisse dokumentiert, welche zur Aufklärung dieses Fragenkomplexes beitragen.

Die Arbeiten waren eingebunden in ein großes Verbundprojekt zur Elbe-Ökologieforschung. (BMBF-Rahmenkonzept: „Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe“), welches Bestandteil des Förderschwerpunktes „Ökologische Konzeptionen für Fluss- und Seenlandschaften“ ist.

Die Ergebnisse der Einzelprojekte sollen später zusammengefügt und als Komplex bewertet werden. Für den hier vorgestellten Teilbereich werden dabei insbesondere die Arbeiten jener Kooperationspartner von Bedeutung sein, die sich mit Verlusten pelagischer Wasserinhaltsstoffe in Buhnenfeldern auseinandersetzen. Sedimentation (Projektpartner: IGB Berlin) und Zooplanktonfraß (Projektpartner: Universitäten Jena und Hamburg) stellen ökologische Stellgrößen dar, welche in erheblichem Maße zur Steuerung der Phytoplanktonzusammensetzung und -abundanz beitragen. Nur mit der Zusammenführung dieser Ergebnisse kann auch jenem Aspekt Genüge getan werden, der sich mit der Gesamtübersicht und der Vorhersage ins-

besondere der Wasserqualität befasst. Diese Gütemodellierung bedarf einer Vielzahl auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit neu ermittelter Faktoren, deren Erfassung neben oben erwähnter Grundlagenforschung einen weiteren Schwerpunkt des dieser Arbeit zu Grunde liegenden „Bühnenfeldprojektes“ darstellt. Ziel der für die Modellierung verantwortlichen Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz ist es, das existierende Simulationsmodell QSIM (siehe auch Kirchesch et al. 1999) um das Kompartiment der Bühnenfelder zu ergänzen.

Das Gesamtziel des Vorhabens war die Erkenntniserweiterung hinsichtlich des Algenbildungspotenzials der Bühnenfelder im Hinblick auf den Hauptstrom sowie deren Rolle für den permanenten bzw. temporären Stoffrückhalt. Insbesondere galt es, die Wirkung physikalischer Faktoren auf die o.g. Umsatzleistungen sowie die Identifikation und Quantifizierung der für den Nährstoffumsatz bedeutsamen Prozesse zu betrachten. Störereignisse wie Schifffahrt und Hochwässer sollten nach Möglichkeit Berücksichtigung finden.

Folgende Fragen sollten mit den Untersuchungen innerhalb des Bühnenfeldprojektes geklärt werden bzw. zur Kenntniserweiterung beitragen:

1. Gibt es systematische Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der pelagischen Wasserkörper von Hauptstrom und Bühnenfeld? Zeigen diese Differenzen für alle untersuchten Kriterien die gleiche Tendenz oder können Quellen- und Senkenfunktion für unterschiedliche Parameter parallel auftreten?
2. Wie hoch liegen planktische Primärproduktion und Respiration in der Elbe; treten hinsichtlich der Lichtanpassung und/oder der integralen Aktivität deutliche Differenzen zwischen BF und Hauptstrom zu Tage und kann hieraus auf eine Quellenfunktion/Senkenfunktion rückgeschlossen werden? Lassen sich für bestimmte Gruppen/Arten von Phytoplanktern potentielle Selektionsvorteile hinsichtlich des Wachstums definieren.?
3. Können rein planktische Umsatzleistungen die longitudinale Entwicklung der Inhaltstoffe erklären und welche Rolle spielen Morphometrie und Benthos?
4. Zeigen Phytoplankter des Bühnenfeldes andere Adaptionszustände als jene des Hauptstromes und führen diese Anpassungen zu integral mehr oder weniger Stoffumsatz?
5. Wie hoch liegt das Bruttowachstum des Phytoplanktons und welche Biomasse wäre am Ende der Fließstrecke zu erwarten, wenn es keine Verlustgrößen gäbe? (Grundlageninformationen für weitergehende Modellierungen)

1.2 Durchführungsvoraussetzungen während des Projektzeitraumes; Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern

Der Auftragnehmer verfügt über langjährige Erfahrungen in der Elbeforschung, wobei u. a. seit 1990 zwei vom BMBF und ein vom UBA geförderte Vorhaben bearbeitet werden konnten (Guhr et al. 1993, Guhr et al. 1999, Guhr et al. 2001). Die Sektion Gewäss erforschung des UFZ besitzt eine erfahrene wasseranalytische Abteilung und die Ausstattung für die biologische Analyse und Bestimmung der Primärproduktion. Durch Zuführung eines Biologen für die Projektbearbeitung, der an der Spree tätig war, konnte insbesondere die wissenschaftliche Bearbeitung der Bioproduktion im Freiwasser abgesichert werden.

Die im ersten Abschnitt schon erwähnte Verbund-Forschung zur Elbe-Ökologie begann Mitte der neunziger Jahre. Das dieser Arbeit zugrunde liegende Projekt war das zuletzt genehmigte

in diesem Verbund und konnte erst im Mai 2000 begonnen werden. Damit waren die Voraussetzungen für Kooperationen mit anderen Elbe-Ökologie-Partnern nur sehr bedingt gegeben. Dennoch wurde unmittelbar nach Anlaufen des Projektes Kontakt mit den Bearbeitern der damals noch laufenden Projekte aufgenommen, um aufeinander aufbauende Fragestellungen angehen zu können und Doppelarbeit zu vermeiden. Dies betrifft insbesondere

- a) BfG (Arbeitsgruppe Eidner/Böhme):
→ Ermittlung von Eingangsdaten für die Erweiterung des BfG-Fließgewässermodells durch gemeinsame Elbe-Längsbereisung (Juni/Juli 2000)
- b) IGB Berlin (Arbeitsgruppe Pusch/Fischer):
→ Unterstützung bei Arbeiten im Taucherschacht zu Ermittlung der Stoffumsatzleistung im Elbe-Sediment
- c) IGB Berlin (Arbeitsgruppe Bungartz, Engelhart):
→ Ermittlung der Stofftransportgeschwindigkeit partikulärer Materie in Bühnenfeldern unter Einsatz von Bärlapp-Sporen
- d) Uni Hamburg/Jena (Arbeitsgruppe Zimmermann-Timm)
→ Zusammenarbeit mit Henri Holst zur zeit-/ortsparallelen Ermittlung des planktischen Stoffumsatzes; Holst: Zooplankton; Ockenfeld: Primärproduktion
→ Unterstützung bei Elbe-Untersuchungen der Uni Jena zur Ermittlung sedimentgebundener Nahrungsnetzstrukturen
- e) Technische Universität Darmstadt (Krebs)/ BfG (Eidner):
→ gemeinschaftliche Vermessung des Elbe-Tiefenprofils mittels Mehrfach-Echolotung im Tiefenwasser bzw. Einzellotung im Bereich der Bühnenfelder im Elbe-Abschnitt zwischen Schönebeck und Magdeburg. Die Aufnahmen wurden in Kooperation mit den Wasser- und Schifffahrtsämtern Berlin und Magdeburg durchgeführt und dienten der Modellierung von Strömungs- und Turbulenzverhältnissen entlang dieses Abschnittes. Hierdurch sind detailliertere Informationen zum wasserführungsabhängigen biochemischen Stoffumsatz als Resultat der erweiterten BfG-Modellierung möglich. Die Ergebnisse konnten aufgrund einiger der u.g. Umstände bislang nicht weiter ausgewertet werden. Die Technische Universität Darmstadt trat auch als Unter-Auftragnehmer im Bühnenfeld-Projekt auf. Mit ihrem Untersuchungsschwerpunkt zur morphodynamischen Modellierung galt es, in Kooperation mit dem UFZ und dem IGB Berlin biologische Prozesse in der Modellierung zu berücksichtigen, welche sich potenziell auf das Sedimentationsverhalten bzw. den Sedimenttransport auswirken. Ergebnisse hierzu wurden im Abschlussbericht der TU Darmstadt dokumentiert, welcher dem vorliegenden Endbericht als Anlage beigefügt wurde.

Die Teil-Ergebnisse des UFZ an den o.g. Kooperationen wurden an die Verantwortlichen weitergeleitet, vielfach war aber eine intergrative Auswertung aufgrund der Beendigung anderer Projekte nicht mehr möglich oder findet in Form noch laufender Promotionsverfahren statt. Bei der Erörterung der Projektaktivitäten soll daher nur auf die gemeinschaftliche Elbebereisung mit der BfG eingegangen werden, da diese Ergebnisse wesentlichen Einfluss auf die weitere (von anderen Teilprojekten dann unabhängige) Vorgehensweise des UFZ-Bühnenfeldprojektes hatte.

Folgende weiteren Umstände sind zu nennen, welche Einfluss auf die Aktivitäten innerhalb des Projektes und die Ergebnisdarstellung haben:

- a) Die Vorbereitungen zur Auflösung der BfG-Außenstelle in Berlin führte dort zu personellen Engpässen und Zeitverzögerungen bei der Bearbeitung/Erweiterung des BfG-Fließgewässermodells. Gemeinschaftlich mit der BfG erarbeitete Datensätze sowie sich aus dem Bühnenfeldprojekt (UFZ) ergebende Eingangsgrößen für das Modell konnten bislang keine Berücksichtigung finden.
- b) Das Elbe-Hochwasser 2002 hatte den Abbruch einer von vier Elbe-Längsbereisungen zur Folge.
- c) In Folge des Hochwassers wurde eine BMBF-Verbundprojekt ins Leben berufen [*„Schadstoffuntersuchungen nach dem Hochwasser vom August 2002 – Ermittlung der Gefährdungspotenziale an Elbe und Mulde“ (Vorhaben 0330492)*]. In Vorbereitung dessen und während der Laufzeit dieses Projektes ist Herr Dr. Ockenfeld als Koordinator tätig. Damit stand er als bis dahin Haupt-Durchführender im Bühnenfeldprojekt nicht mehr zur Verfügung. Entsprechend notwendige Beschränkungen in Untersuchungsdurchführung sowie Zeitverzögerungen und Einschränkungen hinsichtlich der Ergebnisauswertung waren die Folge.
- d) Als Ersatz für Herrn Dr. Ockenfeld wurde Herr Dipl.-Chem. Veit Hultsch für 6 Monate angestellt. Seine Aufgabe bestand in der Besorgung und Aufbereitung von Literatur zum Bühnenfeldprojekt vor den Hintergrund des August-Hochwassers 2002 (siehe Anlagen).

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Aufgrund des relativ zu den anderen „Elbe-Ökologie-Projekten“ sehr späten Beginns des Bühnenfeld-Projektes wurde als erster Schritt die Kontakt mit noch tätigen Verbundpartnern aufgenommen. In erster Linie sollten eigene Versuchsplanungen auf deren schon vorhandenes Wissen aufbauen, bzw. Doppelansätze vermieden werden.

Diese Vorgehensweise hatte eine schon 1 Monat nach Projektbeginn gemeinschaftlich mit der BfG (Eidner/Böhme) durchgeführte Elbe-Bereisung zur Folge. Die erzielten Ergebnisse sollten

- Eingang finden in die erweiterte Modellierung der BfG
- Klarheit über systematische Differenzen zwischen Bühnenfeldern und Hauptstrom liefern

Die Resultate dieser Bereisung wurden im BfG-Bericht BfG-JAP-Nr. 2679 (Autoren: Böhme, Eidner, Ockenfeld, Guhr) dargelegt und der vorliegenden Arbeit beigelegt. Wichtigste für die Folgeuntersuchungen im Bühnenfeld hervorzuhebende Ergebnisse waren:

- eine mehrfach notwendige Wiederholung der fließzeitkonformen Bereisung unter Berücksichtigung der Jahressukzession

- die Erkenntnis, dass vergleichende (zeitlich und/oder örtlich) punktuelle Beprobungen/Analysen zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom keine weiterführenden Ergebnisse liefern würden. Eine Vielzahl von Analysen gleichzeitig an mehreren Messpunkten der Elbe entnommener Wasserproben (entlang der Fließstrecke wurden an allen fließzeitgerecht angefahrenen Haltepunkten zeitgleich linkselbisch, rechtselbisch, flussmittig und in den korrespondierenden Bühnenfeldern Proben entnommen) ergab oftmals Differenzen zwischen den Messstellen. Diese waren jedoch gering und unsystematisch. Ein konkreter Einfluss der Stillwasserzonen auf den Hauptstrom konnte anhand dieser Vorgehensweise nicht nachgewiesen werden. Diese wertvolle Erkenntnis hatte zur Konsequenz, dass Vergleichsuntersuchungen zwischen Hauptstrom und Bühnenfeld prozessorientiert erfolgen müssen, auf die Ausdehnung punktueller Vergleichsuntersuchungen konnte also für die Zukunft (im Anschluss an die erste Längsbereisung) verzichtet werden. Nur über längere Dauermessungen (Dauersonden/Inkubatoren) und den Einsatz/ die Entwicklung adäquater Methoden kann der Einfluss des einen auf das andere Teilkompartiment quantifiziert werden. Zu den neu zu entwickelnden Techniken gehört auch die Möglichkeit, Teile des zu untersuchenden Gewässers nachzubilden und/oder abzutrennen und zu manipulieren. Für Standgewässer sind solche Enclosures gängige Praxis, für Fließgewässer mangelt es an brauchbaren Techniken. Hierzu wird an anderer Stelle Bezug genommen.

Aus diesen Vorergebnissen leitete sich die grobe Zeitplanung für weitere Untersuchungen innerhalb des Bühnenfeldprojektes ab. Es ergaben sich 2 Schwerpunkte:

1. 2000/2001: Intensive Charakterisierung eines ausgewählten Beispielbühnenfeldes hinsichtlich Verweilzeit und Strömungsmuster. Beprobung dieses Beispielbühnenfeldes unter Berücksichtigung seiner hydraulischen Bedingungen (Verweilzeit) zur Quantifizierung der Konzentrationsdifferenzen zwischen einlaufendem und auslaufendem Wasser (2000/2001). Während dieses Zeitraumes wurde auch die Wirkung der Schifffahrt als Störgrösse in den Untersuchungen berücksichtigt. Logistische Gründe, Erfahrungswerte aus der Vergangenheit und Kooperationsuntersuchungen führten zur Auswahl eines Feldes bei Strom-Km 317.

Nebentätigkeiten in 2000/2001: Entwicklung eines geeigneten Freiland-Inkubators zur Quantifizierung des lichtabhängigen Phytoplankton-Wachstums (Langzeitversuche vor Ort, da sich zeitlich punktuelle [Kurzzeit-] Vergleichsmessungen zwischen Stillwasser und Hauptstrom als uneffektiv erwiesen hatten.). In 2001 wurden darüber hinaus Projektpartner unterstützende Freilandarbeiten durchgeführt, welche keine Berücksichtigung im vorliegenden Endbericht finden können. Es handelt sich hierbei um schon erwähnte Kooperationen mit dem IGB Berlin (Taucherschacht, Bärlappsporen-Versuche), den Universitäten Hamburg und Jena [Vergleich zwischen Zooplanktonfraß und Primärproduktion (siehe in Entstehung befindliche Dissertation von Henri Holst, Uni Hamburg); Unterstützung von Sedimentuntersuchungen im Bühnenfeld km 317 (siehe in Entstehung befindliche Dissertation von Sandra Kröver, Uni Jena), der TU Darmstadt [Vermessung des Elbe-Profiles entlang einer Strecke von 2 Km zur Quantifizierung von Sohlrauigkeit, Geschiebetransport etc. (siehe Abschlussbericht der TU Darmstadt [Anlage] sowie Dissertation von Martin Krebs)].

2. Durchführung von 4 fließzeitkonformen Bereisungen (Frühjahr, Sommer, Spätsommer, Herbst) zur Quantifizierung des lichtabhängigen Algenwachstums. Mit diesem Gerät wurde intensiv am Einfluss des physikalischen Parameters „Licht“ auf die o.g. Stoffumsetzungen geforscht. Der Inkubator und das seiner Konstruktion zugrunde liegenden wissenschaftliche Verfahren wurden zum Patent angemeldet und mit einer potenziellen Produktionsfirma besprochen. Ziel ist eine der Wasserforschung zur Verfügung stehende einheitliche Methode als Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen in der Zukunft. Da Stoffumsatzprozesse im Pelagialbereich von Fließgewässern erst seit wenigen Jahren in den Mittelpunkt des Interesses gerückt sind, fehlen bislang standardisierte Verfahren.

1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand, an welchem angeknüpft wurde

Die teils im Vorfeld der Untersuchungen, teils während des Untersuchungszeitraumes zusammengetragene Literatur hatte eine Vielzahl an Informationen zu Form und Anzahl von Bühnenfeldern in der Elbe sowie deren teils nachgewiesenen, teils postulierten ökologischen Einflüssen im Flussgebiet (z.B. Westrich 1971, 1997, Schwartz & Kozerski 2002) hervorgebracht. Mit dem Einfluss physikalischer Faktoren, vor allem Turbulenz, Temperaturdifferenzen und Viskosität, auf die Algenentwicklung in Fließgewässern hat sich insbesondere Reynolds (1989, 1990, 1993, 1994 a, 1996) beschäftigt. Der Einfluss der turbulenten Vermischung auf die Primärproduktion wurde von Gervais *et al.* (1997) in einer großen Wassersäule und im Müggelsee untersucht. Die Ergebnisse zeigten in beiden Fällen meist höhere Werte im Vergleich zum statischen Versuchsansatz (bis zu 30 % in der Wassersäule). Das Ergebnis solcher Vergleiche wird jedoch von der Intensität der Vermischung, der Trübung, der Photoinhibierung und dem physiologischen Zustand der Algenpopulationen bestimmt. In der Donau mit ihren Stauhaltungen wurde der Einfluß des Schwebstoffgehaltes auf die Chlorophyll - Konzentration untersucht (Dokulil 1994) und eine exponentielle Abnahme dieses Algenpigmentes mit steigendem Schwebstoffgehalt festgestellt. Durchfluss, Schwebstoffkonzentration, Oberflächenlichtintensität und Temperatur steuern im komplexen Zusammenhang das Algenwachstum und damit den Chlorophylllevel. Hochwasserereignisse sind die Hauptstörungen in einem Fluss, die auch die Zusammensetzung und Biomasse des Planktons beeinflussen (Descy 1993). Krienitz (1990) stellte bei der Analyse der Planktongemeinschaft in den Bühnenfeldern der Elbe bei Aken fest, daß die Biomasseproduktion in den Sommermonaten etwa doppelt so hoch ist wie im Stromstrich. Der Anteil an pennaten Diatomeen, bei denen es sich meist um aus dem Benthos ausgespülte Algen handelt, ist im Strom höher als in den Bühnenbereichen und Ufernischen. Diese Untersuchungen wurden 1986 unter den Bedingungen einer extremen Schadstoffbelastung und eines schlechten Lichtklimas in der Elbe durchgeführt. In Zusammenhang mit dem pool- und riffle-System naturnaher Fließgewässer wurde in manchen Arbeiten auch die Bedeutung der „Totzonen“, diskutiert. Reynolds (1994b) wies darauf hin, daß bei genügend langen Verweilzeiten des Algen enthaltenden Wassers in solchen Bereichen eine Zellteilung möglich wird und sich so die Zellkonzentration innerhalb dieser Stillwasserzone erhöht. Bei einer kritischen Austauschrate von 1-2 %/h würden dann mehr Algen an den Hauptstrom abgegeben werden als in die Zone einfließen. Wiederholt sich das öfter flussabwärts, führt das zu einer disproportional starken Zunahme der Zellzahlen. Je größer der Ausspüleffekt in einem Fließgewässer ist, desto mehr sind die Species begünstigt, die eine hohe Wachstumsrate haben. Infolge der Turbulenz und Trübung sind die Algenarten bevorteilt, die eine gute Lichtaus-

beute erzielen. Bei den Diatomeen (centrische Formen), die vor allem die Fließgewässerunterläufe dominieren, kommt hinzu, daß sie weniger gegen Durchflussschwankungen und Verringerung der Wassertiefe empfindlich sind als andere Algengruppen. Das Wachstum und die Selektion der Algen in einem Flusslauf werden hauptsächlich bestimmt durch die Transportzeiten, die Suspensionsmöglichkeiten, die von der Gewässertiefe abhängen, und von den Möglichkeiten des Lichtgenusses, die wiederum vom mitgeführten partikulären Material geprägt werden.

Neben den positiven Informationen aus der Literaturstudie wurde aber auch ein Mangel an brauchbarer Technik auf dem Gebiet der Flussplanktologie ersichtlich. Die Notwendigkeit der Etablierung einheitlicher Methoden für die zu behandelnden Fragen hinsichtlich des Phytoplankton-Stoffumsatzes in Fließgewässern wurde damit offenbar. Ein während der Projektzeit entwickelter und getesteter Prototyp eines Freiland-Fließgewässerinkubators ist somit als notwendiger erster Schritt zu verstehen, um den Mangel an einheitlichen Untersuchungstechniken im Bereich der Fließgewässerplanktologie zu beheben und stellt folglich eine verfahrenstechnische Innovation dar. Dieses Gerät basiert auf einem schon käuflich erwerblichen Modell (Firma Hydrobios, Kiel) zur Messung der planktischen Primärproduktion (Kurzzeitmessungen von 1-4 Stunden mit ^{14}C) und musste in vielfältiger Weise an die durchzuführenden Wachstumsuntersuchungen (Langzeitmessungen über 24 Stunden) angepasst werden (laufendes Patentierungsverfahren: „*Verfahren und Inkubator für Labor- und Freilanduntersuchungen zum lichtabhängigen Wachstum von Phytoplankton*“ AK: 102 35 138.4). Zusammengefügt wurden dabei in der Literatur beschriebene Einzelansätze (Gervais *et al.* 1999, Köhler & Bosse 1998, Köhler *et al.* 2000).

Alle weiteren im Projekt verwendeten Untersuchungsmethoden/Techniken sind schon seit längerem in der Literatur bekannt und wurden teils erstmalig im Bereich der Elbeforschung eingesetzt.

Eine Übersicht zur relevanten Literatur findet sich im letzten Kapitel dieser Zusammenschrift.

2. Ergebnisdarstellung und potenzielle Ergebnisnutzung

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden durch die unter 2.1 genannten Beiträge der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich gemacht, deren wichtigste Ergebnisse im Anschluss an diese Liste (Kapitel 2.2 bis 2.4) genannt werden sollen. Die Darstellungsform wurde so gewählt, das zunächst Informationen zu Untersuchungen eines intensiv begutachteten Buhnenfeldes bei Strom-Km 317 (Kapitel 2.2), anschließend Ergebnisse zu insgesamt 5 Längsbereisungen (Kapitel 2.3) geschildert werden. Eine übergreifende Bewertung findet sich dann im Kapitel 2.4.

Dem vorliegenden Endbericht wurden (soweit vorhanden) mehrfache Kopien der entsprechenden Veröffentlichungen beigelegt, daher soll auf eine detailliertere Darstellung entsprechender Methoden, Einzelergebnisse und Teilaussagen an dieser Stelle verzichtet werden. Dies gilt auch für die Beschreibung des Untersuchungsgewässers bzw. der jeweiligen Untersuchungsstandorte, welche in den Einzel-Publikationen ausführlicher dargestellt wurden. Sofern möglich, wurden anhand der ermittelten Ergebnisse weiterführende Kalkulationen durchgeführt. Für einige thematische Schwerpunkte wäre dies jedoch nur unter Integration weitergehender Informationen sinnvoll, welche zum Zeitpunkt der Zusammenschrift noch nicht in verwertbarer Form vorlagen. So wäre eine Bilanzierung des Beitrages von

Bühnenfeldern an Konzentrationsänderungen im Hauptstrom nur dann quantifizierbar, wenn folgende Bedingungen gegeben wären:

1. Für einen definierten Flussbereich (Hauptstrom und die korrespondierenden Stillwasserzonen) müssen sich exakt aufgelöste Kenntnisse zur Sohlrauhigkeit und den sich in Abhängigkeit von der Wasserführung ändernden sonstigen physikalischen Randbedingungen ermitteln lassen. Hieraus wäre dann eine Sauerstoffganglinienanalyse (SGA) ableitbar, welche den gesamtsystemaren Stoffumsatz innerhalb dieser Teilstrecke quantifizierbar machte. Die SGA würde direkte Ergebnisse zur systemaren (für den definierten Gewässerabschnitt geltenden) Respiration und zur systemaren Netto-Primärproduktion liefern, indirekt wäre damit auch die systemare Bruttoproduktion ableitbar. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurde eine Vielzahl von Sauerstoffganglinien aufgezeichnet (während der Längsbereisungen), deren Aussagekraft erst nach Bereitstellung der erforderlichen Daten rechnerisch ermittelt werden kann. Im Ergebnisteil dieses Berichtes wird nur exemplarisch auf eine Beobachtung zum Vergleich der Sauerstoffganglinien mit anderen Messmethoden zur Produktionsmessung eingegangen.
2. Mittels Winkler-Inkubation und/oder ^{14}C -Methode wurde vielfach die Vertikalverteilung von Primärproduktion und Respiration in Hauptstrom und Bühnenfelder ermittelt. Es ist bekannt, dass insbesondere für durchmischten Gewässerabschnitte wie Flüsse oder dem Epilimnion von Seen diese statischen Methoden zu Fehlkalkulationen führen, da dem Durchmischungscharakter solcher Gewässer bei der statischen Inkubation keine Rechnung getragen werden kann. Der ursprünglich geplante Vergleich zwischen den Ergebnissen der statischen Inkubation und jenen der Sauerstoffganglinieanalyse hätte die grobe Kalkulation von Korrekturwerten erlaubt, konnte aber aufgrund o.g. Gründe nicht durchgeführt werden. Für die vorliegenden Ergebnisse der statisch ermittelten Umsatzleistungen machen also nur Vergleiche zwischen den Kompartimenten Bühnenfeld und Hauptstrom bzw. die Angabe einer Größenordnung Sinn.

2.1 Publikationen, Patente und Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen

Folgend aufgelistete Beiträge zum wissenschaftlichen Informationsfluss wurden im Laufe des Projektzeitraumes geleistet. Die darin enthaltenen Informationen zu Methodik und anderen grundlegenden Vorgehensweisen sollen in diesem Endbericht nicht erneut detailliert aufgelistet werden, der interessierte Leser kann sie beim Autor nachfragen. Hierzu zählen auch eine Vielzahl im Laufe der 3 Untersuchungsjahre zusammengetragener Einzelmesswerte, welche in vielfältiger Form noch ausgewertet werden können. So existieren Datensätze sehr vieler wasserchemischer Messgrößen von 2 Elbe-Messtellen in Magdeburg, welche während der Projektzeit wöchentlich beprobt wurden. Hieraus können Informationen zur Jahresdynamik und den Schwankungsbreiten ebenso entnommen werden, wie Differenzen zwischen der linken und der rechten Magdeburger Elb-Seite. Für die dieser Zusammenschrift zugrundeliegenden Fragestellungen waren nur einige dieser Datensätze relevant und eine bloße Darstellung aller gewonnenen Messwerte wird nicht erfolgen. In den nachfolgenden Kapiteln soll vielmehr anhand ausgewählter Beispiele der Zugewinn an Kenntnis durch das Bühnenfeldprojekt vermittelt werden.

Aufsätze

Böhme, M., Eidner, R., Ockenfeld, K. & Guhr, H. (2001): Ergebnisse der fließzeitkonformen Elbe-Längsbereisung 26.06.- 07.07.2000. – Berichte der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. BfG-1309 (BfG-JAP-Nr. 2679)

Eidner, R., Kirchesch, V., Guhr, H., Böhme, M. & Müller, D. (2002): Untersuchungen zum Stoffumsatz in Buhnenfeldern der Elbe. - Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 17. bis 21. September 2001. Tagungsberichte der DGL, Eigenverlag der DGL, Tutzing, S. 423-428

Guhr, H. & Spott, D. (2000): Auswirkungen der Strömungsverhältnisse in Buhnenfeldern auf den Stofftransport und –umsatz der Elbe. - In: v. Mazijk, A. (2000): "Austauschprozesse und Strömungsbilder an Buhnenfeldern". – Berichte zum Miniworkshop. Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 10-13

Guhr, H. (2002): Stoffdynamik in Buhnenfeldern der Elbe – Erste Ergebnisse. – In: v. Mazijk, A. (2002): "Neue Erkenntnisse im Bereich der physikalischen und ökologischen Prozesse an Buhnenfeldern". Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 9-15

Guhr, H., Ockenfeld, K. (2002): Buhnenfelder als Stoffsenken und -quellen am Beispiel der Elbe. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Eichstätt, 06.-08. Mai 2002. Tagungsberichte der GDCh. Eigenverlag der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Eichstätt: S 155-158

Ockenfeld, K. (2002a): Primärproduktion in Hauptstrom und Buhnenfeldern der Elbe: ein Vergleich. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 17. bis 21. September 2001. Tagungsberichte der DGL, Eigenverlag der DGL, Tutzing, S. 429-434

Ockenfeld, K. (2002b): Vergleich und Bewertung der planktischen Primärproduktion in Stillwasserzonen und Hauptstrom der Elbe. – In: v. Mazijk, A. (2002): "Neue Erkenntnisse im Bereich der physikalischen und ökologischen Prozesse an Buhnenfeldern". Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 135-144

Ockenfeld, K., Guhr, H. (2002): Planktische Primärproduktion in der Elbe: Die Bedeutung von Stillwasserzonen für den Hauptstrom der Elbe. In: Geller, W., Punčochář, P., Guhr, H., v. Tümpling jun., W., Medek, J., Smrt'ak, J., Feldmann, H., Uhlmann, O. (Hrsg.): Die Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements. 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar. B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: 195-198

Ockenfeld, K., Guhr, H. (2003). Groynes - the effects of small dams on the waterquality of the Elbe River (Germany). - *Water Sciences and Technology* **48/7**, pp 17-24

Patente

UFZ - Dr. Ockenfeld

„Verfahren und Inkubator für Labor- und Freilanduntersuchungen zum lichtabhängigen Wachstum von Phytoplankton“

AK: 102 35 138.4

Diplomarbeiten

Dipl.-Biol. Sandra Brandt, Universität Halle

“Ermittlung des pelagischen Phytoplankton-Wachstums unter Berücksichtigung des Zooplankton-Fraßes eines mitteldeutschen Fließgewässer (Elbe)”

Internationale Vorträge

Ockenfeld, K. (2002): Groynes – the effects of small dams on the water quality of the Elbe River (Germany): - *River-Symposium, Sep. 2002 Brisbane (Australien)*

Ockenfeld, K. & Guhr, H. (2002): Planktonic primary production in the Elbe-River: the relevance of „dead-water-zones“ for the main stream. – *Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. 11. Magdeburger Gewässerschutzseminar Okt. 2002, Spindlers Mühle, Tschechien*

Literaturstudie

Hultsch, Veit (2003): Datenbank und Literaturstudie zum BMBF-Projekt *“Stofftransport und -umsatz in Buhnenfeldern der Elbe”*

2.2 Ergebnisse und Diskussion zu Untersuchungen des Bühnenfeldes bei Strom-Km 317

Wie aus der Literatur bekannt, durchwandert das in ein Bühnenfeld eintretende Wasser in Abhängigkeit der morphologischen Verhältnisse oftmals kreisförmig diesen Ruhebereich und wird zeitverzögert wieder an den Hauptstrom abgegeben. Diese Retardation ist gekoppelt an eine Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit in den relativ zum Hauptstrom flacheren Bühnenfeldern und kann potentiell zum verstärkten Aussinken partikulären Materials, aber auch zu einem Anstieg der für ein Planktonwachstum notwendigen Verweilzeit unter gleichzeitig günstigeren Lichtbedingungen für photoautotrophe Organismen führen.

Die Untersuchungen am „Magdeburger Bühnenfeld“ (siehe schematische Darstellung Abb.1), DFK 317 (deutsche Fluss-Kilometrierung: Km 317) links, dienen der regelmäßigen Kontrolle von Konzentrationsunterschieden in zu- und ablaufendem Wasser. Im Mittelpunkt des

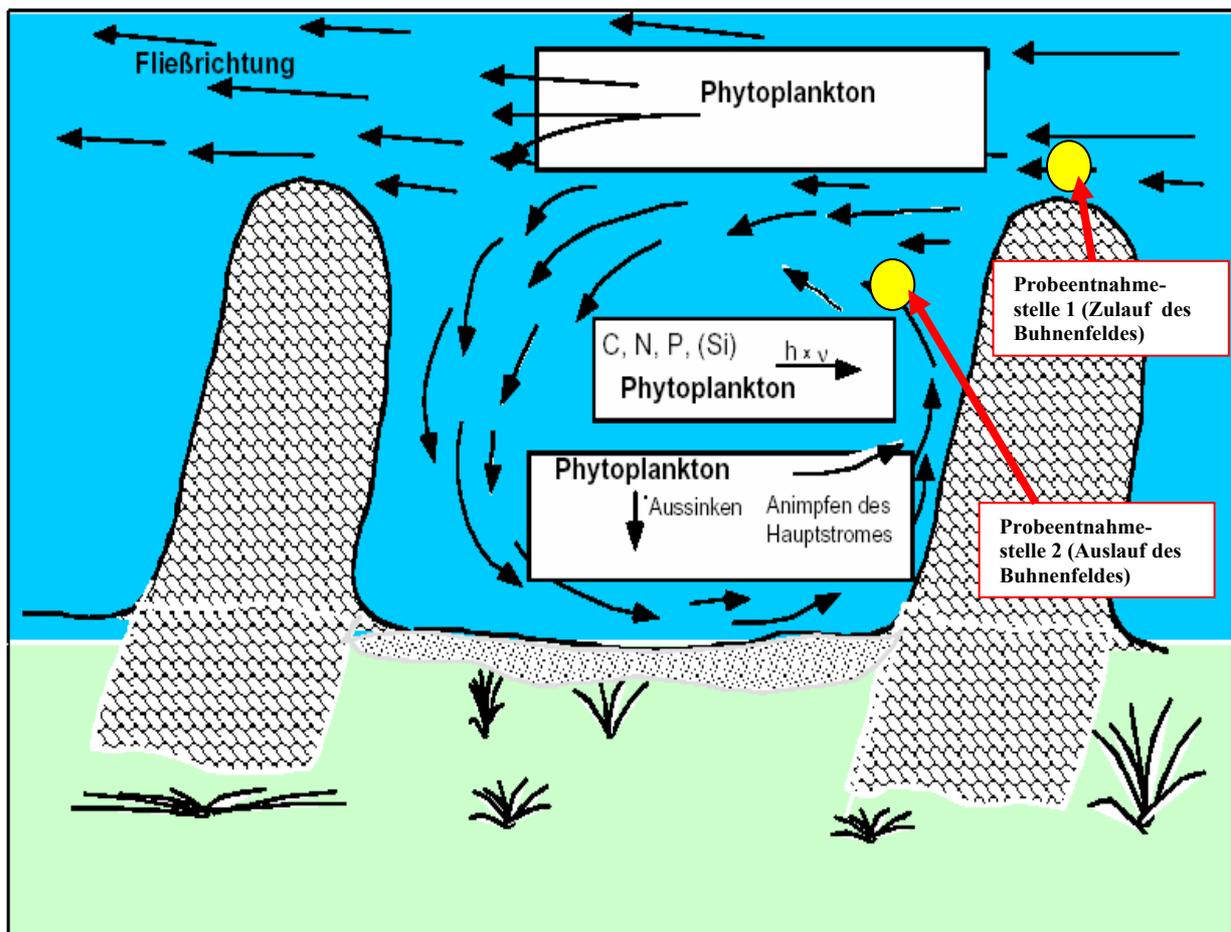


Abb. 1: Schematisierte Darstellung des „Magdeburger Bühnenfeldes am DFK-Km 317, links. Aus dem Hauptstrom (Probenentnahmestelle 1) eingedriftete Phytoplankter unterliegen während der kreisförmigen Bewegung der Wassermassen durch das Bühnenfeld relativ zum Hauptstrom veränderten ökologischen Prozessen wie Sedimentation, Frass oder Wachstum. Chemische Bestandteile können über Transformation, Sedimentation oder Rücklösung beeinflusst werden. Konzentrationen und Zusammensetzungen chemischer und biologischer Parameter können sich daher auf dem ca. 0,5 stündigen Transport bis zum Auslauf (Probenentnahmestelle 2) ändern und somit auch die Beschaffenheit des Hauptstromwassers unterhalb des Bühnenfeldes steuern.

Interesses standen hierbei das Verhalten gelöster und partikulärer Nährstofffraktionen sowie Abundanz und Biomasse der dominanten Phytoplankter. In 2000 und 2001 wurden wöchentliche Beprobungen durchgeführt, die hohe Frequenz diente der Überprüfung sowohl jahreszeitlicher Effekte als auch der Abhängigkeit der Messergebnisse vom Durchfluss. Für dieses Bühnenfeld wurde für Bedingungen von Mittelwasser ($MQ = 558 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) oder geringerem Durchfluss regelmäßig ein singuläres Cirkulationssystem beobachtet. Die Dauer der kreisförmigen Wasserbewegung lag hierbei stets um 0,5 Stunden, entsprechend wurden ein- und austretende Wassermassen mit einer Zeitverzögerung von einer halben Stunde (Entnahmetiefe stets 0,2 m) beprobt. Die mittlere Verweilzeit im gesamten Bühnenfeld wird unter o.g. Bedingungen auf ca. 1 Stunde geschätzt (Kozerski, pers. Mitt.), was integral näherungsweise zur Verdopplung der zwischen Einlauf- und Auslauf gemessenen Konzentrationsveränderung führen sollte. Auf Kalkulationen von Konzentrations-Änderungsraten im Zusammenhang mit wasserchemischen Inhaltstoffen wird im Kapitel 2.2.3 eingegangen.

2.2.1 Hydrologische Situation und Schwebstoffdynamik

Die Bühnenfelder der Elbe im Magdeburger Raum werden etwa bei Wasserführungen von $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (MW: $559 \text{ m}^3/\text{s}$) überströmt (Spott & Guhr 1996). Somit eignen sich für die Zielstellung nur solche Durchflußsituationen, bei denen die Bühnenfelder als solche sichtbar sind. In den Abbildungen 2a,b bis 4a,b sind die Durchflüsse für die Jahre 2000, 2001 bzw. 2002 im Vergleich zu den jeweiligen Schwebstoffkonzentrationen für Magdeburg dargestellt.

Die Durchflusssituationen waren in den Untersuchungsjahren sehr unterschiedlich. Im Jahre 2000 blieb ab etwa Ende Mai die Wasserführung nahezu gleichbleibend knapp über mittlerem Niedrigwasser ($MNQ = 231 \text{ m}^3/\text{s}$). Diese Situation setzte sich bis Anfang 2001 fort. Dadurch konnten bei den Untersuchungen in diesem Zeitraum verschiedene jahreszeitliche Aspekte berücksichtigt werden. Der Durchfluss der Elbe 2001 schwankte während des Jahresverlaufes erheblich, so dass bei der Zuordnung der Messwerte zu einer bestimmten hydrologischen Situation durch deren unterschiedliche Vorgeschichte erschwert wurde. Im Jahre 2002 trat im August die Katastrophenflut auf. Darüberhinaus war das erste und letzte Quartal durch Hochwässer gekennzeichnet, so dass während großer Zeiträume die Bühnen überströmt waren und Messungen unterbleiben mussten.

Die Schwebstoffgehalte unterliegen einer jahreszeitlichen Dynamik, wie insbesondere Abb. 5 zu entnehmen ist. Die höchsten Konzentrationen treten in der Vegetationsperiode auf, was mit den Phytoplanktongehalten konform geht. Gegen Jahresende gingen die Gehalte auf 3 - 4 mg/l TM zurück (Die Schwebstoffbestimmung wurde stets mit 5l Wasser durch Filtration über einen Kaffeefilter vorgenommen). Bei der Wasserführung von nahe MNQ wirkt das Bühnenfeld, wenn äußere Störungen (Schifffahrt; Starkregenereignisse) ausgeschlossen sind, als Senke für partikuläres Material. Die Abnahme betrug 24 %. Im Jahre 2001 erreichte die durchschnittliche Abnahme 13 %, wenn neben der Schifffahrt auch 2 Situationen unberücksichtigt bleiben, bei denen ein stark erhöhter Schwebstoffgehalt im Bühnenfeld gegenüber dem Hauptstrom beobachtet wurde, der auf einen Wasserstandsanstieg zurückgeführt werden kann. Aus den wenigen Messungen 2002 lässt sich eine Schwebstoffreduzierung von 11 % im Bühnenfeld ableiten. Das häufige Auf und Ab des Durchflusses in den Jahren 2001 und 2002 führte zu einer Ausräumung der mit remobilisierbaren Sedimenten gefüllten Stillbereiche, gefolgt von einem Zeitraum, in dem sich dort absetzbares Material langsam wieder ansammeln konnte. Um der Frage nachzugehen, ob sich der Schwebstoffgehalt am Bühnen-

feldauslauf von dem im Strom unterscheidet, wurde zunächst der Glührückstand der Schwebstoffe ermittelt und verglichen (Abb. 5).

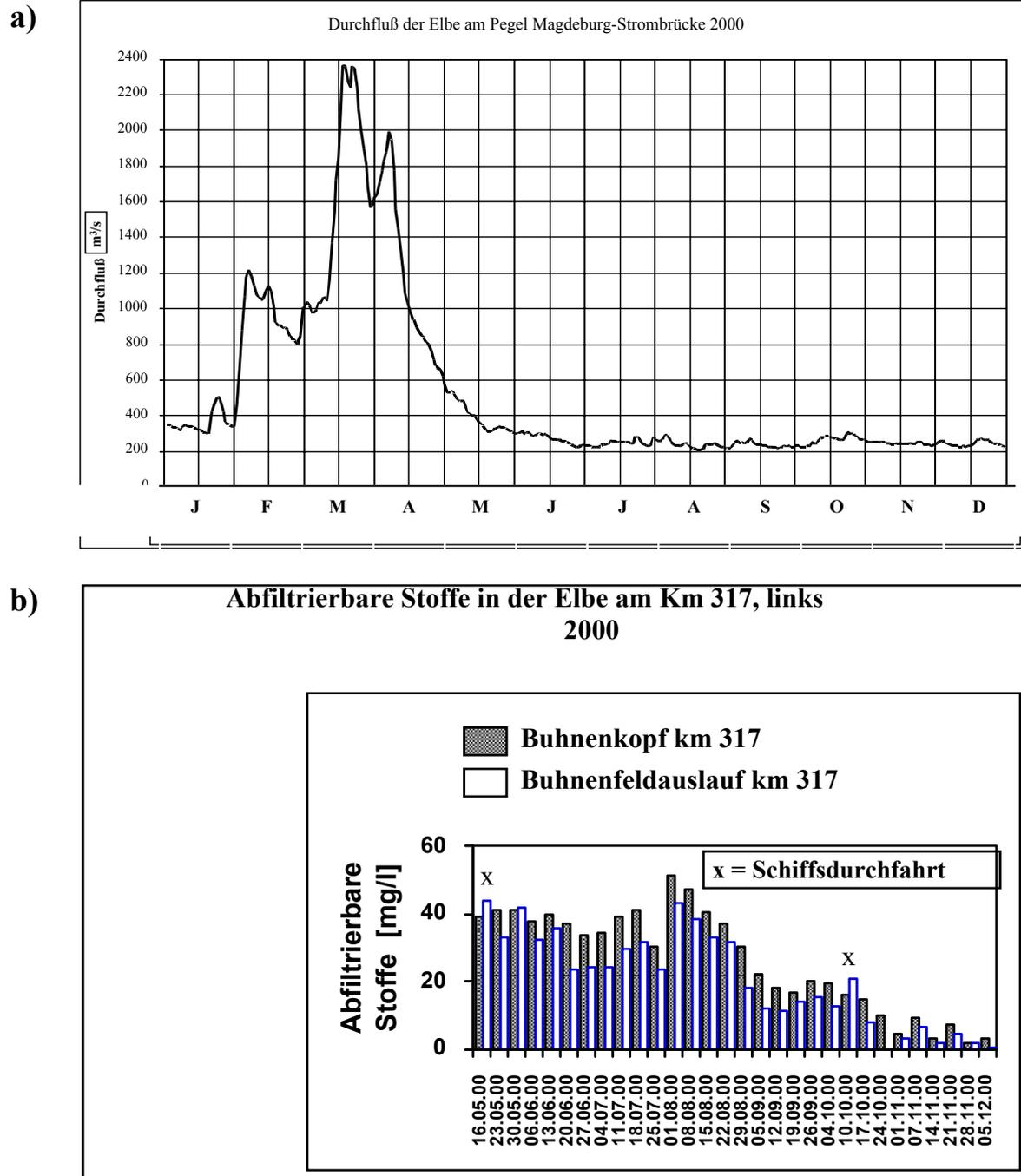
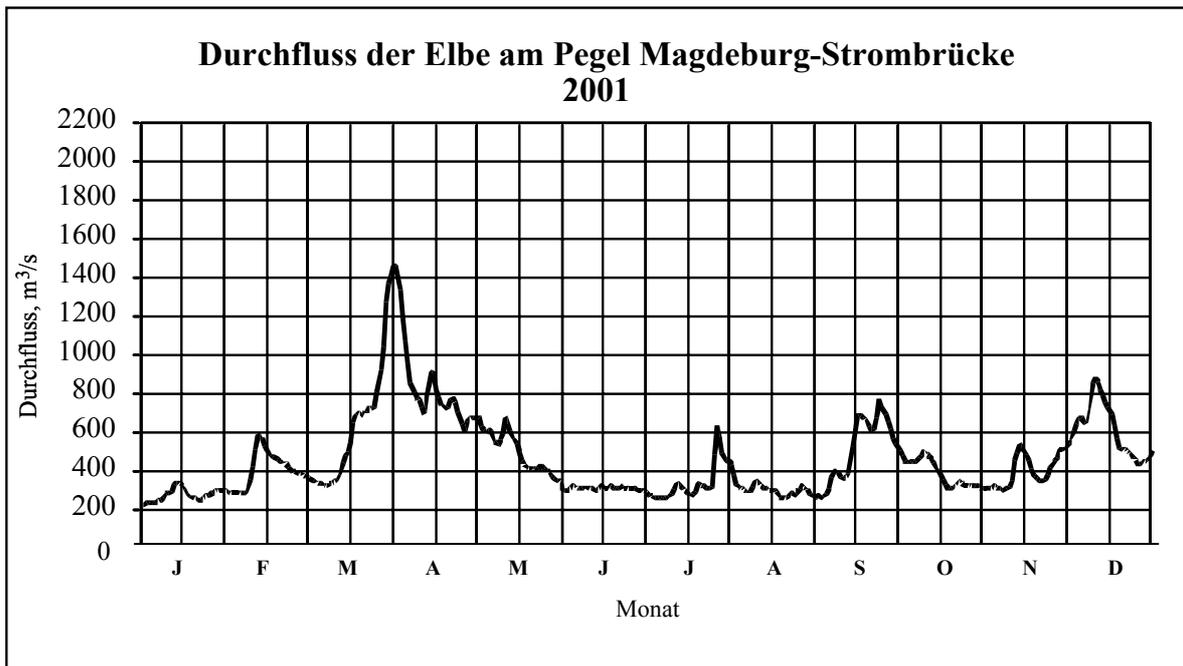


Abb. 2a,b: Durchflüsse am Pegel Magdeburg Strombrücke für das Jahr 2000 (2a) und Vergleich der Schwebstoffkonzentrationen Elbe – Bühnenfeldauslauf am Fluss – Km 317, links (2b)

Aus den Ergebnissen von 2000 wird deutlich, dass der Glührückstand im Hauptstrom höher ist als am Bühnenfeldauslauf, d.h., die schwereren mineralischen Komponenten sinken aus. Der Glührückstand verringerte sich in den aus dem Bühnenfeld austretenden Schwebstoffen um durchschnittlich 6,5 %. Ein ähnliches Bild ergab sich auch für die Jahre 2001 und 2002, wenn von den oben erwähnten Störungen abgesehen wird.

a)



b)

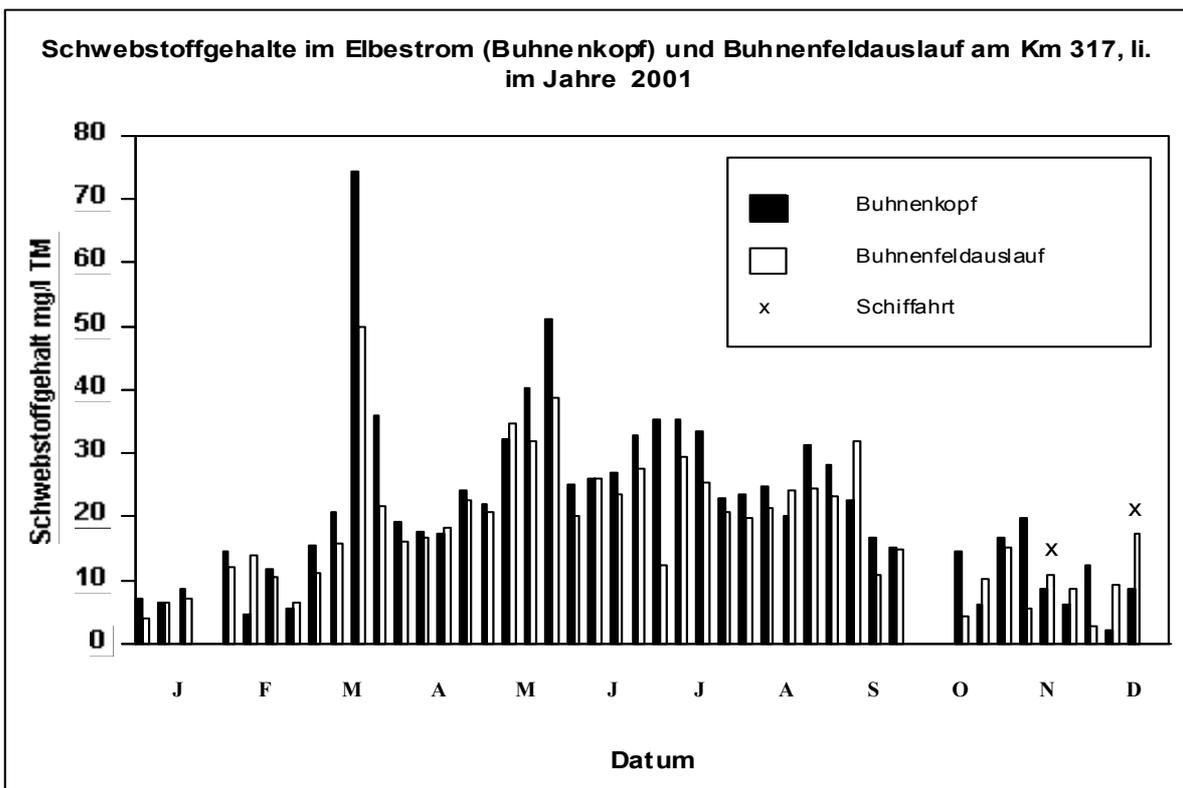


Abb. 3a,b : Durchflüsse am Pegel Magdeburg Strombrücke für das Jahr 2001 (3a) und Vergleich der Schwebstoffkonzentrationen Elbe – Bühnenfeldauslauf am Fluss – Km 317, links (3b)

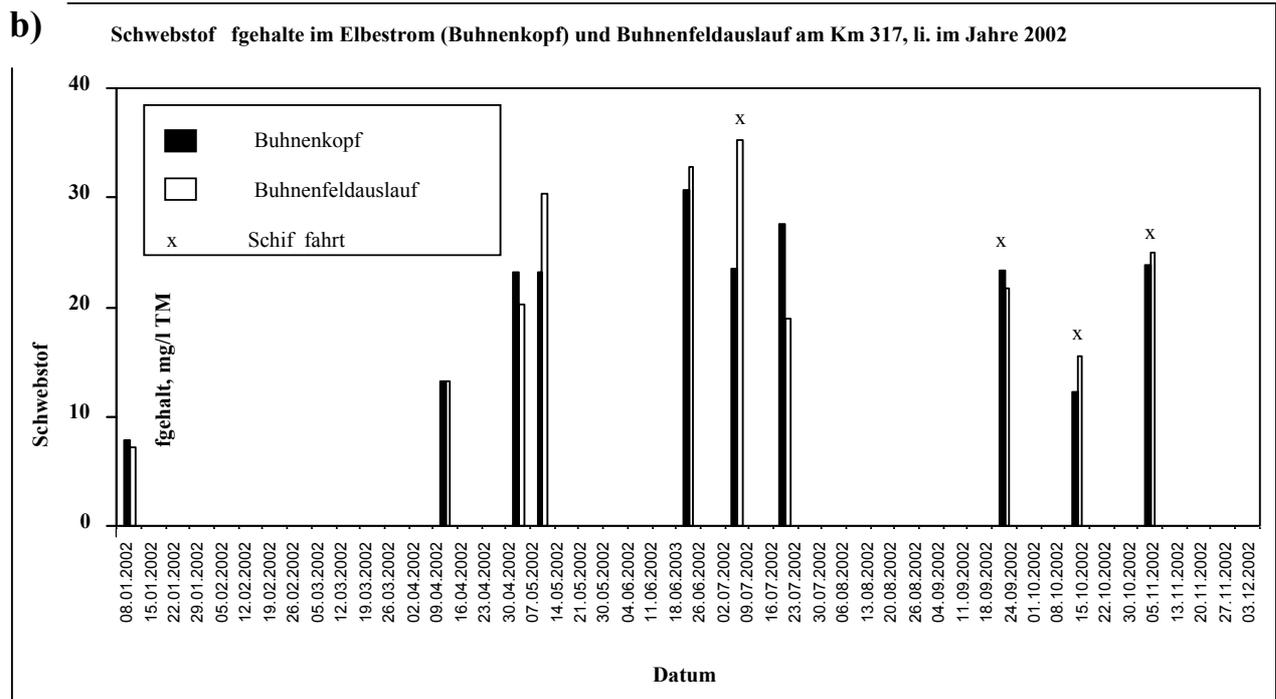
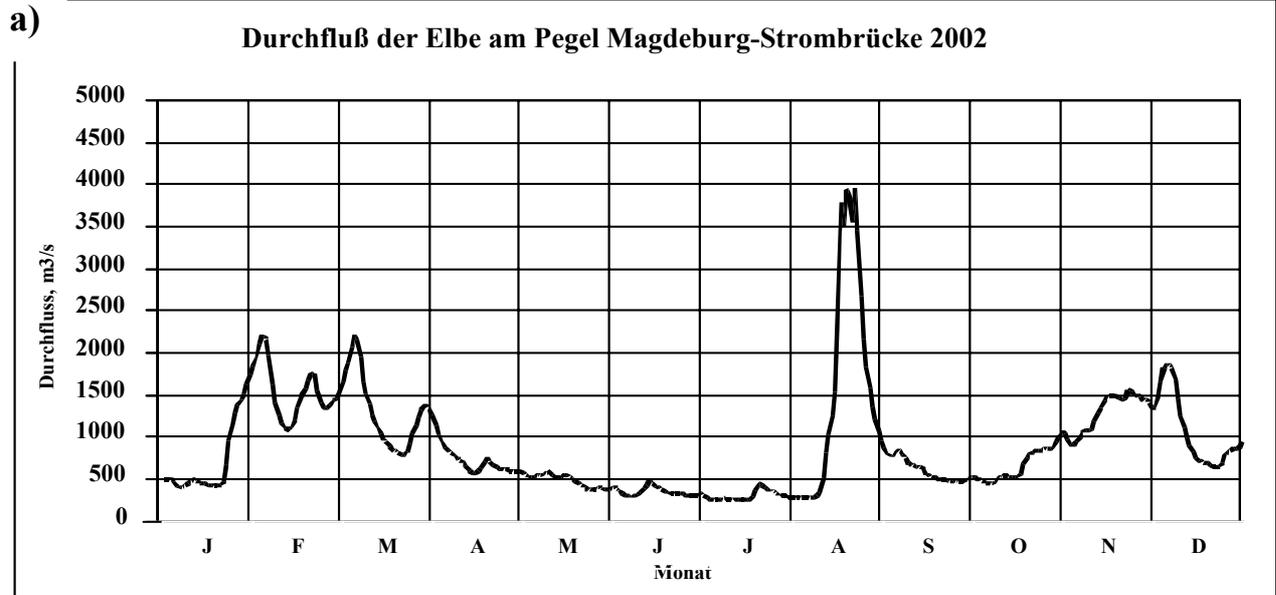
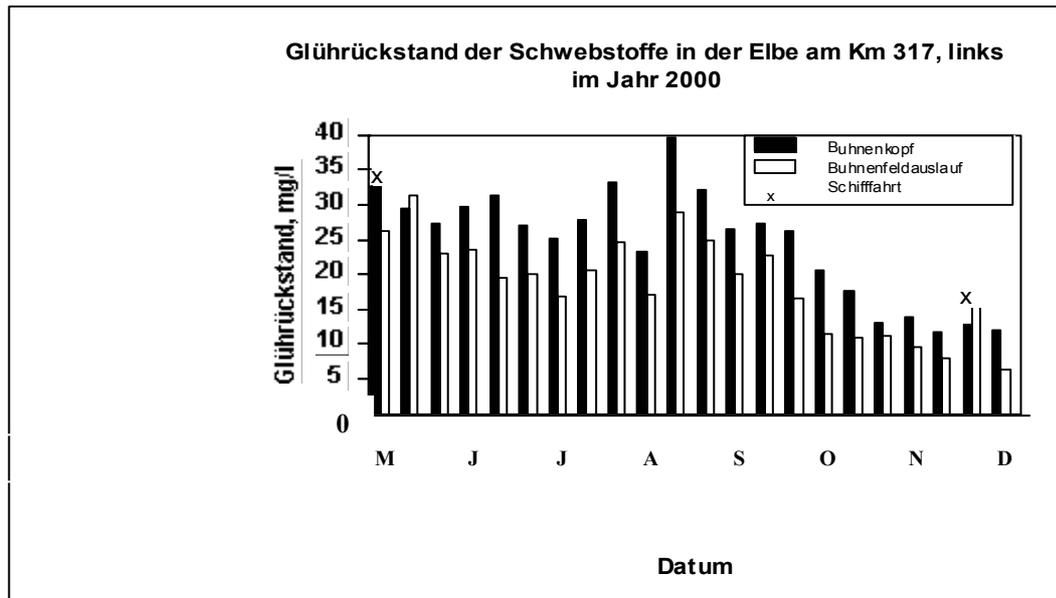


Abb. 4a, b : Durchflüsse am Pegel Magdeburg Strombrücke für das Jahr 2002 (4a) und Vergleich der Schwebstoffkonzentrationen Elbe – Bühnenfeldauslauf am Fluss – Km 317, links (4b)

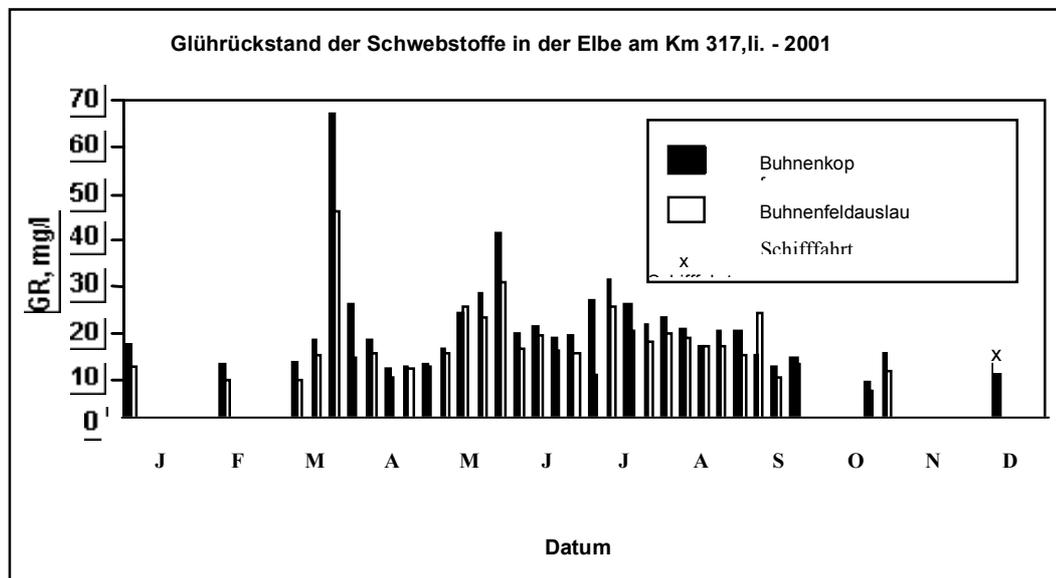
2.2.2 Dynamik partikulär gebundener Stoffe

In den Abbildungen 6 bis 9 werden die Analysenergebnisse für die partikulär gebundenen Komponenten organischer Kohlenstoff (POC), Phosphat (PP), Stickstoff (PN) sowie Gesamtsilicat (TSi) wiedergegeben.

a)



b)



c)

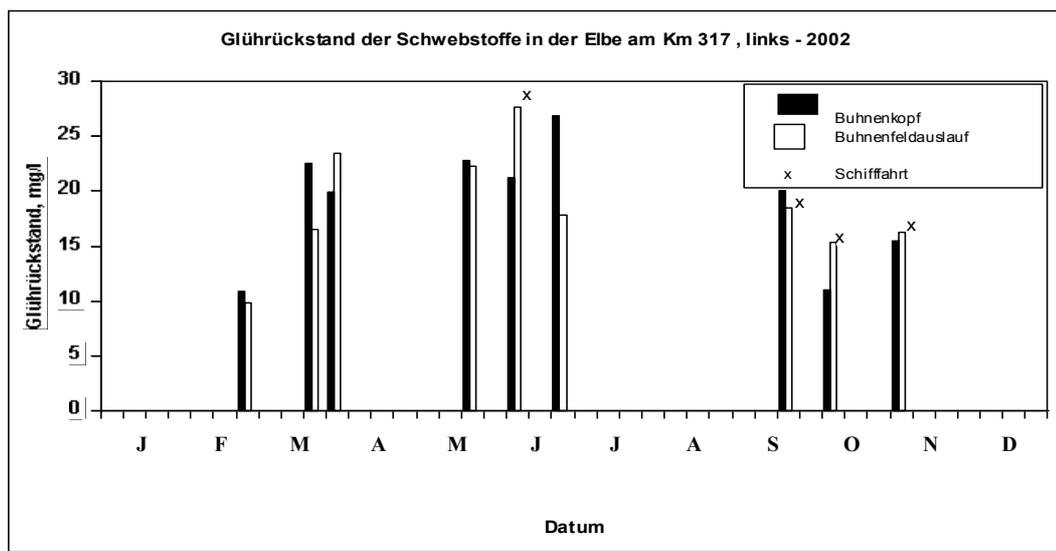
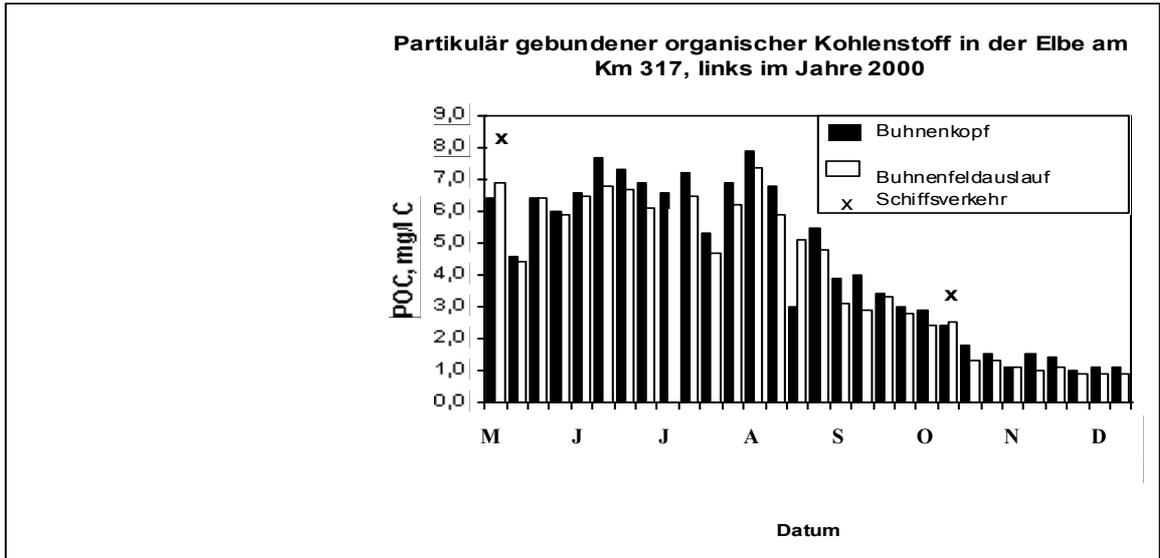
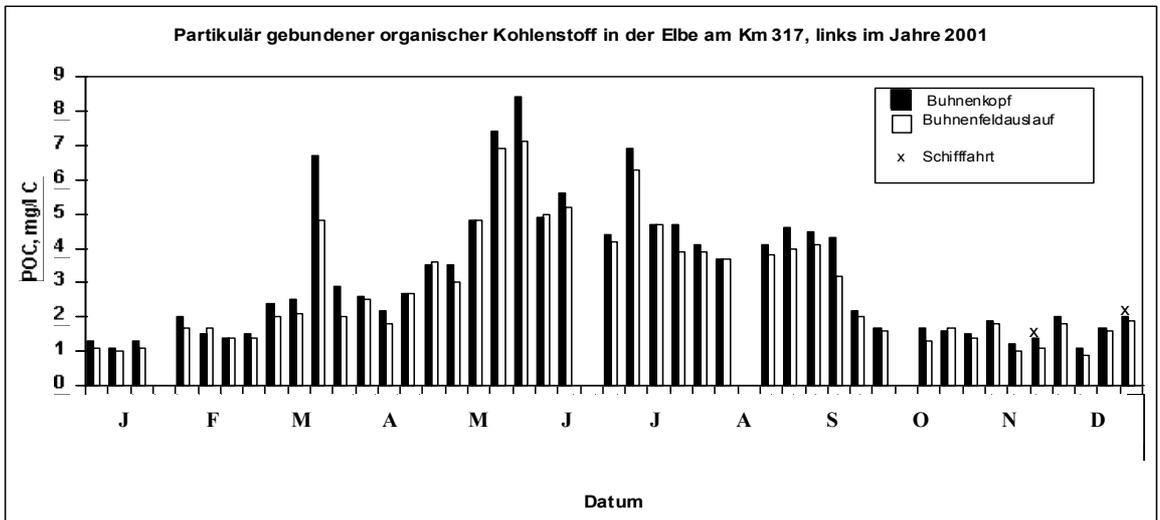


Abb. 5 a, b, c : Glührückstand der Schwebstoffe der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss – Km 317. links für 2000 (Abb. 5a). 2001 (Abb. 5b) und 2002

a)



b)



c)

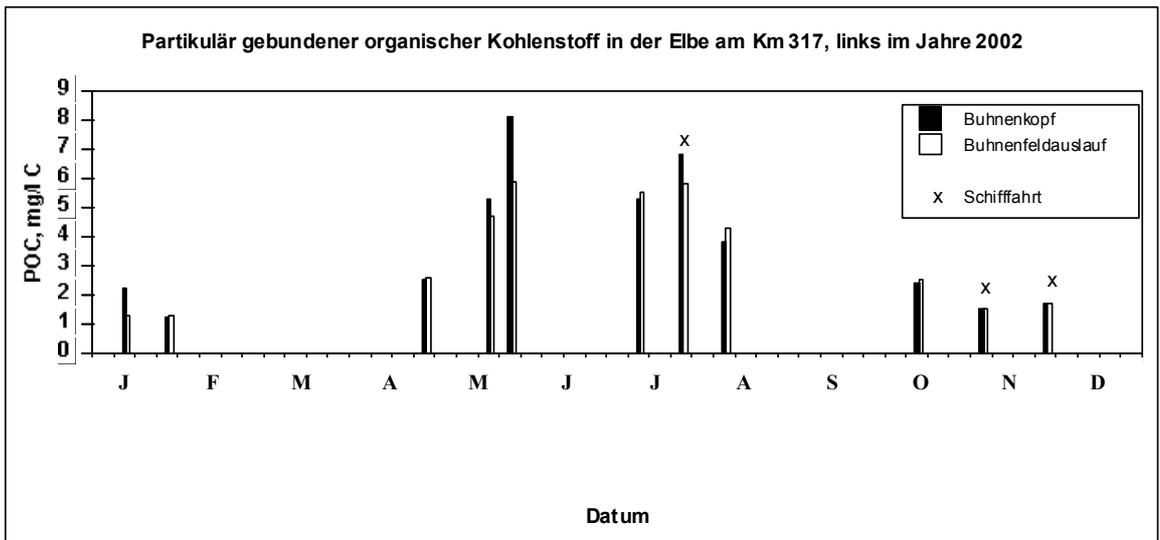
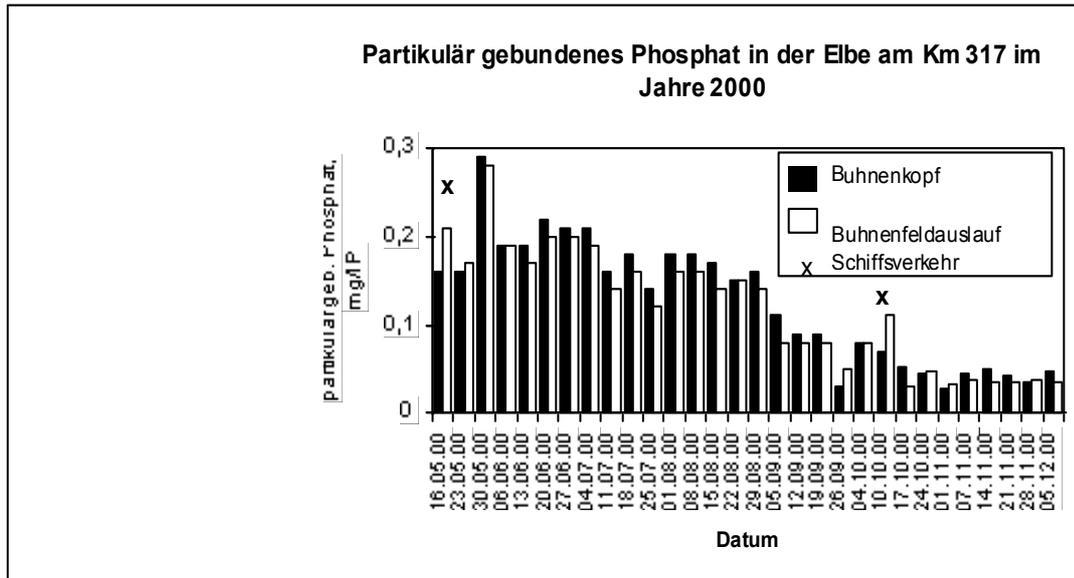
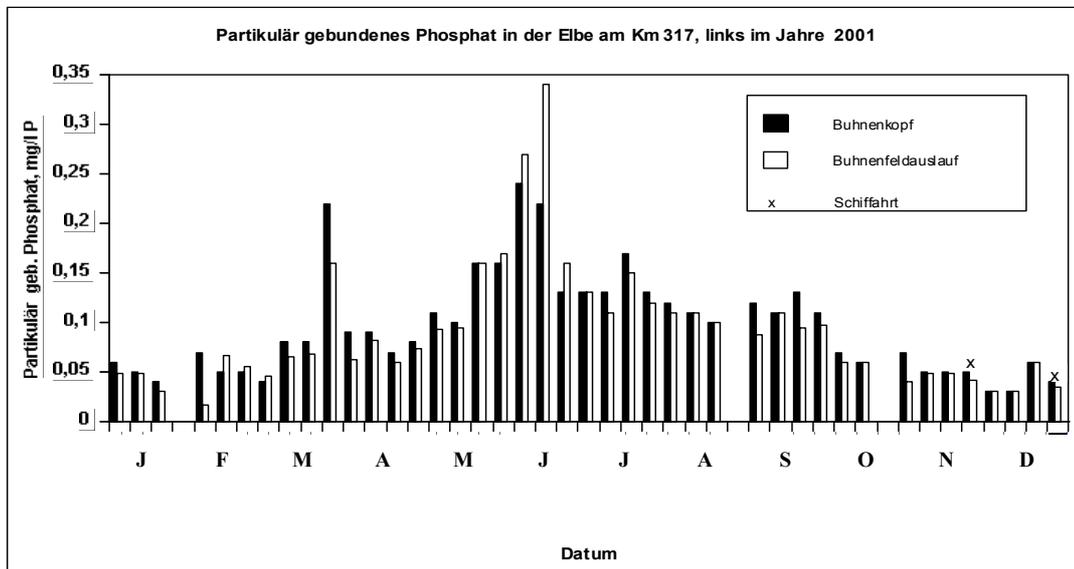


Abb. 6 a, b, c: Partikulär gebundener Kohlenstoff (POC) der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss – Km 317, links für 2000 (Abb. 6a), 2001 (Abb. 6b) und 2002 (Abb. 6c)

a)



b)



c)

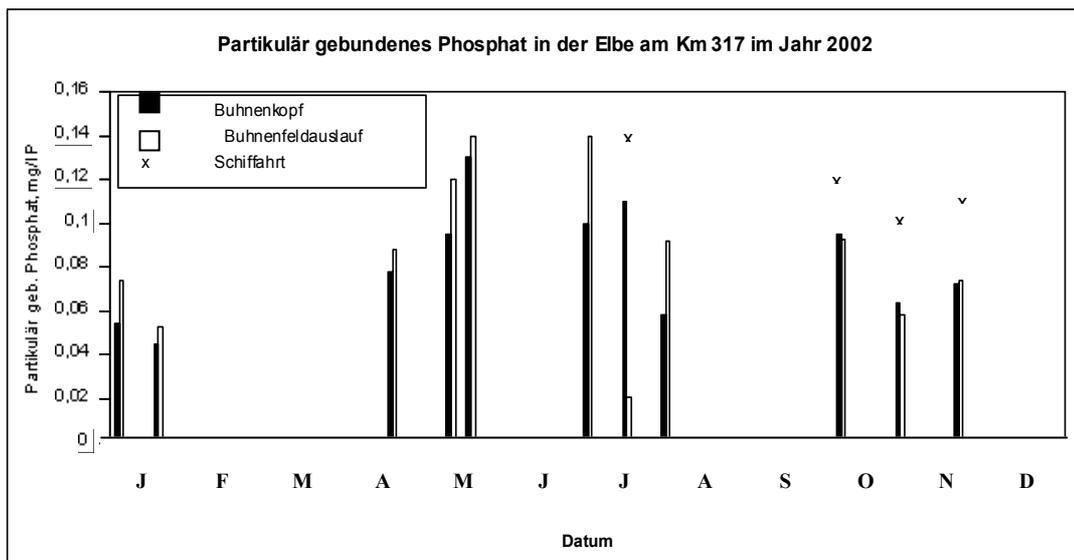
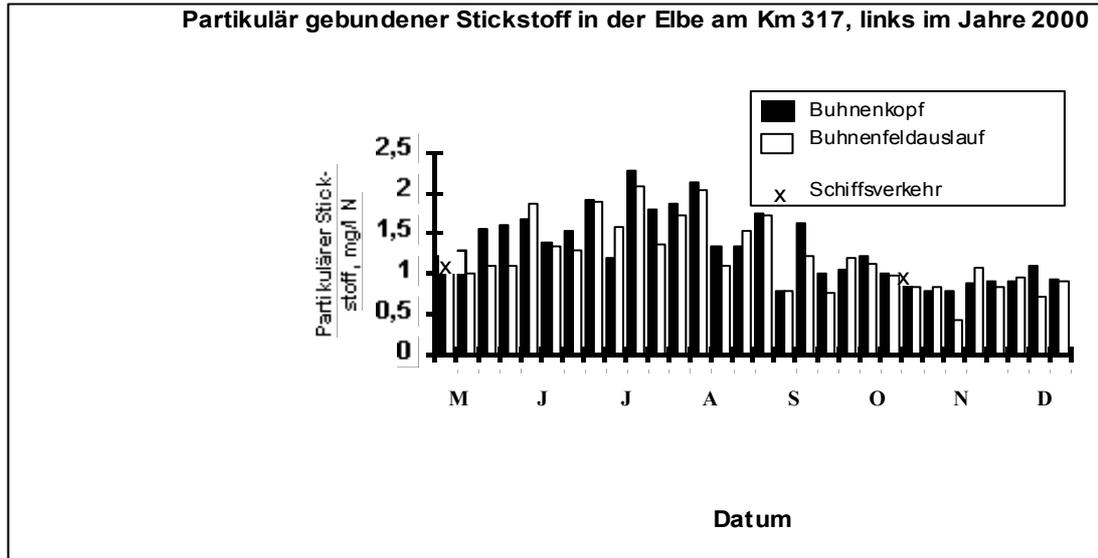
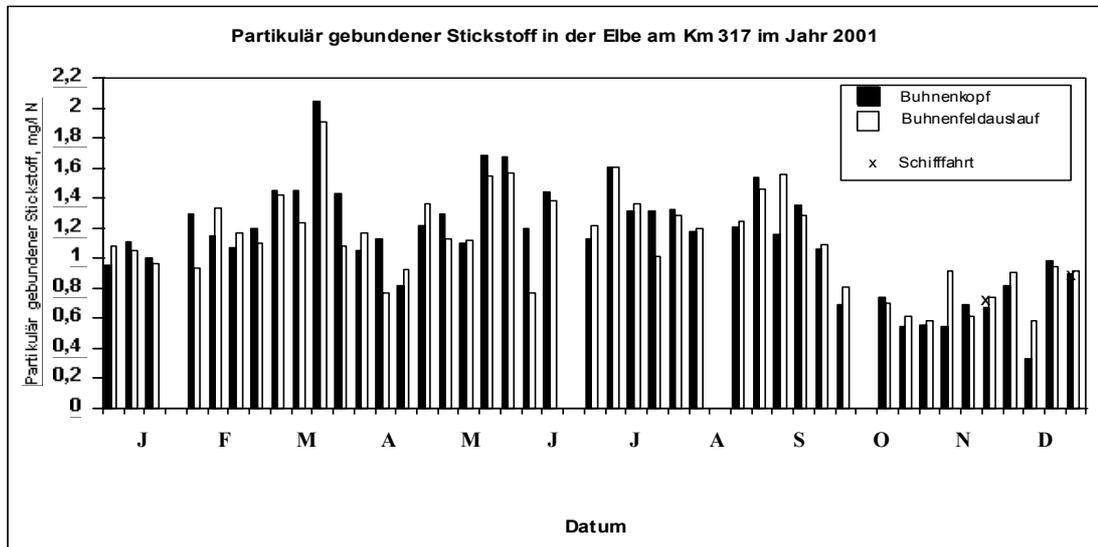


Abb. 7: Partikulär gebundenes Phosphat (PP) der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss – Km 317, links für 2000 (Abb. 7a), 2001 (Abb. 7b) und 2002 (Abb. 7c)

a)



b)



c)

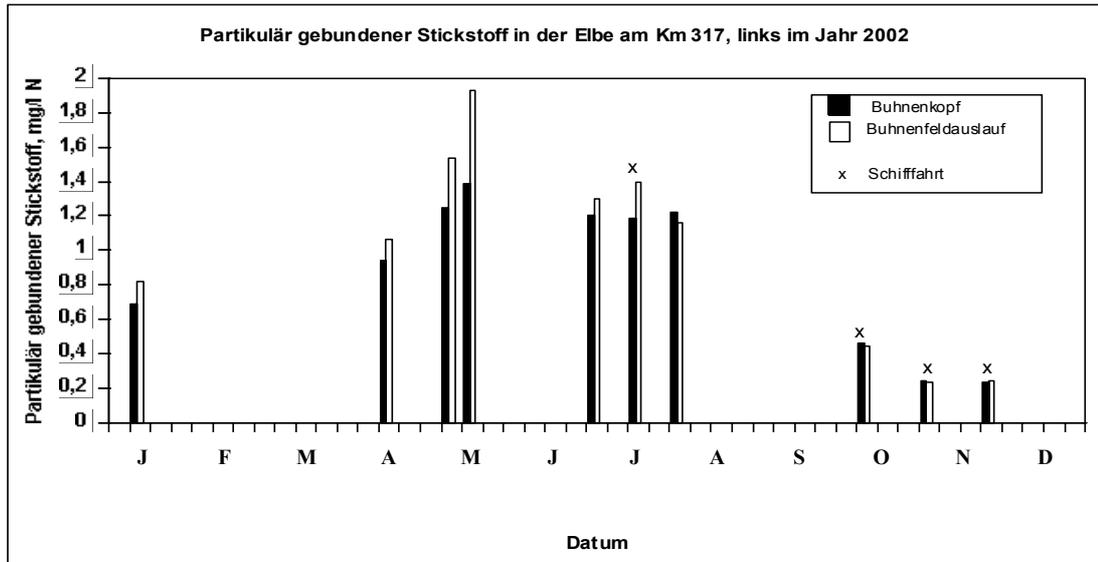


Abb. 8: Partikulär gebundener Stickstoff der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss-KM 317, links für 2000 (Abb. 8a), 2001 (Abb. 8b) und 2002 (Abb. 8c)

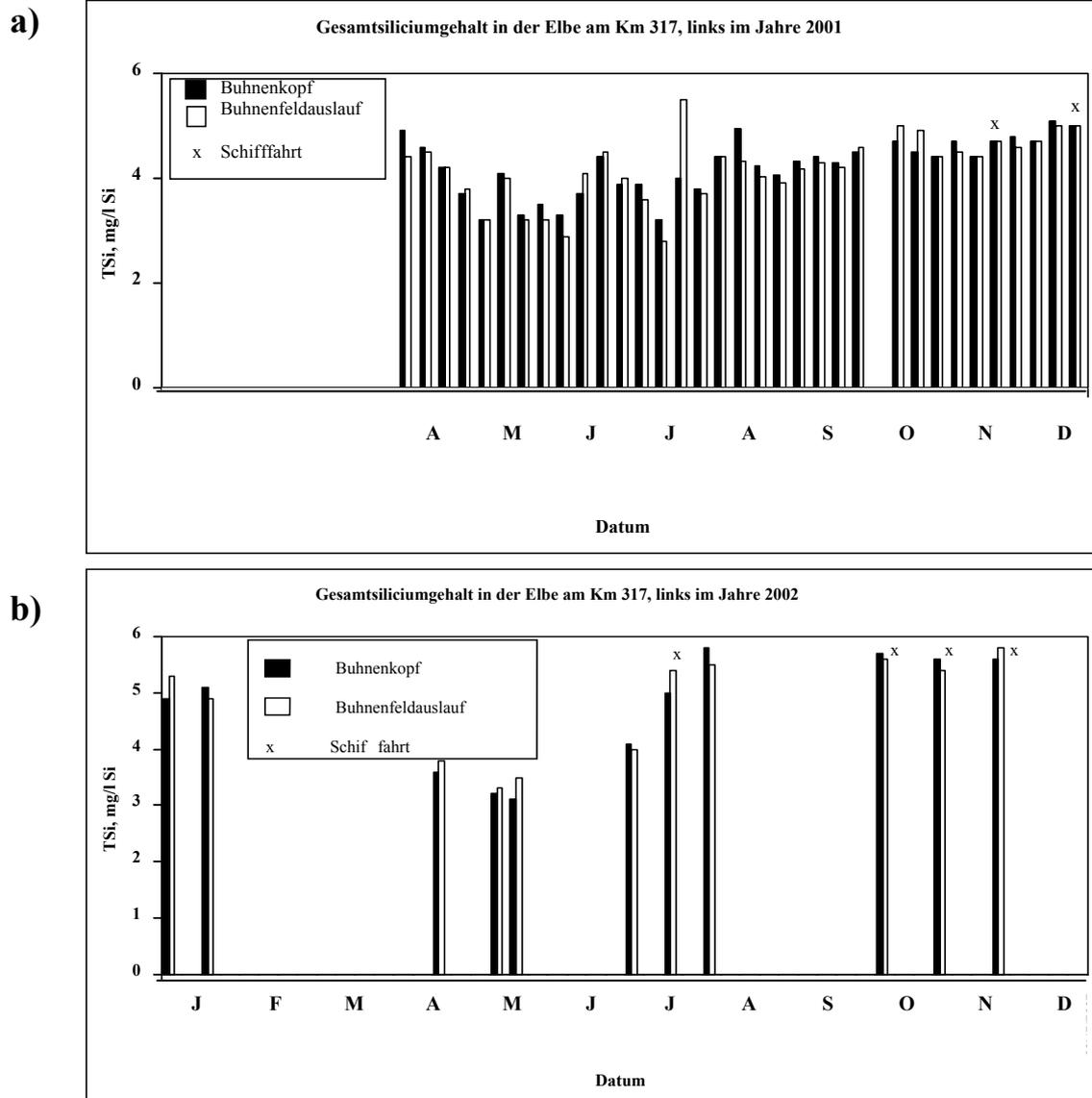


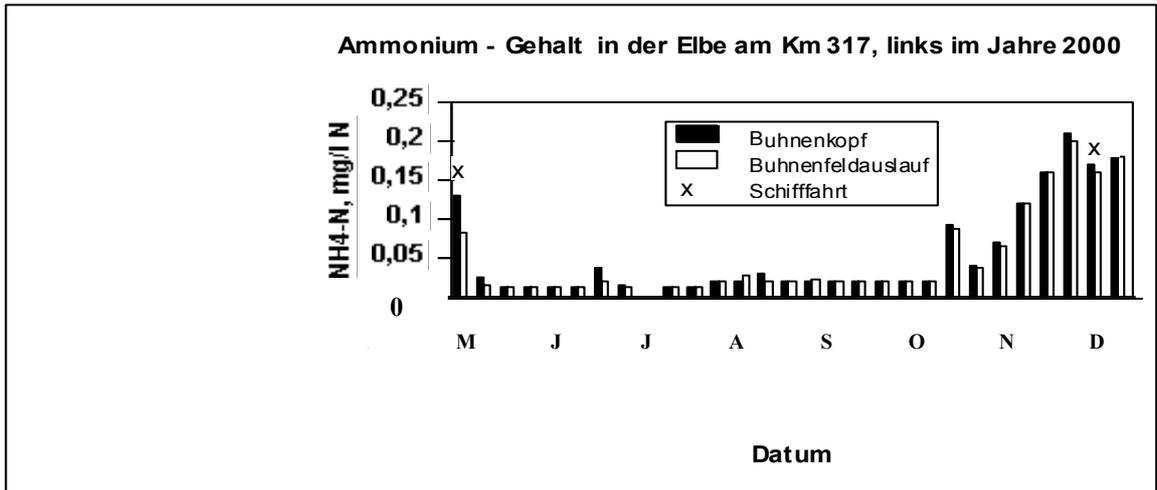
Abb. 9 a, b: Gesamtsilicat (TSi) der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss-KM 317, links im Jahre 2001 (Abb. 9a) und 2002 (Abb. 9b)

Das Verhalten der partikulär gebundenen Nährstoffe bei der Bühnenfeldpassage geht weitgehend konform mit dem der Schwebstoff-Trockenmasse. Legt man insbesondere die Messungen während des Jahres 2000 zugrunde, so ist die Konzentrationsverringerung beim POC, PP und PN in etwas abnehmender Deutlichkeit ausgeprägt. Beim Gesamtsilicat, für das erst ab 2001 Messwerte zur Verfügung standen, deutet sich ein analoges Verhalten an. Allerdings wird dieses Bild infolge der hydrologischen Störungen durch eine Reihe von Analysenpaaren mit umgekehrten Konzentrationsverhältnissen beeinträchtigt.

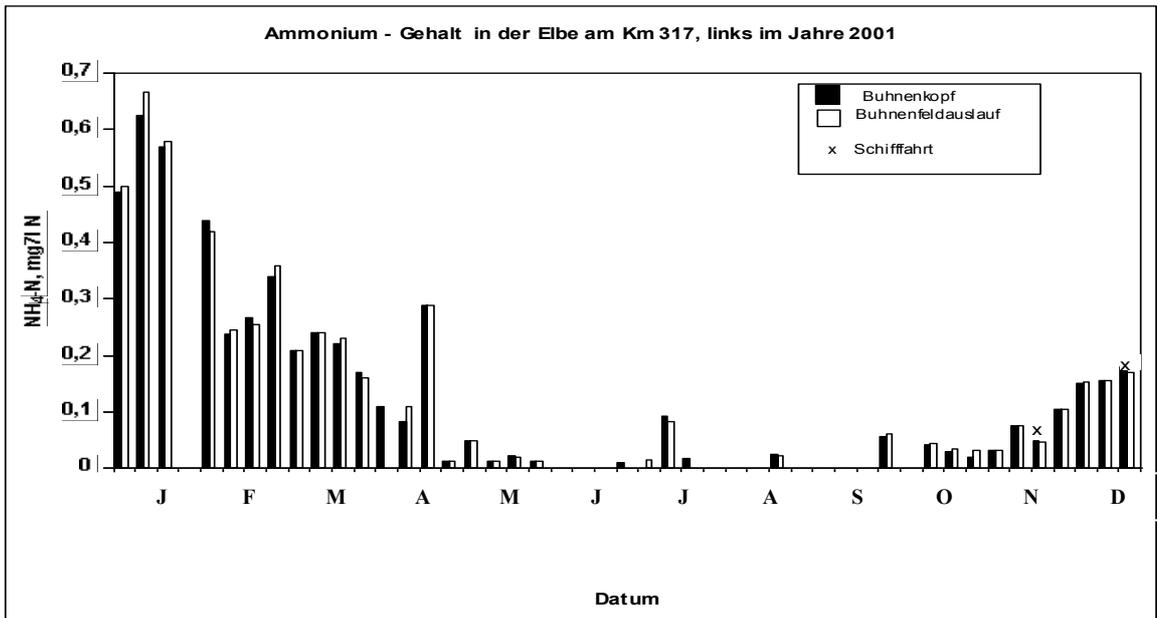
2.2.3 Dynamik gelöster Stoffe

Für die gelöst vorliegenden Nährstoffe sind in in der Abb. 10 der Ammoniumgehalt und in Abb. 11 die Konzentration des gelösten Silikates dargestellt. Wie aus den Darstellungen ersichtlich lassen sich keine Unterschiede, die in eine bestimmte Richtung dominieren, ausmachen. Das Gleiche gilt auch für die gelösten Phosphatkonzentrationen und die anderen Stickstoff-Komponenten.

a)



b)



c)

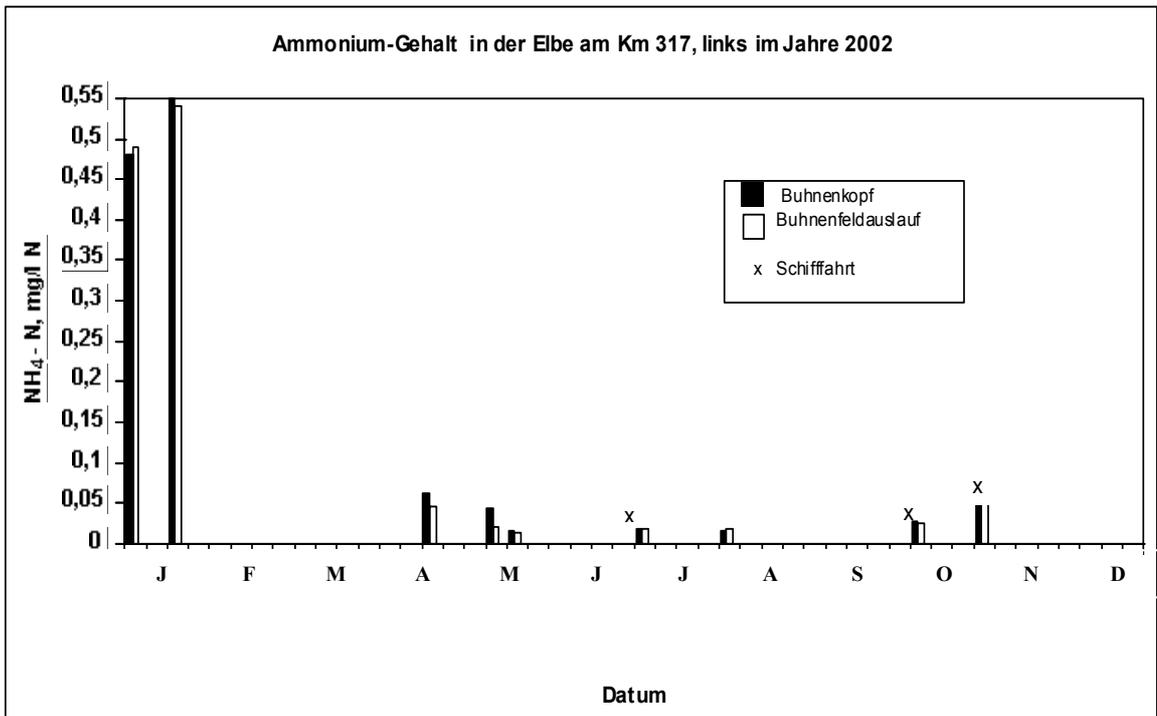
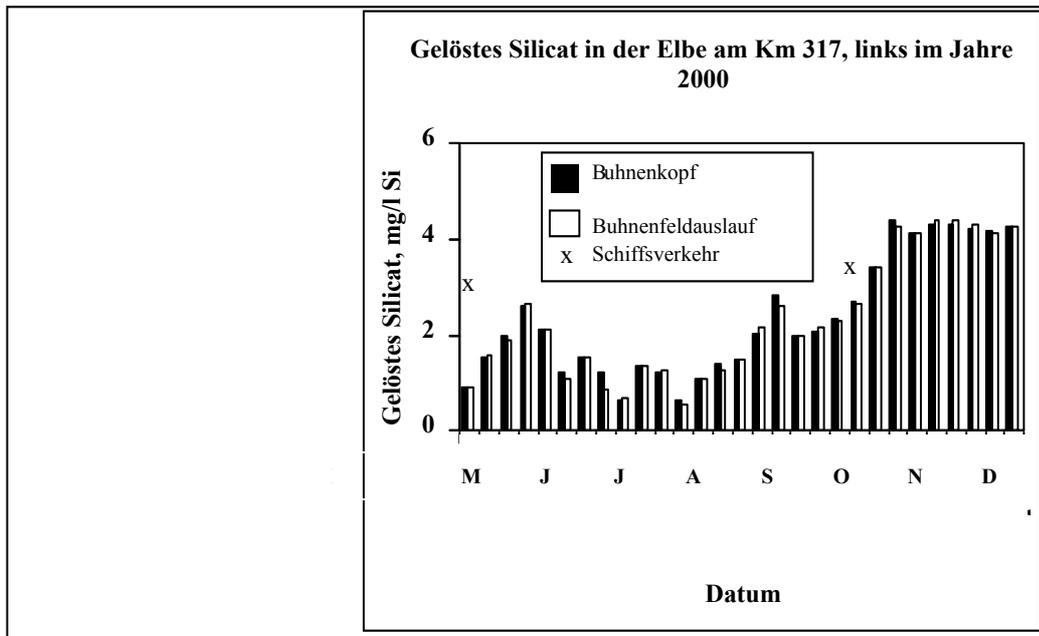
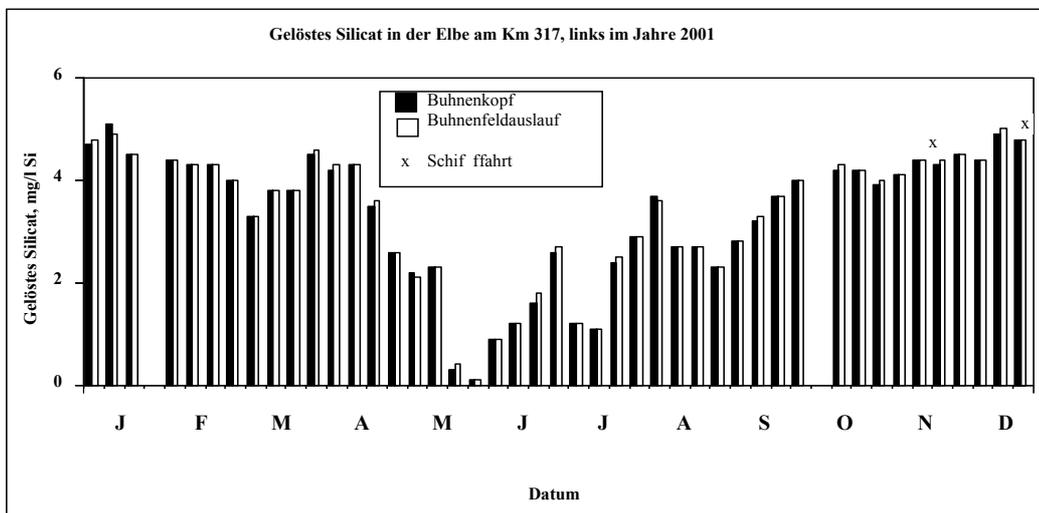


Abb. 10a, b, c: Ammoniumgehalt der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss-KM 317, links im Jahre 2000 (Abb. 10a), für 2001 (Abb. 10b) und 2002 (Abb. 10c)

a)



b)



c)

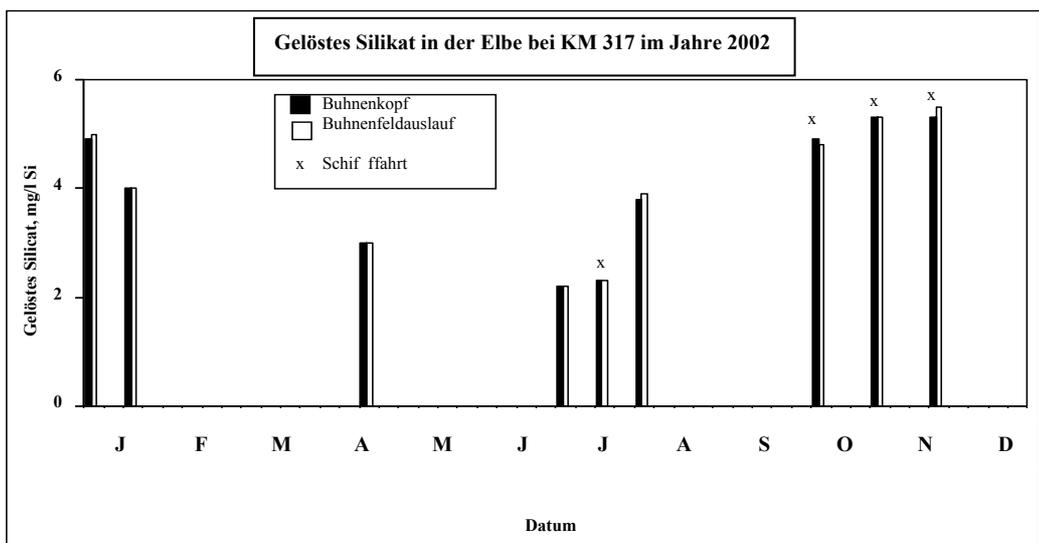


Abb. 11 a, b, c: Konzentration an gelöstem Silikat der Elbe im Hauptstrom und im Bühnenfeldauslauf am Fluss-KM 317 links im Jahre 2000 (Abb. 11a), für 2001 (Abb. 11b) und 2002 (Abb. 11c)

In Abb.12 sind die Chlorophylla - Gehalte in der Elbe und im Bühnenfeldauslauf dargestellt. Es konnte – wie eigentlich erwartet - keine generelle Erhöhung des Chlorophyll_a – Gehaltes im Bühnenfeld nachgewiesen werden. Eine höhere Phytoplanktonbiomasse hätte sich auch in einer Abnahme des gelösten Nährstoffgehaltes manifestieren müssen. Offensichtlich ist die Aufenthaltszeit des Wasserkörpers zu gering, um hierbei zu nasschemisch messbaren Veränderungen zu gelangen.

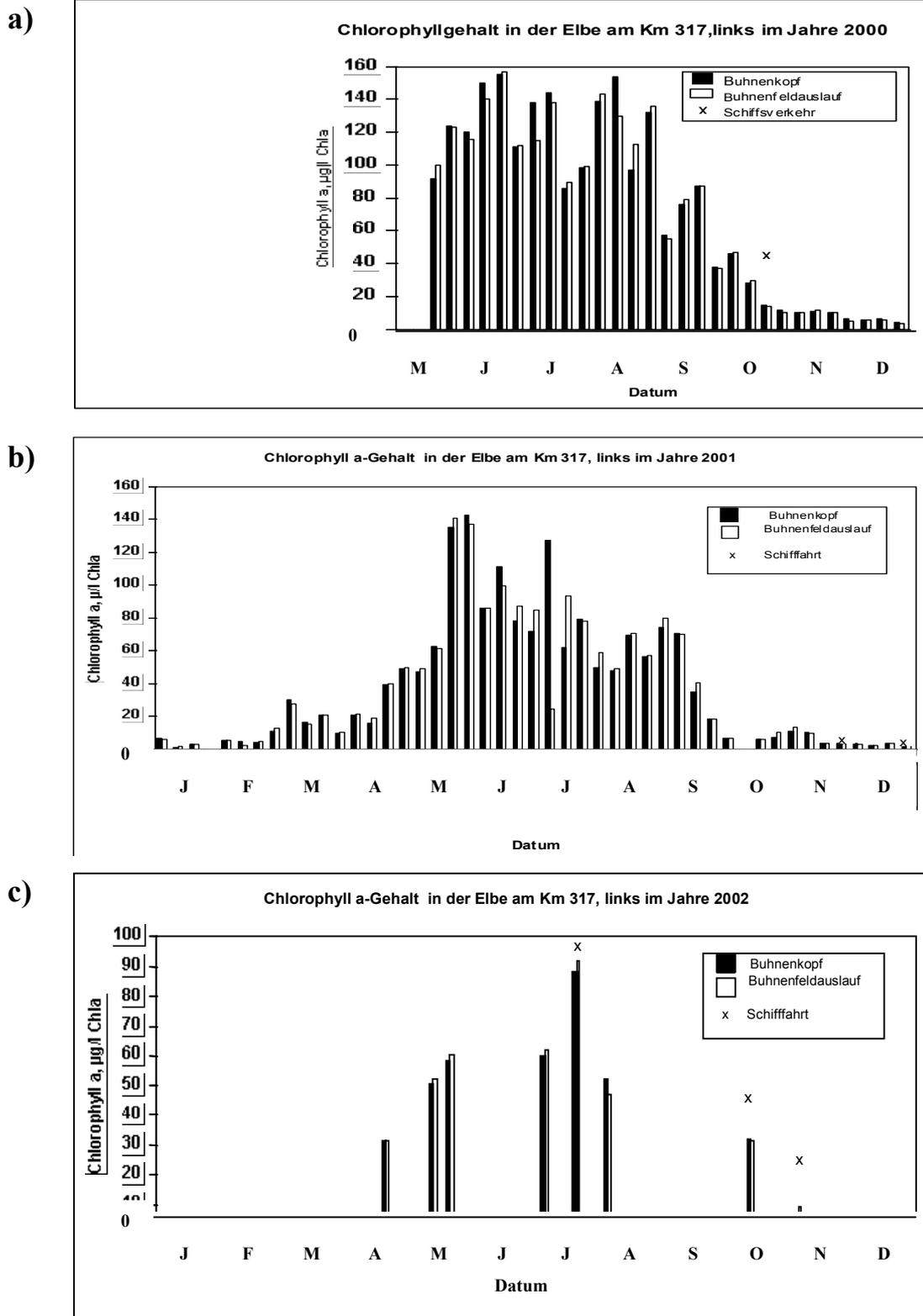


Abb. 12 a, b, c: Konzentration des Chla am Elbe-Km 317 links, Hauptstrom und Bühnenfeldauslauf; Jahr 2000 (Abb. 12a), für 2001 (Abb. 12b) und 2002 (Abb. 12c)

In Abb. 13 ist die Sauerstoffsättigungskonzentration wiedergegeben. Bei Gewässertemperaturen über 16° C nimmt die Sauerstoffsättigung im Buhnenfeld zu, bei Temperaturen darunter bleibt die Sättigung fast unverändert. 2000 betrug die Zunahme der Sättigung ca. 5 %. Im Buhnenfeld ist die Aufenthaltszeit des Wasserkörpers länger als im Hauptstrom und die Fließgeschwindigkeit geringer, so dass sich eine Übersättigung infolge der

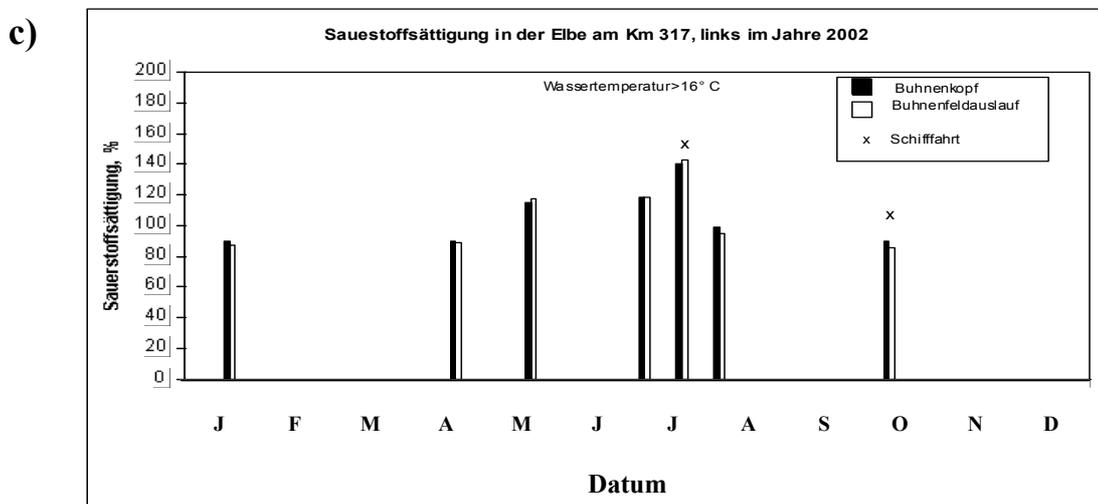
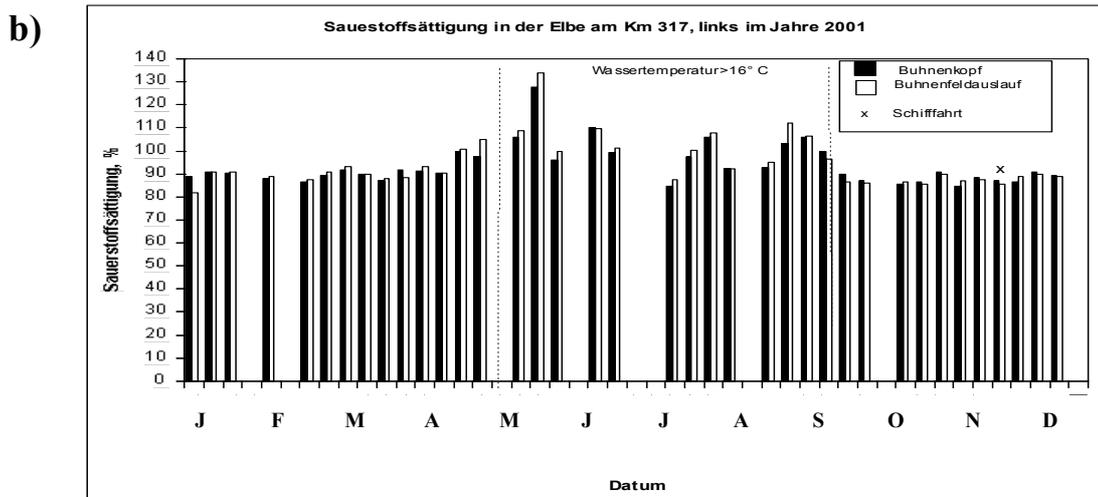
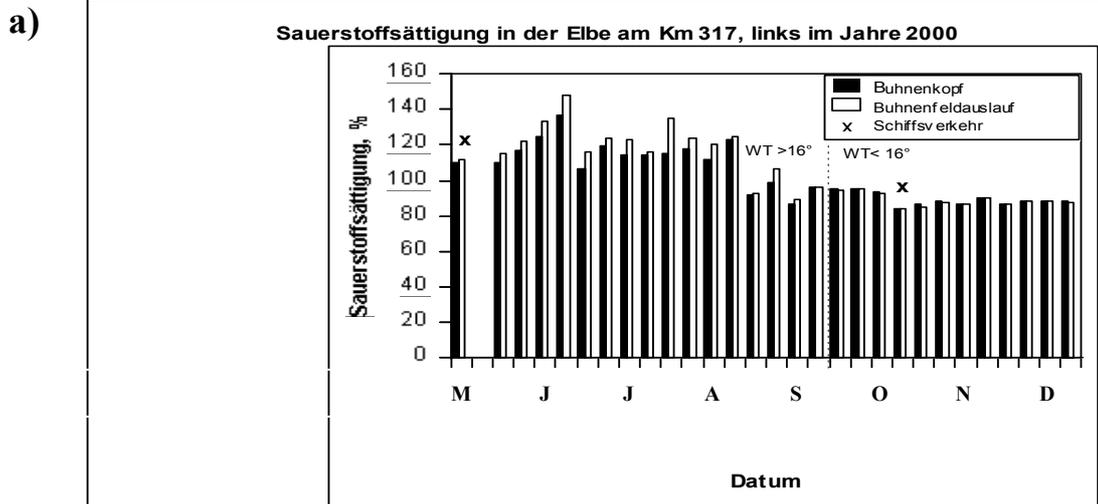


Abb. 13 a, b, c: Sauerstoffsättigung der Elbe im Hauptstrom und im Buhnenfeldauslauf am Fluss-Km 317, links. Jahr 2000 (Abb. 13a), für 2001 (Abb. 13b) und 2002 (Abb. 13c)

Assimilation der Algen aufbauen und halten kann, wobei auch Phytobenthos, das nicht zum Untersuchungsprogramm gehörte, beteiligt sein dürfte. Inwieweit die Wassertemperatur direkt oder die hier nicht gemessene Globalstrahlung bzw. beide Faktoren zusammen für die Grenze von 16° C verantwortlich sind, kann hier nicht geklärt werden. Mit dem Sauerstoffproduktionspotenzial unter Laborbedingungen, das im ersten und zweiten Jahr regelmäßig gemessen wurde, konnte keine Aktivitätserhöhung der Algen im Bühnenfeld nachgewiesen werden.

2.2.4 Chemische Konzentrationsverhältnisse und Kalkulation des Stoffrückhalts im Bühnenfeld

Die Kalkulationen zur Veränderung diverser Stoffkonzentrationen durch die Passage wurde anhand folgender Berechnungen vorgenommen. Ergebnisse hierzu finden sich auch in ausführlicher Form in Ockenfeld & Guhr 2003.

$$\frac{dX}{dt} = 43,2 \times (X_{bf} - X_{hs}) \quad [\text{Gl. 1}]$$

dX/dt flächenspezifische Änderungsrate eines Wasserinhaltsstoffes pro Zeit ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 43,2 Umrechnungsfaktor; ergibt sich aus dem 24fachen täglichen Austausch zwischen Bühnenfeldwasser und Hauptstromwasser, multipliziert mit 2 (Angleich der Beprobungszeitdifferenz [0,5 h] zwischen Ein- und Auslauf an die mittlere Verweilzeit [1 h] im Bühnenfeld), multipliziert mit dem mittleren Wasservolumen des Bühnenfeldes (Länge x Breite x Tiefe: 85m x 65m x 0.9m), dividiert durch die Wasseroberfläche des Bühnenfeldes (Bedingungen von Mittelwasserführung: MQ = 558 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

X_{bf} Konzentration eines Wasserinhaltsstoffes am Bühnenfeldauslauf (mg l^{-1})

X_{hs} Konzentration eines Wasserinhaltsstoffes am Bühnenfeldeinlauf (mg l^{-1})

Zur Einstufung der Ergebnisse sollen zunächst noch einmal kurz die wesentlichen hydrologische Bedingungen sowie bedeutsame Begleitgrößen dargestellt werden.

Abflusshöhe (Q), Wassertemperatur (T) und Chlorophylla-Konzentrationen (Chla) in der Elbe bei DFK-Km 317 (Hauptstrombereich) zeigten typische Verteilungsmuster für die Elbe in 2000 und 2001. (Abb. 14a). Hochwässer im Frühjahr wurden von geringer Wasserführung während der Sommer- Herbst- und Winterphasen abgelöst. Die Algen-Biomasse, ausgedrückt als Chla, war an die Sukzession der Wassertemperatur und deren Abhängigkeit vom Jahresgang der Globalstrahlung (ohne Abb.) gebunden. Während des Gros dieser Untersuchungsperiode waren die Durchflüsse geringer oder nahe MQ (MQ Magdeburg = 558 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). Für diese Situationen ($Q < 600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) zeigt Abb. 14b die Änderung des Gehaltes an suspendiertem organischen Material (SPM) zwischen Einlauf und Auslauf des Bühnenfeldes (Zeitversatz: 0,5 h). Es wird gezeigt, dass, mit wenigen Ausnahmen, der Gehalt von SPM während der Passage durch das Bühnenfeld sinkt. Diese Abnahme beläuft sich in mehr als 50% der Fälle auf Werte zwischen 10 und 30% der Konzentrationen im Zustrombereich. Das Bühnenfeld wirkt unter o.g. Durchflussbedingungen folglich überwiegend als Senke für nicht gelöste

Wasserinhaltsstoffe. Eine direkte Abhängigkeit dieses Phänomens von der Wasser-führung oder der Wassertemperatur konnte jedoch nicht gefunden werden. Zwar konnten Unterschiede zwischen Sommer- und Winterzeit detektiert werden, die Summe der Datenpaare für den Winter war jedoch für eine gesicherte Aussage zu gering. Die starke Abnahme des SPM wurde statistisch für die detektierten Teilfraktionen des SPM geprüft (Korrelationsanalyse). Tabelle 1 gibt eine Übersicht über jene Variablen, die an das Verhalten des SPM geknüpft waren ($r^2 > 0,6$; $p < 0,05$).

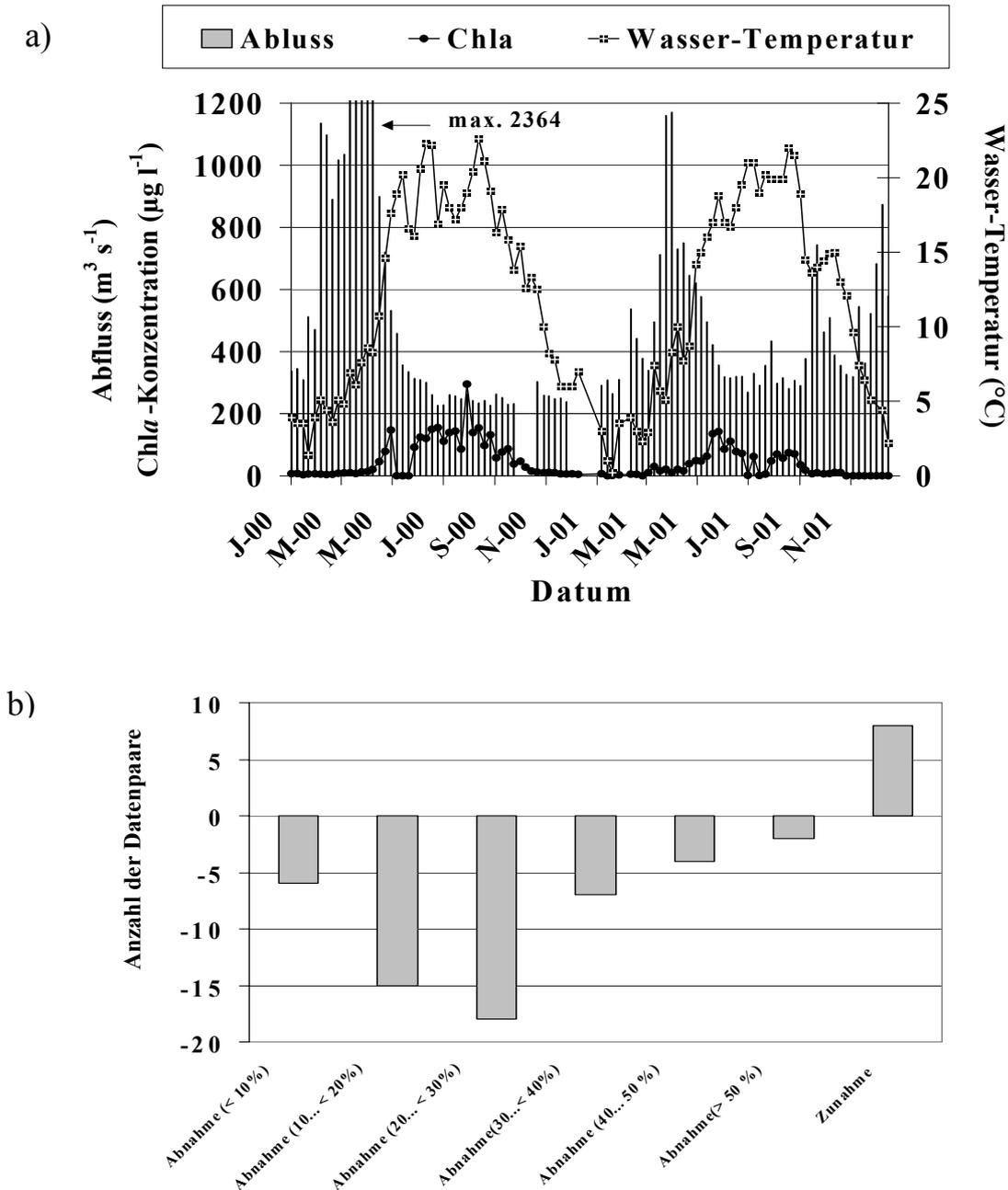


Abb. 14 a, b: Jahrgänge (2000 und 2001) von Durchfluss, Wassertemperatur (Messzeitpunkt: 08:00 Uhr) und Chlorophylla-Konzentrationen am DFK-Elbe-Kilometer 317 (14a); Verteilung der Änderungen des Gehalts an suspendiertem organischen Material (SPM) während der Reise des einlaufenden Wassers durch das „Magdeburger Bühnenfeld“ (14b)

Tab. 1: Kalkulation zur mittleren täglichen Ablagerung im „Magdeburger Bühnenfeld“. Datengrundlage sind wöchentliche Untersuchungen in 2000 und 2001, ausgewertet wurden Analysen für Durchflussbedingungen $< 600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$: Suspendiertes partikuläres Material SPM (Trockengewicht); Partikulärer Stickstoff (PN); Partikulärer Phosphor (PP); Partikulärer Organischer Kohlenstoff (POC); Partikuläres Silikat (PSi). Temperaturen $< 10^\circ\text{C}$ wurden unter „Winterbedingungen“ zusammengefasst, Temperaturen von 10 und mehr $^\circ\text{C}$ wurden zu „Sommerbedingungen“:

Wasser-inhaltstoff	Temperaturbedingung	mittlere tägliche Ablagerung im Bühnenfeld ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	Standard-Abweichung	N
SPM	Winter	36,6	± 12	17
SPM	Sommer	233,2	± 228	44
PN	Winter	1,4	$\pm 7,4$	13
PN	Sommer	2,6	$\pm 9,8$	44
PP	Winter	0,4	$\pm 0,6$	17
PP	Sommer	0,1	$\pm 1,0$	45
POC	Winter	9,4	$\pm 8,2$	17
POC	Sommer	14,8	$\pm 22,6$	44
PSi	Winter	5,4	$\pm 3,6$	4
PSi	Sommer	1,6	$\pm 16,2$	24

Dies betrifft partikulären Stickstoff (PN), partikulären Phosphor (PP), partikulären organischen Kohlenstoff (POC) und partikuläres Silikat (PSi) als Differenz aus Tsi und PSi. Chla als Surrogatparameter für die Algenbiomasse war hingegen nicht an das Verhalten des SPM gebunden. Gelöste Nährstofffraktionen (Stickstoff, Nitrat, Nitrit, Ammonium, gelöstes reaktives Phosphat, gelöster organischer und anorganischer Kohlenstoff) sowie physikochemische Kriterien (pH-Wert, Leitfähigkeit, Wassertemperatur) blieben unbeeinflusst während des halbstündigen Transportes durch das Bühnenfeld.

Die Einzelwerte zu Konzentrationen diverser wasserchemischer Inhaltstoffe können beim Projektverantwortlichen nachgefragt werden. Auf eine weiterführende graphische Darstellung von Jahresgängen etc. soll verzichtet werden.

2.2.5 Phytoplanktonuntersuchungen

Insbesondere im Jahr 2001 wurde neben den wasserchemischen Kriterien auch der Phytoplanktongehalt in Hauptstrom und Bühnenfeld bei Km 317 in Augenschein genommen. Hierzu wurden alle 14 Tage Planktonproben in Zulauf (= Hauptstromwasser) und Ablauf des Bühnenfeldes zeitversetzt entnommen und nach den Vorgaben von Utermöhl (1958) mikroskopisch untersucht. Es sollte herausgefunden werden, ob durch den verlangsamten Transport im Bühnenfeld bestimmte Algengruppen- oder arten dezimiert werden (durch Sedimentation verloren gehen) bzw. aufgrund der verringerten Turbulenz sogar höhere Produktionsraten bei eher ruhewasserliebenden Arten erzielt werden können (Anstieg der Konzentration einer Art). Insbesondere für schwere Diatomeen wären erhöhte Aussinkraten wahrscheinlich gewesen, planktische Cyanophyceen oder Chlorophyceen hätten hingegen Vorteile erzielen können. Selbst bei Nicht-Anstieg der Wachstumsraten hätte sich ein erhöhter Sedimentationsverlust der Diatomeen in den Abundanzverhältnissen bemerkbar gemacht und die Bühnenfelder als Mechanismus einer positiven Selektion für Blaualgen und/oder Grünalgen definieren lassen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wiesen leider keine systematischen Verhaltensmuster

auf. Weder auf Gruppen- noch auf Artniveau oder der Gegeüberstellung von Biomasse- oder Abundanzrelationen ließ sich auf eine Selektion rückschließen. Daher soll an dieser Stelle lediglich der prinzipielle Jahresgang des Phytoplanktonbiomasse am Beispiel des Hauptstromwassers am KM 317 dargestellt werden (Abb. 15a, 15b).

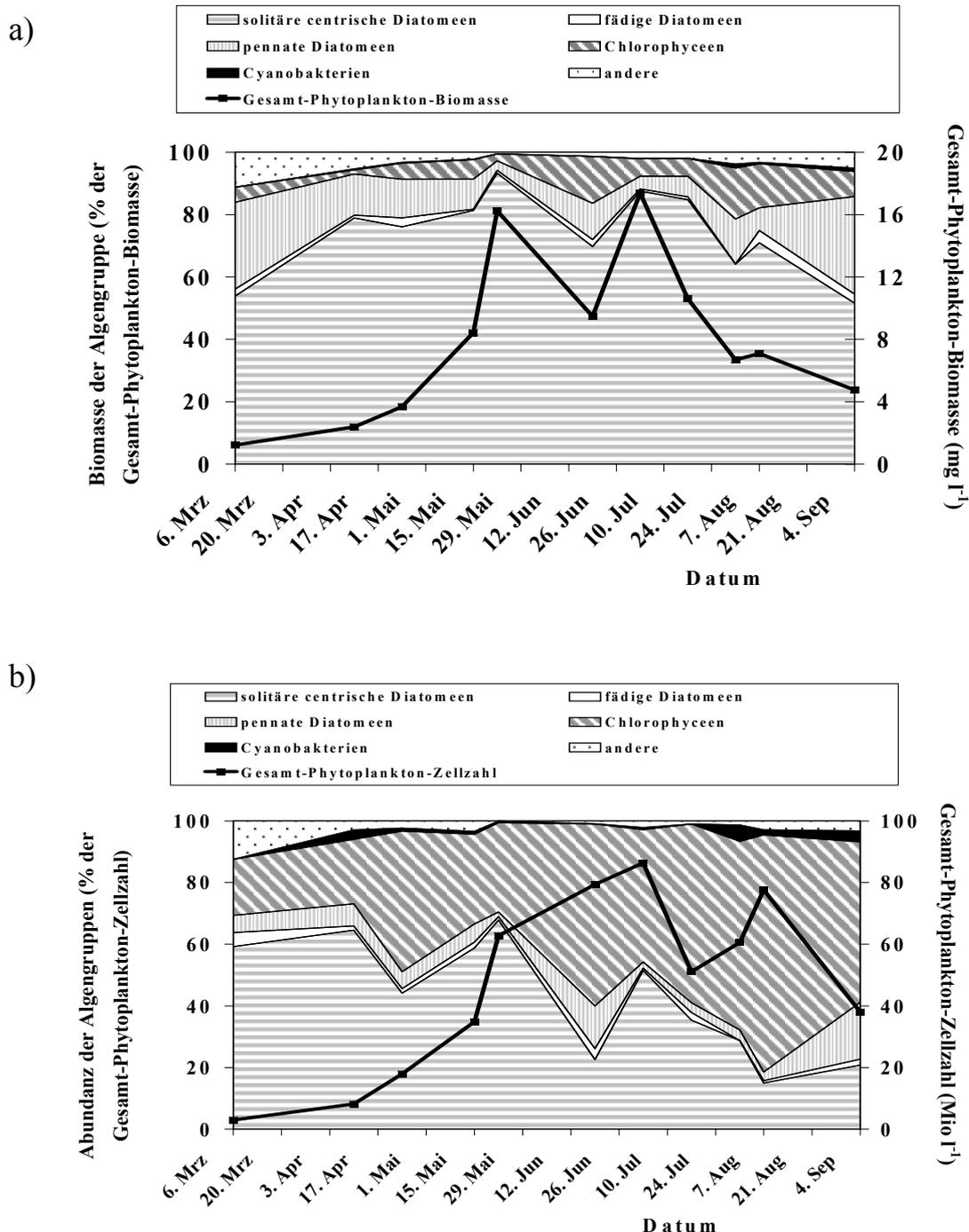


Abb. 15 a, 3b: Biomasse (Abb. 15a) und Abundanz (Abb 15b) wichtiger Phytoplanktongruppen am Elbe-Km 317, Hauptstrombereich. Die durchgezogene Linie in Abb 15a dokumentiert die Gesamt-Biomasse des Phytoplanktons und zeugt von 2 Biomassemaxima (Frühjahr und Hochsommer). Diese werden, wie auch die gesamte Vegetationsperiode, von centrischen Diatomeen dominiert. Im Gegensatz hierzu zeigt Abb 15b, dass sich Diatomeen und Chlorophyceen um die Abundanz-Vorherrschaft konkurrieren, wobei Diatomeen aufgrund ihrer physiologischen Eigenschaften ihre Dominanz vom Frühjahr im Sommer an die Grünalgen verlieren.

Dort ist ersichtlich, dass die Elbe hinsichtlich der Biomasse ganzjährig von centrischen Diatomeen dominiert wird, welche oftmals in der Literatur als typische Fließgewässerorganismen betrachtet werden (siehe Literatur-Zusammenstellungen in Ockenfeld 2001, Bahnwart 2001). Dementgegen erreichen Grünalgen mit zunehmender Wassertemperatur im Sommer dominierende Abundanzzahlen, dieses Phänomen bleibt bis Eintritt des Herbstes zu beobachten. Insgesamt ist die Elbe mit bis zu 20 mg l⁻¹ Phytoplankton-Biomasse und bis zu 100 Mio Zellen l⁻¹ als eutroph zu bewerten. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass Biomasse und Abundanz flussabwärts weiter zunehmen und weit höhere Dichten belegt sind (siehe auch: Zunahme der Chla-Konzentrationen im Längsverlauf, Kapitel 2.3).

Eine Übersicht der gefundenen Arten findet sich im Anhang. Hier wurden die Längsbereisungen mit berücksichtigt.

Im Kapitel „Phytoplankton“ während der Längsbereisungen (Kapitel 2.3) wird erneut auf Differenzen zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom hingewiesen. Mit anderen Methoden wurde versucht, der Frage nach Abundanz- bzw. Artunterschieden zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom näher zu kommen.

2.2.6 Einflüsse der Schifffahrt auf die Stoffverlagerung

Die Schwebstoffe aus Ablagerungen in Stillwasserbereichen werden außer durch Wasserstandsanstieg auch durch die Schifffahrt remobilisiert, insbesondere Schiffe mit Strahlantrieb erhöhen die Trübung. Zwischen Trübung (auf den Formazinstandard bezogen) und Schwebstoffgehalt besteht ein linearer Zusammenhang ($n = 112$; $y = 2,81 + 0,51x$; $R = 0,89$). Das Ausmaß der Remobilisierung hängt von der hydrologischen Vorgeschichte ab, d.h., welche Schwebstoffmengen konnten sich in den Stillwasserräumen absetzen. Die Trübungsmessungen in der Meßstation erfaßte die Auswirkungen im Hauptstrom zu unterschiedlichen Terminen (Abb.16). Während die normalen Schubverbände mit Schiffsschraube meist wenig Einfluß auf die Trübung im Hauptstrom haben, erreichen die Schiffspassagen mit Strahlantrieb (Fahrgastschiff „Dresden“) beachtliche Ausschläge mit einer Dauer von 10 min bei länger währenden Niedrigwasserperioden. Dabei entstehen charakteristische Trübungsverteilungsmuster, die zu verschiedenen Terminen Ähnlichkeiten aufweisen. Das hängt offenbar mit der Richtungsänderung der Schifffahrtsrinne stromauf zusammen, so daß an der Messstation mit feststehender Entnahmepumpe Wasservolumina mit unterschiedlichem Schwebstoffgehalt angesaugt werden, je nachdem wo und in welcher Stärke das Schiff im Flussquerschnitt Sediment aufwirbelt. Die 2001 zu verschiedenen Terminen durchgeführten Messungen ergaben jedoch solche kaum wahrnehmbaren Trübungsänderungen wie für den 08.10.01 dargestellt. Das hängt damit zusammen, daß die Durchflusskurve keine derartige Konstanz wie 2000 gezeigt hat, sondern dass vielmehr vor den Meßterminen ein Durchflussanstieg eingetreten war, der das remobilisierbare Sediment stromabwärts verfrachtet hat. In Abb. 17 läßt sich bei den Trübungsmessungen 2000 (Schiff „Dresden“) ein Rückgang etwa mit fortschreitenden Meßterminen ausmachen. Diese Abnahme geht mit verringerten Schwebstoffgehalten der entsprechenden wöchentlichen Probenahme konform.

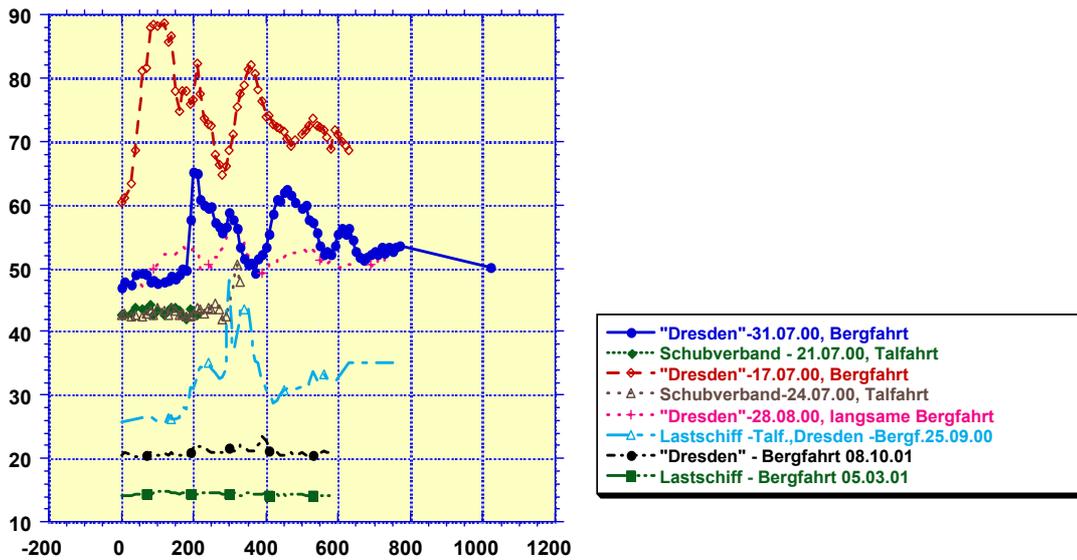
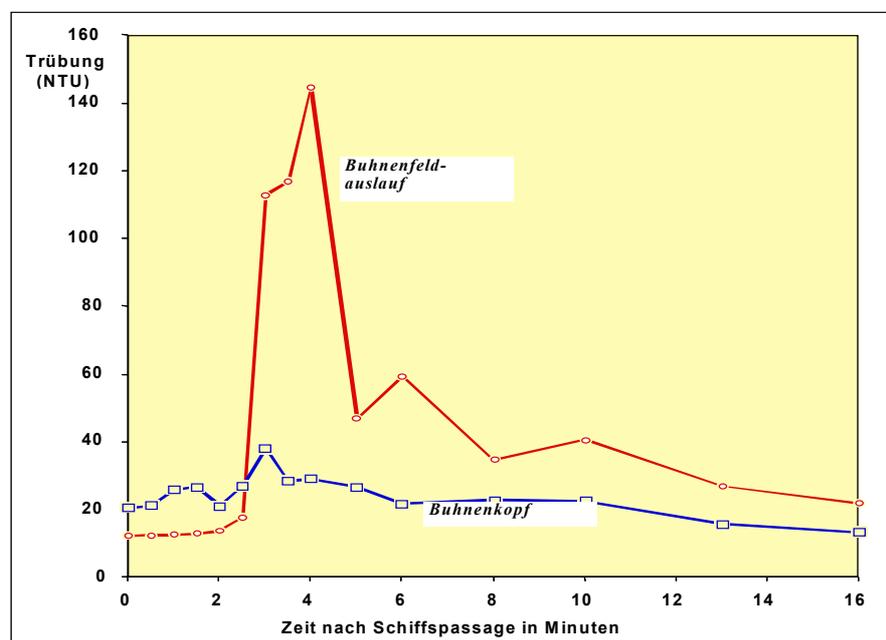


Abb. 16: Einfluss von Schiffsdurchfahrten auf die Trübung an der Messstation Elbe/Magdeburg links (Km 318,1)

Die Sog- und Schwallwirkung bei der Schiffsdurchfahrt – auch meist bei Schubverbänden - kann einen erheblichen Anstieg der Trübung im Bühnenfeld selbst verursachen (s. Beispiel Abb. 16). Ein Teil dieser Schwebstoffe gelangt in den Hauptstrom und bewirkt dort eine Trübungszunahme. Auf die Stärke dieses Verlagerungsprozesses wirken solche in diesen Untersuchungen nicht näher quantifizierbaren Faktoren ein, wie Abstand des Schiffes vom Bühnenfeld, Geschwindigkeit des Schiffes, Beladungstiefe u. a. Ob der Bühnenfeldauslauf oder der Hauptstrom am Bühnenkopf den höheren Trübungswert aufweist, hängt auch davon ab, wo und in welcher Menge erodierbares Material im Bühnenfeld lagert. Im jahreszeitlichen Verlauf nimmt der Schwebstoffgehalt zum Winter zu ab, da die Algenproduktion stark nachlässt. Die Schifffahrt trägt dazu bei, daß die leicht remobilisierbaren Ablagerungen aus den Bühnenfeldern flussabwärts befördert.

Abb. 17: Auswirkung einer Schiffspassage auf die Trübung in einem Bühnenfeld (Fluss-Km 317 links)



2.3 Ergebnisse und Diskussion zu 5 fließzeitkonformen Längsbereisung der Elbe

2.3.1 Die erste Bereisung und ihre Auswirkungen auf das Bühnenfeldprojekt

An anderer Stelle wurde schon auf die zu Beginn des Bühnenfeld-Projektes in Kooperation mit der BfG durchgeführte erste fließzeitkonforme Elb-Reise hingewiesen. Sie diente in erster Linie der Datengewinnung für die Modell-Erweiterung (Fließgewässermodell QSIM sollte um das Kompartiment der Bühnenfelder erweitert werden) durch die BfG. Während dieser Längsbereisung wurden alle gängigen Fraktionen bedeutsamer Nährstoffkomponenten und anderer wasserchemischer Kriterien entlang des Flusses aufgezeichnet und somit die longitudinale Verteilung während der umsatzstarken Vegetationsperiode bestimmt. Parallel wurden Chlorophylla-Bestimmungen durchgeführt sowie die auf der Winkler-Methode (Abb. 24) oder der ^{14}C -Methode beruhende Vertikalverteilung der planktischen Produktion und Respiration ermittelt. Es galt die Frage zu beantworten, ob sich Differenzen im Produktions-/Respirationsverhalten zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom nachweisen und quantifizieren lassen. Die genaue Reisebeschreibung mit Angaben zur Vorgehensweise, der verwendeten Technik, den Beprobungsstellen und der Vielzahl gemessener Einzelwerte findet sich in Böhme et al. 2002 und ist auf Nachfrage erhältlich. An dieser Stelle sollen lediglich die für das Bühnenfeldprojekt relevanten Ergebnisse und Schlussfolgerungen dieser Bereisung benannt oder an ausgewählten Beispielgraphiken erklärt werden:

2.3.1.1 Ergebnisse bzgl. der Stoffkonzentrationsunterschiede Hauptstrom-Bühnenfeld

Die Konzentrationen der für den biologischen Stoffumsatz wichtigen Elemente Phosphor, Stickstoff und Silizium erfahren entlang der Fließstrecke teils erhebliche zufluss- und umsatzbedingte Änderungen. Diese verlaufen (zeitlich punktuelle Messungen) für den Hauptstrom, für die linke und rechte Flussseite (im Bühnenfeldfreien Bereich 2m Uferabstand) sowie den Bereich der Bühnenfelder konform. Diese Beobachtung lässt auf einen trotz erhöhter Verweilzeit und verringerter Fließgeschwindigkeit in den Bühnenfeldern intensiven Austausch mit dem Hauptstrom schließen. Die Interaktion beider Teilkompartimente kann folglich nur durch intensive und zeitlich gedehnte Prozessstudien quantifiziert werden, zeitlich punktuelle Vergleichsuntersuchungen versprechen keinen weiteren Erkenntnisgewinn. Die Jahreszession wird von der Umwandlung gelöster Fraktionen in die biopartikelartige und umgekehrt bestimmt, wobei während der Vegetationsperiode der Aufbau der Algenbiomasse dominiert. Insgesamt ist die Elbe trotz Bau vieler Kläranlagen seit der politischen Wende 1989 aber immer noch hochproduktiv und überlastet mit Nährstoffen (Ockenfeld & Guhr 2002). Die weitere Reduktion des Stoffeintrags auch aus diffusen Quellen muss daher auch vor dem Hintergrund der EU-Wasserrahmenrichtlinien wichtiges Ziel der Elbe-Einzugsgebietpolitik bleiben. Angaben zu den tatsächlichen Konzentrationen und ihrer räumlich-zeitlichen Entwicklung finden sich in den o.g. Schriftstücken.

2.3.1.2 Ergebnisse bzgl. der Primärproduktion

Auch bei den Messungen zur Primärproduktion und der Respiration konnten keine Differenzen zwischen den beiden Teilkompartimenten gefunden werden (siehe auch Abb. 19). Dies ist aber u.a. auf die Messtechnik zurückzuführen, welche ausschließlich die rein pelagischen Umsatzraten bestimmt (Flaschen-Methode, siehe Abb 18). Vergleiche zwischen



Abb. 18: Ermittlung der Tiefenverteilung der planktischen Primärproduktion (Winklermethode)

diesen Ergebnissen und parallel ermittelten Sauerstoff-Ganglinien im Freiwasser zeugten von hoher benthischer Aktivität, welche bei alleiniger Anwendung der Flaschenmethode unberücksichtigt bliebe. Die Produktions- und Respirationsverhältnisse lassen sich am besten anhand einer Gegenüberstellung der longitudinalen Chlorophylla-Entwicklung und dieser Umsatzgrößen dokumentieren. Wichtig bei dieser Betrachtung ist die Einbeziehung der Unterwasserlichtverhältnisse, welche für die longitudinale Entwicklung von Algenbiomasse und deren Umsatzleistungen von erheblicher Bedeutung ist. Abb. 19 dokumentiert die Unterwasser-Lichtverhältnisse und in deren Abhängigkeit jene Gewässertiefe, in welcher gerade keine positive Netto-Primärproduktion mehr stattfinden konnte (Kompensationstiefe). Die integralen Produktions-/Respirationsverhältnisse sind in Abb. 20 in Zusammenhang mit der Chl_a-Entwicklung dokumentiert. Der longitudinale Verlauf der Chlorophylla-Konzentration zeugt von nahezu kontinuierlich anwachsender Phytoplanktonbiomasse im Verlauf der deutschen Elb-Fließstrecke. Ausnahmen bilden insbesondere ein starker Abfall der Konzentration unterhalb der Muldemündung, sowie eine Reduktion des Chlorophyll-Gehaltes unterhalb Barförde. Systematische Differenzen zwischen den beiden Teilkompartimenten Hauptstrom und Bühnenfeld konnten nicht nachgewiesen werden, mit Maximalwerten um $400 \mu\text{g l}^{-1}$ Chl_a gilt die Elbe als hocheutrophes Gewässer. Die vertikale Lichtschwächung im Wasserkörper nahm entsprechend des Chlorophylla-Anstieges entlang der Fließstrecke fast stetig zu, war zwischen Hauptstrom und Bühnenfeld jedoch ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich. Die Werte für den vertikalen Extinktionskoeffizienten schwankten zwischen $2,3$ und $6,2 \text{ m}^{-1}$, die geringere Lichtschwächung war im oberen Elbabschnitt anzutreffen. Der ϵ -Maximalwert ($6,2 \text{ m}^{-1}$) trat bei Fluss-Km 504 (Dömitz) auf. Die Kompensationstiefe (Nettoproduktion = 0) zeigte ein entgegengesetztes Längsprofil, reduzierte sich folglich entlang der Fließstrecke. Bis Magdeburg war der deutsche Teil der Elbe im oberen ersten Meter der Wassersäule produktiv, flußabwärts nahm die Mächtigkeit der euphotischen Zone ab und sank bis unter $0,6 \text{ m}$ Wassersäule.

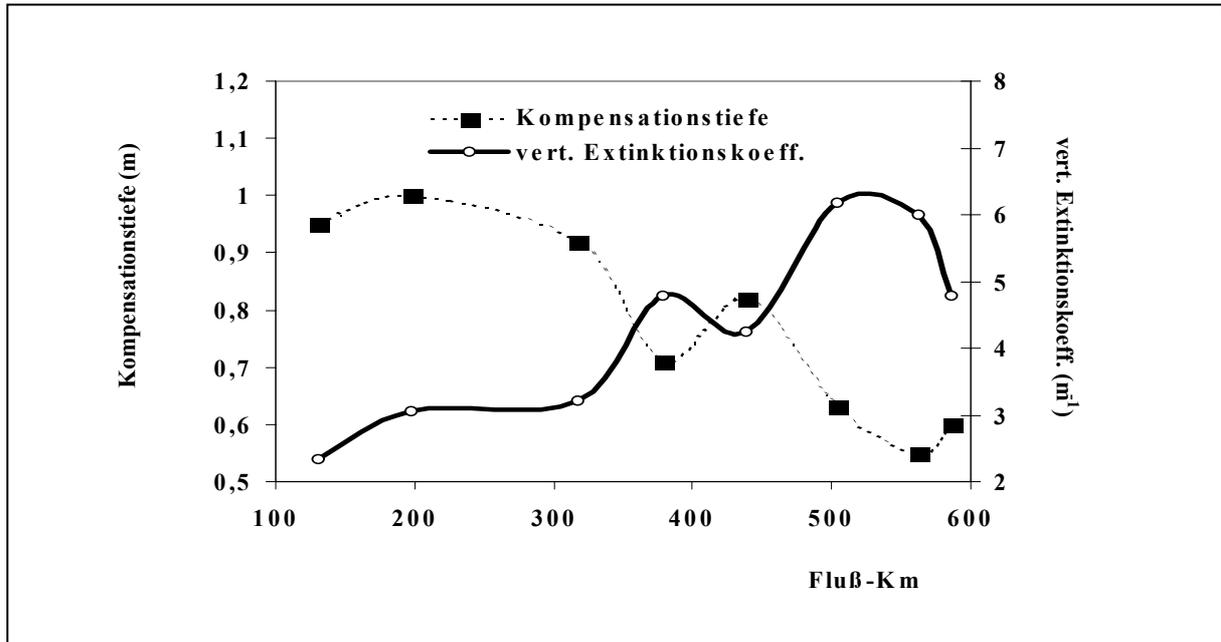


Abb. 19: Unterwasser-Lichtverhältnisse in der Elbe während der ersten fließzeitkonformen Bereisung (BfG/UFZ) 2000.

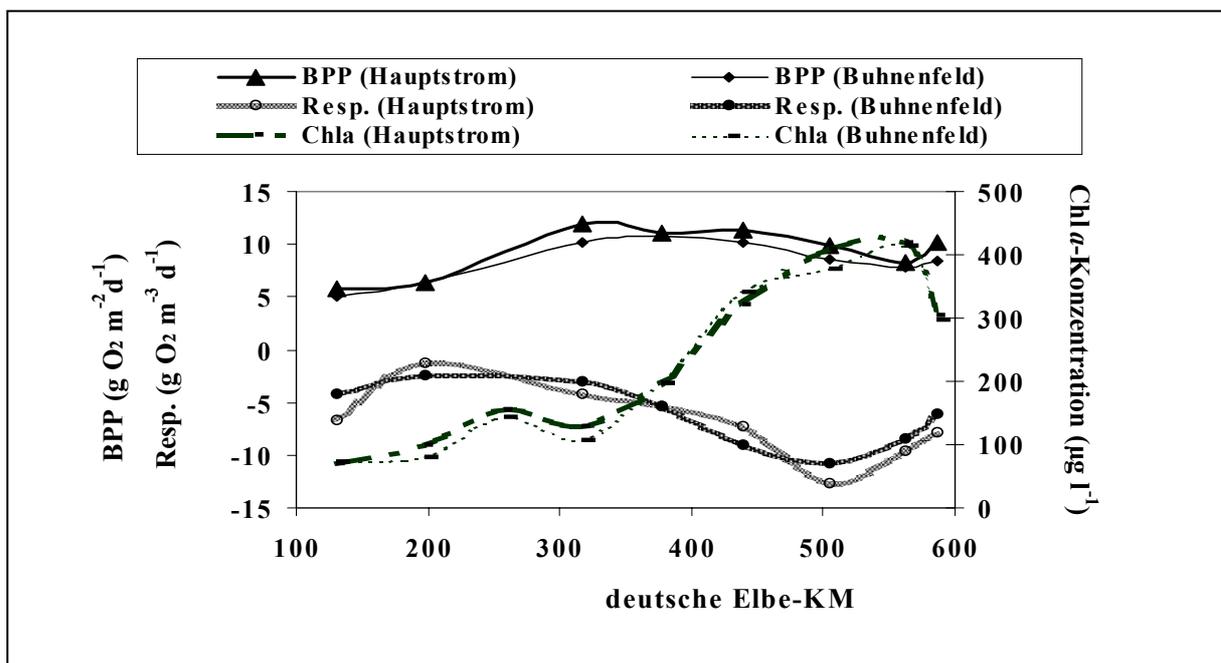


Abb. 20: Integrale Brutto-Primärproduktion (BPP) und Respiration (Resp.) sowie Chlorophylla-Gehalt in der Elbe während der ersten fließzeitkonformen Bereisung (BfG/UFZ 2000). Beachte: BPP mit Flächenspezifik, Resp. mit Volumenspezifik.

Die aus den Tiefen der Flascheninkubation, den Attenuationwerten und der Globalstrahlung berechneten Lichtintensitäten bei Erreichen von Kompensationstiefe bzw. Tiefe ohne Brutto-Primärproduktion (ToB) unterlagen weniger deutlichen Schwankungen. Diese nicht dargestellten Werte für Kompensations-Lichtintensität bzw. Lichtintensität bei ToB lagen um 10-45 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bezüglich der Produktions- und Respirationswerte ist zu beachten, dass die

Gesamtleistung der Brutto-Primärproduktion einen Flächenbezug aufweist, die Respiration hingegen als Leistung pro Wasservolumen angegeben wird. Als Resultat ansteigender Chlorophylla-Konzentrationen und sich hierzu gegenläufig entwickelnden UW-Lichtverhältnissen entlang der Fließstrecke ergibt sich für die integrale Produktion eine weniger ausgeprägte Dynamik. Diese stieg entsprechend der anwachsenden Phytoplanktonbiomasse zunächst entlang der Fließstrecke ebenfalls an, eine kontinuierliche Produktionssteigerung wurde jedoch flussabwärts (Maximalwerte wurden schon im Bereich zwischen Elbe-Km 300 und 450 erreicht) mangels Licht verhindert. Die strahlungsunabhängige Respiration folgte hingegen streng dem standing stock des Chlorophylls ($r^2 = 0,84$ für Bühnenfeld, $r^2 = 0,64$ für Hauptstrom). Es kann davon ausgegangen werden, dass die pelagische Respiration horizontal und vertikal annähernd homogen verteilt war, die BPP hingegen auf die produktive Lamelle beschränkt blieb. Auf die Bedeutung dieses Phänomens soll im anschließenden Kapitel nochmals Bezug genommen werden.

2.3.1.3 Ergebnisse bzgl. der Nutzung der Resultate durch Modell-Nachbildungen

Erste Modellrechnungen der BfG mit QSIM ergaben keine zufriedenstellende Nachbildung der gefundenen Messwerte (z.B. Chlorophylla-Entwicklung entlang des Flusses) und zeugten von der Notwendigkeit, neue Techniken für die Fließgewässerforschung zu entwickeln und bereitzustellen. Dies wurde während der Projektzeit in Gang gesetzt und erste Untersuchungen mit einem neuen Inkubator durchgeführt.

Untersuchungen zum lichtabhängigen Wachstum pelagischer Phytoplankter liegen sehr zahlreich vor, da sowohl Grundlagenforscher (Botaniker, Genetiker, marine Wissenschaftler) als auch primär angewandt orientierte Forscher (Pharma-Industrie, Nahrungsmittel-Industrie, Wasserwirtschaft) hohes Interesse an der Aufklärung dieser Prozesse zeigen. Insbesondere physiologisch-hydrobiologisch arbeitende Biologen haben grundlegende Zusammenhänge ausführlich dargestellt und die Vielzahl Einfluss nehmender Faktoren (Nährstoffstatus, Grazing, Temperatur, Turbulenz, Voradaptation an bestimmte Lichtverhältnisse etc.) dokumentiert (Falkowski *et al.* 1985, Reynolds & Descy 1996, Gervais *et al.* 1997). Die grundlegende Problematik dieser Kenntnisgrundlage stellt die Übertragbarkeit der zumeist in Laboruntersuchungen oder in nur bedingt realistischen Freilandexperimenten (Einzelkulturen, Konkurrenzversuche mit wenigen Arten, *in situ*-Versuche mit abgeschlossenen Flaschen) ermittelten Ergebnisse auf die Natur dar (Kohl & Nicklisch 1988, Grobbelaar 1989, Mastrini *et al.* 1993, Köhler & Bosse 1998, Litchman 2000). Entsprechend unsicher sind also auch die bislang in Modelle einfließenden Raten zum Wachstum des Phytoplanktons in Flüssen. Wichtige Kenngrößen solcher Wachstums-Licht-Beziehungen sind der Anfangsanstieg der Licht-Wachstums-Kurve (α), die maximale Wachstumsrate (μ_{max}) und der Lichtkompensationspunkt (I_K), der den Quotienten aus maximaler Wachstumsrate und Anfangsanstieg darstellt. Anfangsanstieg (α) und Lichtkompensationspunkt (I_K) geben dabei Auskunft über die Konkurrenzfähigkeit der Taxa unter Schwachlichtbedingungen, die maximale Wachstumsrate (μ_{max}) charakterisiert die Konkurrenzfähigkeit bei Lichtsättigung. Es tritt generell eine positive Bestrahlungsstärke auf, bei der das Wachstum eingestellt wird, da eine bestimmte Energiemenge für die Systemerhaltung notwendig ist. Unterhalb des I_K -Wertes kommt es bei extremem Lichtmangel nicht nur zu Stoffverlusten durch Atmung, sondern auch zum Übergang zu Überdauerungsformen oder Absterbeprozessen (Kohl & Nicklisch 1988).

Für Publikationen zum lichtabhängigen Wachstum natürlicher Fließgewässer-Algenpopulationen unter annähernd natürlichen Bedingungen gibt es bislang nur ein Beispiel (Köhler *et al.* 2002). In dieser Arbeit wurden Ergebnisse diverser Untersuchungen an der Spree und der Warnow zusammengefasst, welche mit der gleichen Methode (Köhler & Bosse 1998) durchgeführt wurden (Köhler & Bosse 1998, Bahnwart 2001, Ockenfeld 2001). Der Mangel an schriftlichen Informationen zu dieser Problematik zeugt von der Schwierigkeit solcher Messungen und von der Notwendigkeit der Entwicklung geeigneter Freiland-Versuchsaufbauten. Die unten dokumentierte Entwicklung wurde daher einem Patentierungsverfahren unterzogen und einer Produktionsfirma vorgestellt.

Die Konzeption dieses Gerätes setzte die Auseinandersetzung mit oftmals geschilderten Problemen auseinander, welche im Folgenden dargestellt werden sollen:

Konzeption des Inkubators:

Will man das Wachstumsverhalten einer natürlichen Planktonpopulation auf diverse Lichtverhältnisse testen, müssen Teilproben einer Ursprungsprobe (identischer Ausgangswert) für die Dauer einer Regenerationsphase (bei Phytoplankton geht man von 24 Stunden aus) unterschiedlichen Lichtdosen ausgesetzt werden. Gleichzeitig muss die für Fließgewässer typische Lichtfluktuation (die Algen werden im turbulenten Fluss immer wieder von der lichtintensiven Oberfläche in die undurchleuchtete Tiefe transportiert) gewährleistet werden, entsprechende Inkubationsgefäße müssen also zusätzlich durch einen Lichtgradienten bewegt werden.

Ausgangsbasis bildete ein käuflich erwerblicher Inkubator, welcher für Primärproduktionsmessungen nach der Radiocarbon-Methode bestimmt ist (ICES-Inkubator, Hydrobios, Kiel, BRD). Dieses Gerät stellt ein Aquarium dar, in welchem sich ein durch Wasserkraft (Pumpe) bewegtes Schaufelrad dreht. Das Schaufelrad wird mit bis zu 12 unterschiedlich abgedunkelten (durch differierende Schwarz-Weiß-Folien) Flaschen bestückt. Die Flaschen (50 ml) dienen Kurzzeit-Experimente (1-4 Stunden) zur lichtabhängigen ^{14}C -Aufnahme durch das Phytoplankton. Das Aquarium wird in seiner Ursprungsversion beidseitig mit bis zu 10 Leuchtstoffröhren beleuchtet, welche einzeln zuschaltbar sind und bei Vollbeleuchtung eine maximale Leuchtintensität von ca. $1.000 \mu\text{mol Photonen photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ erreichen. Zur Anpassung an fließgewässerähnliche Bedingungen musste diese Version des Inkubators in mehrfacher Hinsicht verändert werden (Abb. 21).

Bezüglich der Lichtversorgung war die Erhöhung der Leuchtintensität pro Fläche und die Einrichtung unbelichteter Areale (Simulation des Lichtgradienten) erforderlich. Beides wurde durch die beidseitig dichtere Packung der Leuchtstoffröhren und die Begrenzung der Beleuchtungsfläche (Abbau der Leuchten entlang der hinteren Hälfte der Aquarien-Fläche) erreicht. Durch die dichtere Packung der Röhren konnte eine Beleuchtungs-Intensität von maximal $1850 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ erzielt werden, in der Natur werden unter Hochsommerbedingungen und Wolkenlosigkeit maximal $2200 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ unter der Wasseroberfläche gemessen (dies entspricht einer Globalstrahlung von $950 \text{ Watt m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Dementsprechend konnten die Algenproben relativ natürlichen Lichtdosen ausgesetzt werden. Abbildung 22 zeigt Beispiele für die PAR-Intensität, welcher die in unterschiedlich abgedunkelten Flaschen eingebrachten Algen ausgesetzt waren.

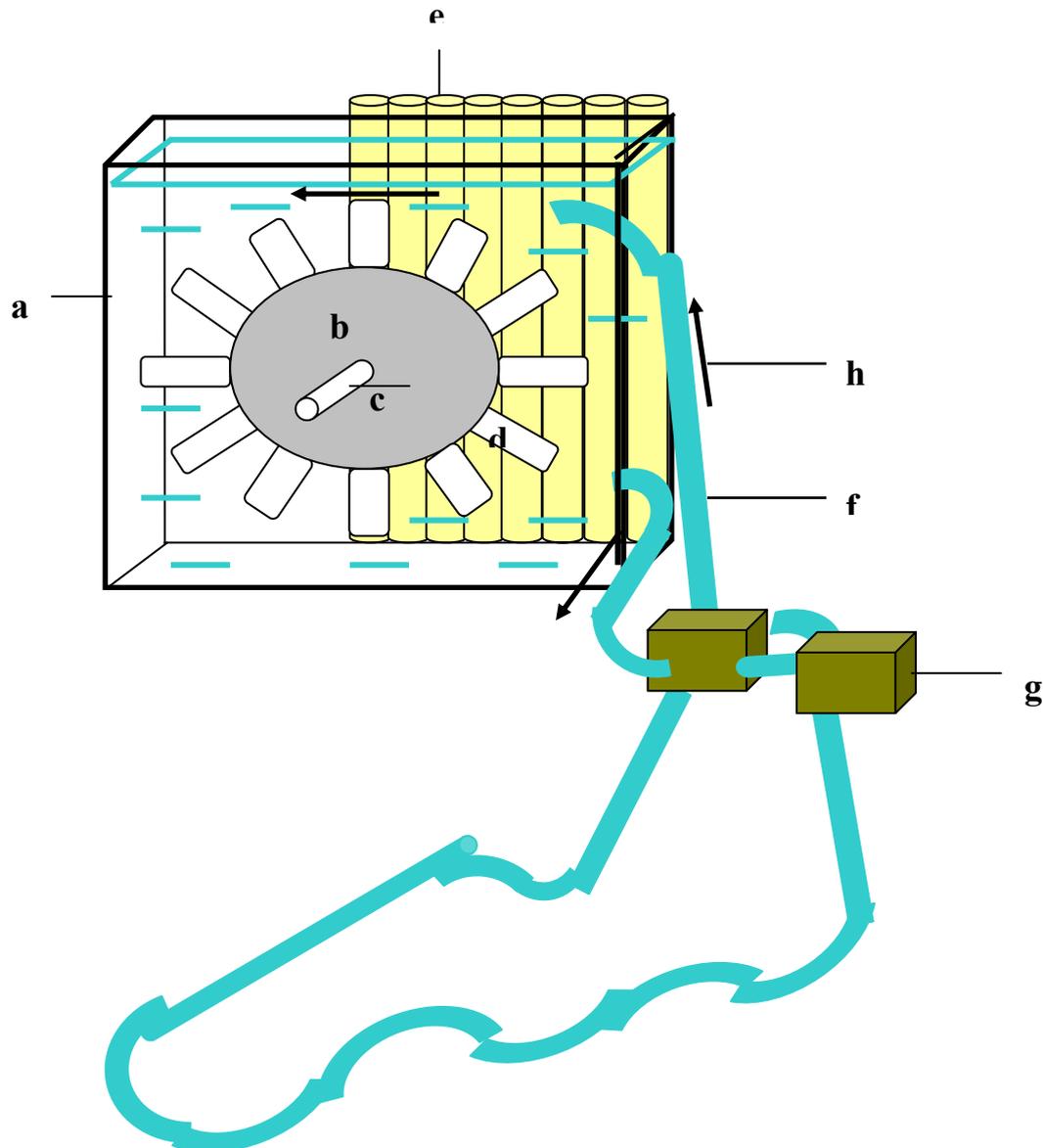


Abb. 21. Schematische Darstellung des Inkubators. a: Inkubatorgehäuse (Aquarium) aus Plexiglas gefüllt mit Flusswasser ; b: Schaufelrad; c: Schaufelrad-Einhängung ins Gehäuse; d: 12 Probeflaschen (mit unterschiedlicher Lichtdurchlässigkeit); e: Leuchtstoffröhren beidseitig (nur auf einer Seite dargestellt); f: Kühlschlange (sollte die Erwärmung des Aquarienwassers verhindern); g: 2 Pumpen für den Wasserkraftantrieb;

→ Fließrichtung des Aquarienwassers (Antrieb des Schaufelrades).

Der im Freiland eingesetzte Inkubator musste zwecks Quantifizierbarkeit der Beleuchtungsstärke vor Sonnenstrahlung geschützt und daher in einer lichtundurchlässigen Box betrieben werden. Die Erwärmung des Aquarienwassers wurde durch eine im Fluss verlegte 25 m lange Kühlschlange vermieden, welche das Aquarienwasser immer an die tatsächlichen Fluss-Temperaturen anglich.

Nährstoffversorgung und Vermeidung von „bottle-effects“:

Entgegen der Nutzbarkeit für die Kohlenstoff-Assimilationsversuche (Kurzzeit-Untersuchungen) konnten die 12 unterschiedlich verdunkelten Flaschen in der Ursprungsversion nicht für Wachstumsversuche verwendet werden. Der vollständige Abschluss der „eingesperrten“ Algen vom Außenmedium (Aquarienwasser = Flusswasser) hätte innerhalb kurzer

Zeit zu Nährstoffmangel, pH-Wert-Erhöhung, geringer flascheninterner Wasserbewegung (Totzonenbildung) und anderen „bottle-effects“ (Maestrini *et al.* 1993, Gervais *et al.* 1999, Ockenfeld 2001) geführt.

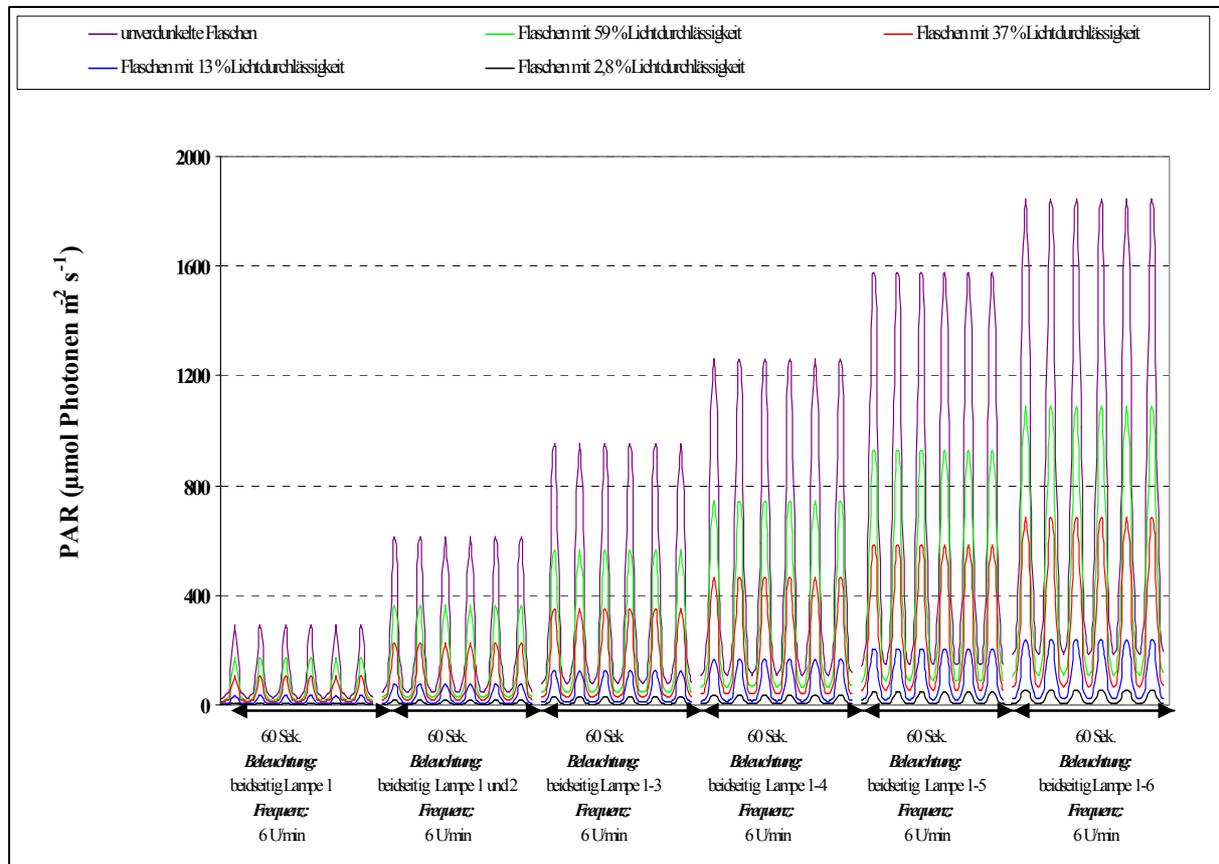


Abb. 22. Beispiele für die Variabilität bei der Lichteinstellung des Freilandinkubators: Für jede Variante ergeben sich unterschiedliche Beleuchtungskurven. Bei den Wachstumsversuchen wurde die Einstellung so gewählt, dass eine Tag-Nacht-Simulation möglich wurde.

Bei allen verwendeten Flaschen wurden die Seitenwänden aufgebohrt und diese mit Dialysefolie (Porendurchmesser 2 µm) bespannt (Tafel I, siehe Abb. 3). Diese Technik ermöglichte den Austausch des Flaschenwasser und der gelösten Stoffe mit dem umgebenden Milieu (Aquarienwasser), ohne dass ein Austausch der partikulären Fraktion (Verluste der Algen oder Eintrag von Partikeln in die Flaschen) stattfinden konnte. Somit war die Nährstoffnachlieferung in die Inkubationsgefäße hinein für die Dauer der 24stündigen Inkubationszeit gewährleistet. Zur Vermeidung potenziell limitierender Nährstoffverhältnisse im Aquarienwasser selbst wurde das Aquarienwasser zu Versuchsbeginn mit den wichtigsten Nährstoffen (gelöster reaktiver Phosphor [SRP], Nitrat [NO₃⁻] und gelöstes Silizium [Si_{gel}]) angereichert. Durch die Drehung des Schaufelrades und somit Wanderung der Einzelflaschen durch das Aquarienwasser wurde der Austausch zwischen Flaschen-Inhalt und Aquarienwasser beschleunigt, (es lag also kein rein diffusiler Transport der Nährstoffe vor). Die Austauschgeschwindigkeit lag zwischen 0.5 und 1,2 h⁻¹, d.h. die komplette gelöste Fraktion in der Flasche wurde spätestens alle 2 Stunden erneuert.

Erfahrungen zum Prinzip von „Algenwachstum in Dialysekammern“ wurden erstmals von Köhler & Bosse (1998) beschrieben, der dort geschilderte Versuchsaufbau fand weitere Anwendung in Bahnwart (2001), Ockenfeld (2001) und Köhler *et al.* (2002).

2.3.2 Vier Bereisungen in 2002

2.3.2.1 Ziel dieser Reisen war es,

- weitere Eingangswerte für eine spätere Modellierung durch die BfG zu erhalten. Hier war insbesondere die longitudinale Entwicklung des Chla im Jahresverlauf von Interesse, weiter unten werden die wichtigsten Resultate kurz benannt.
- den neu konzipierten Inkubator auszuprobieren und erste Ergebnisse zu gewinnen, mit Hilfe dessen das lichtabhängige Wachstum der Algen bestimmt werden kann. Die Gewinnung solcher Licht-Wachstumskurven ermöglicht später die modellhafte Vorhersage der Bioproduktion für unterschiedliche Lichtbedingungen. Somit lassen sich auch zwischen gut durchleuchtet (weil flachen) Bühnenfeldern und dem Hauptstrom unterschiedliche Potenziale berechnen. Die Arbeiten hierzu wurden überwiegend im Rahmen der Diplomarbeit von Frau Sandra Brandt durchgeführt, welche mit sehr gutem Ergebnis abgeschlossen wurde und eine Vielzahl neuer Erkenntnisse lieferte. In dieser Arbeit wurde auch ein Vergleich zwischen den tatsächlich beobachteten Änderungsraten des Chlorophylla entlang der Fließstrecke und den ermittelten Algen-Wachstumspotenzialen (Inkubator-Versuche) durchgeführt. Dieser sollte die summarische Quantifizierung von Verlustgrößen (Frass / Sedimentation) ermöglichen. Auszüge aus dem umfangreichen Werk darzustellen erscheint müßig und würde dem Wert dieser Diplomarbeit nicht gerecht. Daher wurden diesem Endbericht 3 Exemplare dieser Arbeit beigelegt. Dem interessierten Leser kann auf Wunsch ein Exemplar in elektronischer Form zugesendet werden.
- zu prüfen, inwieweit Messungen der planktischen Primärproduktion tatsächlich als Grundlage für Modellrechnungen dienen können. Es galt die Frage zu klären, ob annähernd gleiche meteorologische/hydrologische Bedingungen auch zu gleichen Ergebnissen führen (Reproduzierbarkeit der Ergebnisse).
- Überlegungen zu testen, die sich aus der ersten Längsbereisung 2000 durch BfG und UFZ und weiteren Einzeluntersuchungen ergeben hatten. Die erste Bereisung hatte u.a. ergeben, dass die rein pelagische Produktion sich zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom nicht unterscheidet (Flaschenmethode). Demgegenüber hatten Sauerstoffganglinien-Messungen (Freiwasser) durch BfG und UFZ im Jahre 2001 (stationäre Untersuchungen bei Lüttgenwisch, Unterelbe) teils erhebliche Differenzen zwischen den Kompartimenten aufgezeigt. Die Ganglinien in den Bühnenfeldern waren oftmals wesentlich ausgeprägter als jene im Hauptstrom. Diese Beobachtung der Differenzen zwischen rein pelagischen und gesamtsystemaren Stoffumsätzen ließ auf eine erhebliche Bedeutung der benthischen Aktivität, insbesondere der benthischen Respirationsleistung schließen. In weiteren Vergleichsmessungen während der 2002-Ausfahrten sollte geprüft werden, ob sich diese Differenzen für den gesamten Fluss feststellen lassen oder inwieweit Bühnenfeldfreie Strecken sich von anderen unterscheiden.
- festzustellen, inwieweit die zuvor als „Nicht vorhandenen Phytoplankton-Unterschiede“ (Ergebnisse von erster Längsbereisung und den Untersuchungen am Magdeburger Büh-

nenfeld) mit feineren Messtechniken zu verifizieren bzw. zu falsifizieren sind. Hierzu wurden PAM (Puls-Amplituden-Modulations-)fluorometrische Untersuchungen durchgeführt (siehe 2.3.2.4).

2.3.2.2 Die longitudinale Chlorophylla-Entwicklung

Die hohen Konzentrationen an Pflanzennährstoffen haben eine sehr hohe Bioproduktion zur Folge. Die Elbe ist damit im Gegensatz zur Zeit vor der politischen Wende dominiert durch Sekundärbelastungen. Eine potenzielle Produktionslimitation durch einen oder mehreren Nährstoffe ist gegenwärtig nur selten zu beobachten, weshalb die longitudinale Entwicklung des Chlorophylla-Gehaltes eine stetige Zunahme von der deutsch-tschechischen Grenze bis zum Wehr Geesthacht erfährt. Als Beispiele hierfür wurden die fließzeitkonform ermittelten Konzentrationsentwicklung des Chla während der 4 Bereisungen in 2002 dargestellt (siehe Abb. 23a,b)

Während die Konzentrationen in Abhängigkeit von der Jahreszeit stark schwanken (Abb. 23a), zeigt eine Relativdarstellung (Konzentration des Chlorophylla an der obersten Messstelle = Startkonzentration = 100%) eine fast lineare Zunahme entlang der Fließstrecke. Ein potenzielles Abknicken dieser Kurven (evtl. Limitationsstatus) konnte nur für den Unterlauf der Elbe dokumentiert werden. Da der prinzipielle Verlauf für Hauptstrom und Stillwasserzonen nahezu identisch und Konzentrationsdifferenzen unbedeutend war(en), wurde auf eine weitere Differenzierung verzichtet.

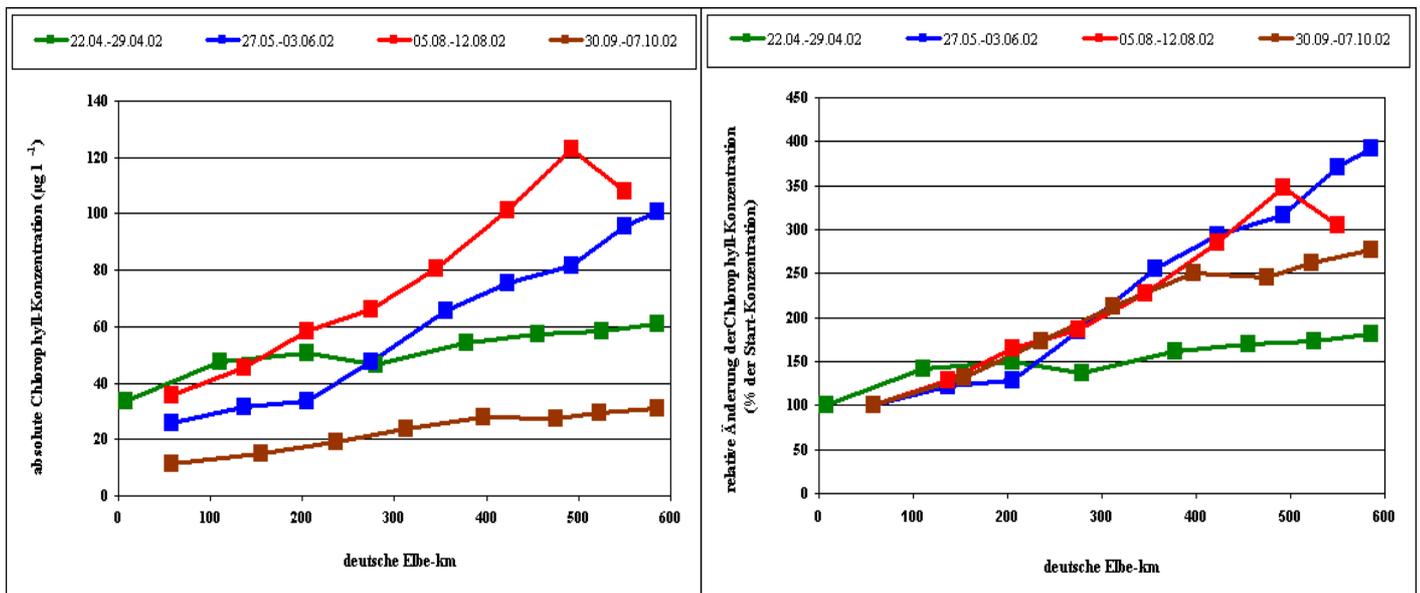


Abb. 23a (links), 23b (rechts): 23a: Änderung der Chla-Konzentration entlang der Elbe (deutsche Elbe-Kilometrierung) während 4 Bereisungen im Jahr 2002. 23b: Relative Änderung der Chla-Konzentration entlang der Elbe (deutsche Elbe-Kilometrierung) während 4 Bereisungen im Jahr 2002. Dargestellt sind jeweils die Messwerte im Hauptstrom

2.3.2.3 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zur planktischen Primärproduktion

Ergebnisse zur Produktionsmessung mit ^{14}C sollen an dieser Stelle nur exemplarisch Erwähnung finden, da der enorme Aufwand keine Parallelmessungen zwischen Bühnenfeldwasser und Hauptstromwasser erlaubte. Für solche Vergleiche wurde, wie oben erwähnt, Winkler-Messungen herangezogen. Die Anwendung der ^{14}C -Methode diente hingegen der Überprüfung der Ergebnisse von Folgetags-Untersuchungen. Nachfolgende Graphik 24 zeigt die nach statischer Inkubation gewonnenen Messergebnisse zweier Folgetage. Trotz deutlich unterschiedlicher Lichtverhältnisse an den Versuchstagen stimmt der Verlauf der Photosynthese-

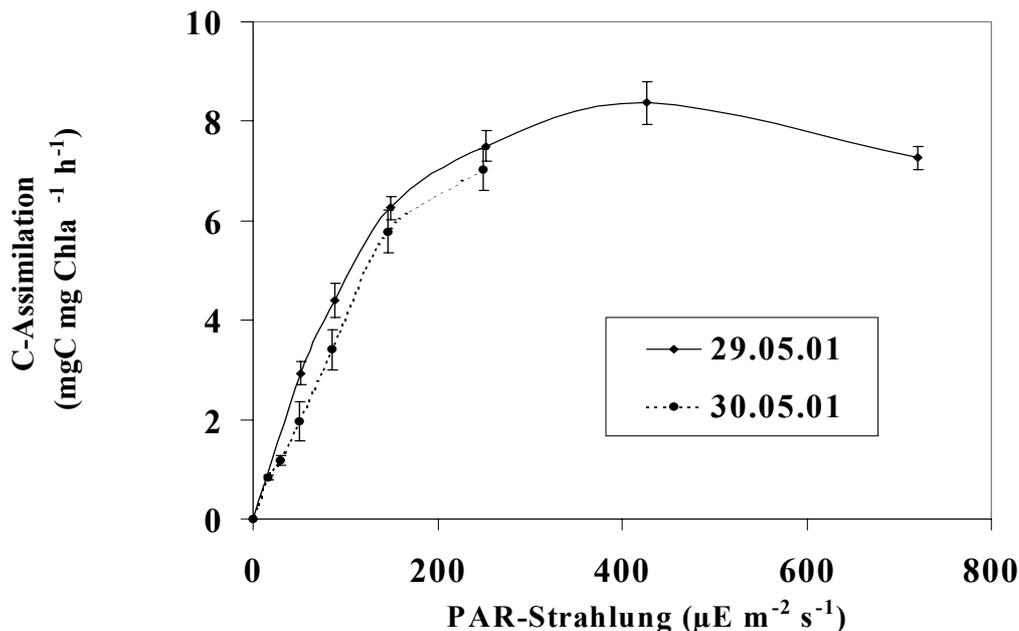


Abb. 24: Vergleich zweier an Folgetagen gemessener ^{14}C -P-I-Kurven. Trotz differierender mittlerer Tages-Lichtintensitäten ergeben sich vergleichbare Kurvenverläufe, eine entsprechende Modellierung kann also für einen zeitlich begrenztem Rahmen (ca. 5 Tage) tatsächlich anhand nur einer Messung vorgenommen werden.

Licht-Relationen gut überein. Die wichtigen P-I-Kriterien (Anstieg der Kurve, Photosynthesemaximum und Lichtsättigungswert) lassen sich also für einen begrenzten Zeitraum (wenige Tage) durchaus aus einer Messung unter beliebigen äußeren Umständen ableiten (gilt nur für permanent durchmischte Systeme, bei welchen von einer homogenen Tiefenverteilung der Primärproduzenten ausgegangen werden kann.).

2.3.2.4 Vergleich pelagischer zu gesamtsystemaren Sauerstoffumsätzen

Wie am Beispiel der Ergebnisse einer Messung am 01.06.2002 am Elbe-Km 356,6 (2te Längsbereisung in 2002) ersichtlich (Abb. 25), zeigte die tiefenaufgelöste Bruttoprimärproduktion (gemessen als Sauerstofffreisetzung nach der Winkler-Methode) keine bedeutsamen Differenzen zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom. Im Gegensatz hierzu sind deutliche Differenzen bei den Tagesgängen der Sauerstoffkonzentration zu registrieren.

Diese Auffälligkeiten wurden bei allen angefahrenen Stationen während der 4 in 2002 durchgeführten Bereisungen registriert und scheinen prinzipiell zu sein. Die zunächst gegensätzlich erscheinenden Ergebnis-Aussagen verdeutlichen die Rolle von atmosphärischer Be-/Entlüftung, Wassertiefe und benthischer Aktivität. Höhere Tagesmaximalwerte der

Sauerstoffkonzentration in den Bühnenfeldern können aufgrund der dort reduzierten Turbulenz zunächst als Ergebnis geringeren physikalischen Austrages an die Atmosphäre interpretiert werden.

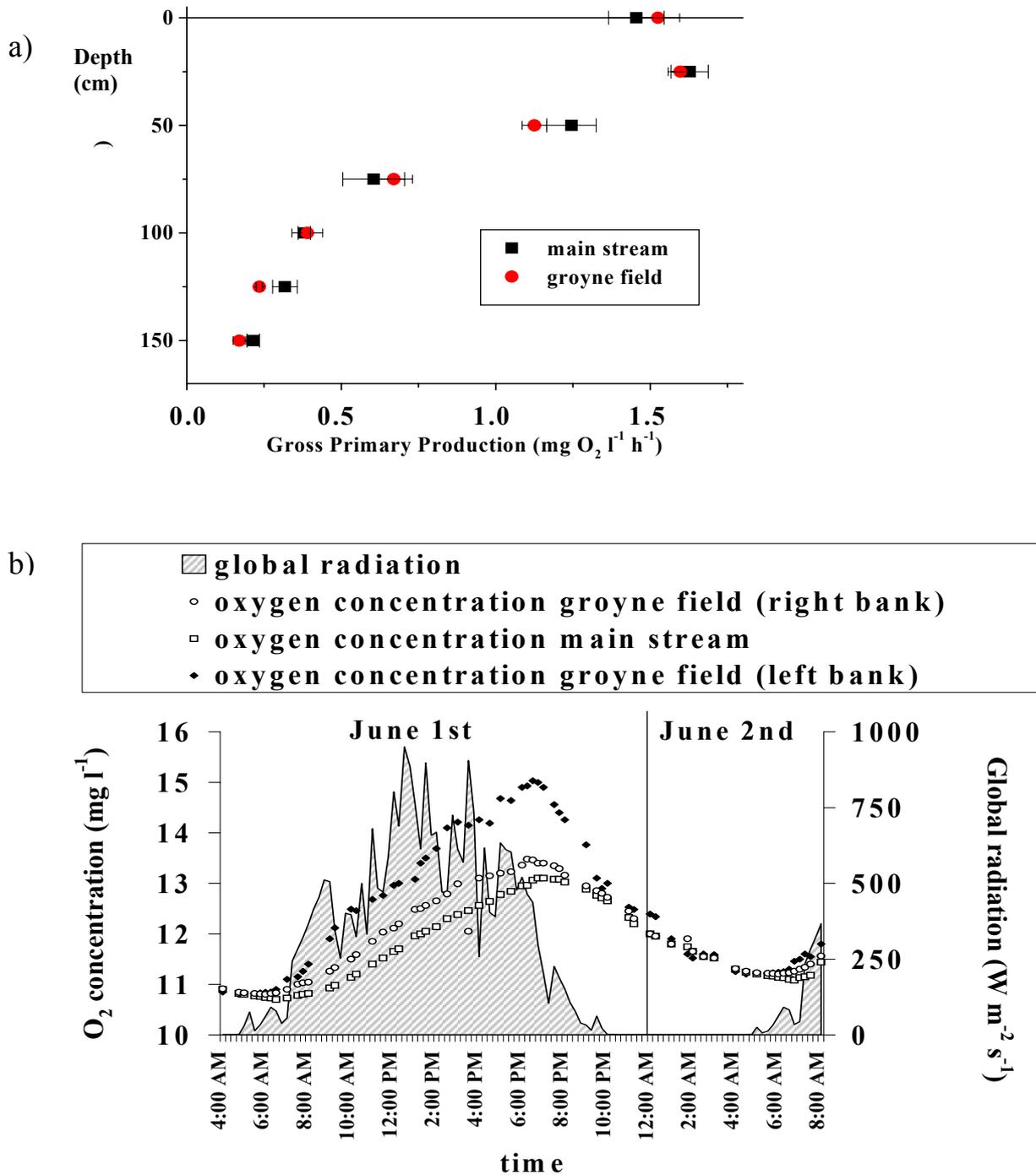


Abb. 25 a, b. Ergebnisse eines 30-Stunden-Aufenthaltes am ElbeKm 356.6 am 01.06.2002 während der Elbe-Längsbereisung Mai/Juni 2002. Tiefenverteilung der pelagischen Primärproduktion (Brutto-Produktion \pm Standardabweichung) für Hauptstrom und Bühnenfeld (linke Seite) (Abb. 25 a). Die nahezu identische Anordnung der Messpunkte verdeutlicht, dass sich die rein pelagischen Sauerstoffumsätze zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom nicht unterscheiden. Globalstrahlung (global radiation) und Sauerstoffanglinien für rechtes und linkes Bühnenfeld sowie den Hauptstrom (Abb. 25 b). Die Sauerstoffsättigung war auch nachts nie unter 100% gesunken. Es wird deutlich, dass die Sauerstoffanglinien in den Stillwasserzonen deutlich ausgeprägter sind. Desweiteren treten die Tagesmaxima im Hauptstrom vor jenen in den Bühnenfeldern auf.

Für Sauerstoffgehalte unterhalb der Sättigung würde ein erhöhter Eintrag im Hauptstrom auch die dort geringeren Defizite erklären. Da die Elbe während der Untersuchungen jedoch überwiegend gantztägig hohe Übersättigungsgrade aufwies (bis 250%), können abiotische Kriterien nicht als alleinige Ursache für diese Beobachtungen angesehen werden. Es gilt daher, die Bedeutung pelagischer und benthischer Respiration zu berücksichtigen. Bei gleicher volumenspezifischer pelagischer Respiration bleibt vom Bruttoprimärprodukt im Bühnenfeld netto mehr erhalten, da das Volumen unter einer definierten Oberfläche im Hauptstrom größer ist und folglich der Gesamt-Sauerstoffverbrauch höhere Werte erzielt. Während dieser Prozess als zweiter Grund für erhöhte Tagesmaxima im BF zu verstehen ist, liefert er jedoch immer noch keine Erklärung für die Beobachtung geringerer Tagesminimalwerte im Bühnenfeld. Für dieses Phänomen muß die benthische Respirationsleistung verantwortlich sein. Die Wassersäule über einer Fläche Benthos ist im BF geringer, die Sauerstoffzehrung entsprechend bedeutsamer für die Konzentrationsabnahme je Liter Wasser. Trotz niedriger Tagesminima schien die Tages-Massenbilanz des Sauerstoffhaushaltes in den Bühnenfeldern meist höher als für den korrespondierenden Hauptstrombereich. Leider war eine wirkliche Sauerstoffganglinienanalyse aufgrund mangelnder Informationen zu Gewässertiefe, Sohlrauhigkeit etc. nicht möglich. Die Vielzahl von Vergleichsuntersuchungen kann auch erst nach Verfügbarkeit dieser Informationen zur vollständigen Bilanzierung und der finalen Bewertung führen. Die tabellarische Auflistung der Einzelergebnisse bietet zum gegenwärtigen Zeitpunkt daher keine Mehrinformation und soll außenvor bleiben. Es ist dennoch anzunehmen, dass Stillwasserzonen wie Bühnenfelder meist als Quelle für Primärprodukte im Hauptstrom fungieren. Hierfür spricht auch die Zeitverzögerung des Tages-Extremwerte des Hauptstromwassers gegenüber dem Bühnenfeldwasser. Das BF-Wasser wird verzögert in den Strom eingemischt, durch die langsame „Fütterung“ der freifliessenden Welle mit BF-Wasser treten entsprechende Extrema zeitverzögert auf.

2.3.2.5 Phytoplankton in Hauptstrom und Bühnenfeld entlang der Elbe

Eine der Anliegen des Projektes war das Ziel der Nachweisbarkeit potenzieller Differenzen im Phytoplanktongehalt zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom. Forschungen am „Magdeburger Bühnenfeld“ (KM 317) hatten keine nutzbaren Ergebnisse gebracht. Ein wesentlicher Grund hierfür ist in der relativ schwierigen Quantifizierung von Biomasse und/oder Abundanz von Phytoplankton mittels Mikroskop zu sehen. Selbst bei hoher Zählgenauigkeit und hoher Algendichte muss mit einem Fehler von ca. 20% kalkuliert werden. Sind die Differenzen geringer, lässt sich statistisch keine eindeutige Aussage machen. Dies gilt umso mehr für jene Arten, die nur in geringer Abundanz vertreten sind. Selbst bei Anwesenheit in der einen, aber Abwesenheit in der korrespondierenden Probe kann für solche Organismen keine Aussage getroffen werden, wenn die Anzahl unzureichend ist.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde beschlossen, sich der Frage nach Differenzen in der Biomasse/-abundanz von Algen zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom auf physiologische Weise zu nähern. Hierzu wurde ein hochoempfindliches PAM-Fluorometer (Puls-Amplituden-Moduliertes Fluoreszenzmessgerät, Firma Walz, Effeltrich) immer dann eingesetzt, wenn es sich während der Längsbereisungen oder anderen Untersuchungskampagnen anbot.

Abb. 26 zeigt den Verlauf der mittels PAM-Fluorometrie bestimmten Konzentration an Diatomeen-Chlorophylla an einer ufernahen (Bühnenkopf) und einer flussmittigen Messstelle am Elbe-Km 472,4. Die Graphik verdeutlicht, dass die zeitliche Dynamik an beiden Messstellen korreliert, im ufernahen Bereich jedoch kontinuierlich geringere Mengen Diatomeen auffind-

bar waren als im Hauptstrom. Diese Unterschiede sind extrem gering und nur mit Hilfe einer sehr empfindlichen Messtechnik nachweisbar. Parallele Planktonzählungen konnten keine Differenzen belegen, was aber schon aufgrund des Zählfehlers von ca. 20% nicht verwunderlich scheint. Der Uferbereich beinhaltet vor der Messstelle eine lange Kette von Bühnenfeldern, die Vorgeschichte der beprobten Wassermassen sollte sich also erheblich unterscheiden. Eventuell sind die mittels PAM detektierten Differenzen aber auch als Artefakt zu betrachten, dann nämlich, wenn die im Hauptstrom gewonnenen Proben durch Havelwasser beeinflusst waren. Der oberhalb der das Km 472 in die Elbe mündende Gnevdsdorfer Vorfluter könnte die Qualität des Elbewassers, und damit auch die Konzentration und Zusammensetzung des Phytoplanktons beeinflusst haben. Dies konnte aber nicht hinreichend untersucht werden. Da die Havel oftmals rückgestaut ist und vielfach nur geringe Mengen Wasser in die Elbe gelangen, wird zunächst aber davon ausgegangen, dass eine Störung damals nicht vorlag. Unter diesen Bedingungen wirkte diese Bühnenfeldkette während der Untersuchungsperiode dann offenbar als Senke für

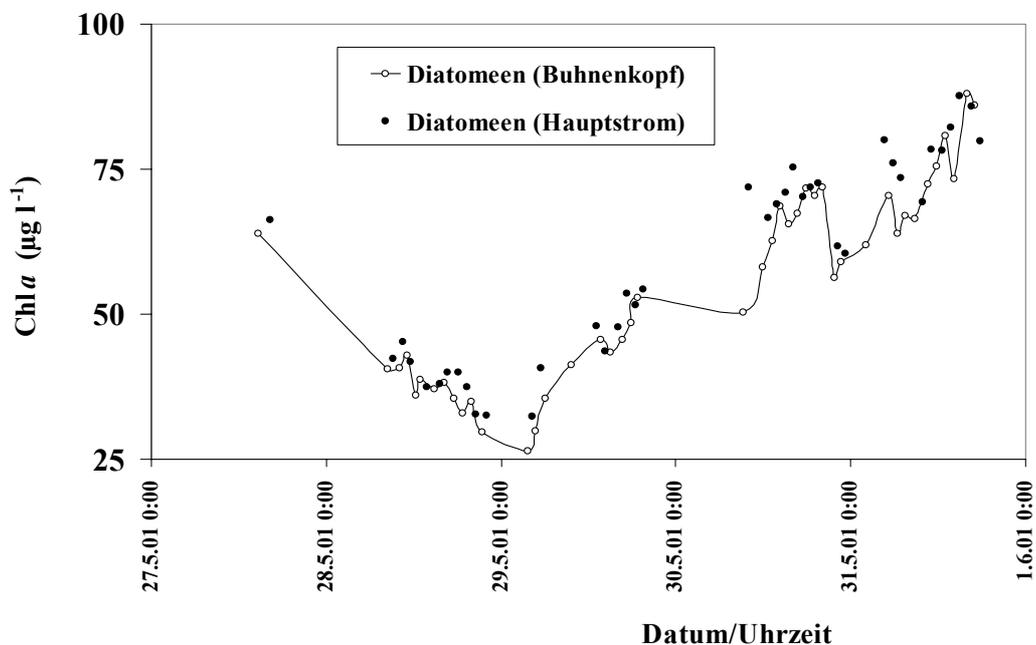


Abb. 26: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Diatomeen-Chlorophylla in ufernahem Wasser (Bühnenkopf) und Hauptstromwasser am Elbe-Km 472,4. Gemessen wurde mit einem PAM-Fluorometer (Fa. Walz, Effeltrich).

das Phytoplankton. Die spezifische Aktivität des Chlorophylls (gemessen als Elektronentransportraten in Abhängigkeit der verfügbaren Lichtintensität) war hingegen nicht nachweisbar verschieden. Die Resultate wurden daher nicht gesondert dargestellt. Dies gilt ebenso für die Konzentrationen und Aktivitäten des Chlorophylls *a* der Chlorophyceen und Cyanobakterien. Deren Biomasse war sehr gering, Unterschiede zwischen Bühnenkopfwasser und Hauptstromwasser waren daher nicht signifikant.

Die Ergebnisse dieses Versuchs wurden insofern als bedeutsam eingestuft und erwähnt, als sie tatsächliche Hinweise auf Differenzen aufzeigen. Der Versuchsansatz scheint richtig zu sein und sollte für kommende Untersuchungen einbezogen werden. Mittlerweile dürften noch

weiter verfeinerte Geräte auf dem Markt sein, welche die Limnologie diesbezüglich weiterführen kann.

3. Zusammenfassende Diskussion

Die Untersuchungen im „Bühnenfeld-Projekt“ hatten zum Ziel, die Bedeutung von Stillwasserzonen für den Hauptstrom der Elbe zu beschreiben und sie als Quelle oder/und Senke zu definieren. Dieses war eingebunden in das Elbe-Ökologie-Forschungsprogramm des BMBF und trägt zum Verständnis dieses einmaligen Gewässers bei. Die vom BMBF unterstützten Forschungen im Verbund wurden u.a. in Gruber & Kofalk 2001 vorgestellt und finden sich in Ausführlichkeit unter www.elise.de. Die folgende Diskussion soll die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Bühnenfeldprojekt bündeln:

Mit den genaueren Untersuchungen eines Bühnenfeldes in Verbindung mit dem Hauptstrom sollten die für das Projekt wesentlichen Prozesse identifiziert und deren Variabilität unter dem Einfluss von abiotischen Faktoren beschrieben werden. Insbesondere Untersuchungen am „Magdeburger Bühnenfeld“ zeigten, dass für partikuläre Stoffe die Reduktion von Fließgeschwindigkeit und Turbulenz innerhalb des Stillwasserbereichs zu Verlusten durch Aus-sinken führt. Das Bühnenfeld unter Bedingungen geringerer Wasserführung als Stoffsenke, ab einem gewissen Schwellenwert aber auch das angesammelte Material wieder freigeben können, wurde auch von anderen Autoren gefunden (Westrich 1977, Spott & Guhr 1996, Schwartz & Kozerski 2002) und muß als Mechanismus der Stoffretardation in Fließgewässern betrachtet werden. Die damit einhergehende Zeitverzögerung des Verfrachtungs-geschehens erhöht das Selbstreinigungsvermögen des Flusses.

Das Untersuchungsjahr 2000 eignete sich für diese Arbeiten besonders, da während der Messperiode der Durchfluss weitgehend konstant blieb (knapp über MNQ), so dass der ungestörte jahreszeitliche Verlauf der Wechselbeziehungen Hauptstrom-Bühnenfeld studiert werden konnte.

Wie die Ergebnisse zeigen, setzt sich in den Bühnenfeldern ein Teil der Schwebstoffe ab, was sich anhand der Differenzen der Schwebstoffparameter Trockenmasse, Glührückstand, POC, partikulär gebundener Phosphor und Stickstoff zwischen Hauptstrom und Bühnenfeldauslauf zeigen lässt. Der Schwebstoffgehalt wurde um durchschnittlich 24 % zurückgehalten. In den Jahren 2001 und 2002 mit höheren und wechselnden Wasserführungen, wurden Abnahmen von nur 13 bzw. 11 % ausgemacht. Bilanzrechnungen zeigten, dass bei Wasserführungen unter MQ in mehr als 50 % der Fälle die Stoffabnahme 10 bis 30 % beträgt. Mit den aus-sinkenden Schwebstoffen bleiben auch partikulär gebundene Nährstoffe zurück. Beim Gesamtsilicat deutet sich ein ähnliches Verhalten an. Die Schwebstoffe, die das Bühnenfeld wieder in Richtung Hauptstrom verlassen, sind leichter, da der Glührückstand bei der Bühnenfeldpassage zurückgeht (2000 um 6 %). Die gelösten Nährstoffanteile, der Chlorophylla-Gehalt sowie das Sauerstoffproduktionspotenzial unter Laborbedingungen ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen Hauptstrom und Bühnenfeld. Die Sauerstoffsättigung erreicht im Bühnenfeld bei Wassertemperaturen über 16° höhere Werte als im Hauptstrom. Das sind Zeiträume mit intensiver Bioaktivität, wo die Sauerstoffsättigung meist Werte über 100 % erzielt. Die längere Verweilzeit des Wassers, der Beitrag des Phytobenthos und der im Vergleich zum Hauptstrom größere Anteil des durchlichteten Wasserkörpers an der Wassersäule bedingen die höheren Sättigungswerte im Bühnenfeld.

Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass das sich im Bühnenfeld absetzende Material hauptsächlich biologischen Ursprungs ist (z. B. Detritus). Das wird durch den Jahresgang des Schwebstoffgehaltes gestützt - im Sommer mit höheren Konzentrationen (stärkerem Algenwachstum), die zum Winter hin immer mehr abnehmen. Mit größeren Wasserführungen verringert sich der Anteil des im Bühnenfeld aussinkenden partikulären Materials. Neben der hydrologisch verursachten Wasserstandsdynamik wirken Starkwinde und die Schifffahrt als Störgrößen auf die Wechselbeziehungen zwischen Hauptstrom und Bühnenfeld. Hier wurde nur die Schifffahrt betrachtet. Je nach Schiffstyp, -geschwindigkeit, -tiefgang, -antriebsart, Abstand zum Ufer, Wasserstand und anderen Faktoren wird die vom Schiff ausgehende Sunk- und Schwallwirkung auf das Bühnenfeld unterschiedlich stark ausfallen. Dabei wird abgelagertes Sediment aufgewirbelt und teilweise flussabwärts bzw. in die unterhalb gelegenen Bühnenfelder verfrachtet. Wie gezeigt werden konnte, remobilisieren Passagierschiffe mit Strahl-Antrieb das abgelagerte Material am stärksten. Die Zeit, in der anhand erhöhter Schwebstoffkonzentrationen die Schiffsdurchfahrt an einer Messstelle nachweisbar ist beträgt ca. 10 min. Vor 1990 konnte die Wirkung der Schifffahrt noch 90 –120 Minuten nach einer Durchfahrt verfolgt werden (Spott & Guhr 1996). Zu jener Zeit waren die Bühnenfelder größtenteils mit schwarzem Schlamm (Belebtschlamm) bedeckt, der aus der biologischen Reinigungsfunktion des Stromes für die ungeklärten Abwässer herrührte.

Die wiederholten Untersuchungen im Hauptstrom beim Durchgang eines solchen Schiffes mit Strahl-Antrieb im Jahre 2000 belegten, dass mit fortschreitender Jahreszeit die aufgewirbelte Schwebstoffkonzentrationen immer mehr abnahmen, d. h., dass sich neben dem biologisch bedingten Rückgang des absetzbaren Schwebstoffpotenzials auch andererseits die erodierbaren Ablagerungen verringerten. Nach stärkerem Wasserstandsanstieg konnten 2001 bei Schiffspassagen (Strahl-Antrieb) ebenfalls kaum Zunahmen der Schwebstoffgehalte beobachtet werden.

Die Momentaufnahmen bei der Beprobung von Wässern aus Bühnenfeldern und den korrespondierenden Hauptstrombereichen sowie deren Analysen hatten unklare Ergebnisse hinsichtlich der biologischen Größen geliefert, aus denen kein einheitliches Muster abzulesen war. Hieraus war zu folgern, dass trotz der strömungsberuhigten und turbulenzverringerten Stillwasserbereiche ein intensiver Austausch mit dem Hauptstrom herrscht, welcher weitere Beschleunigungen durch Störgrößen wie Schifffahrt und stärkere Winde erfährt. Hydraulische Effekte im Zusammenhang mit Bühnenfeldern wurden durch Westrich (1977), Przedowski (1995), Carling *et al.* (1996), Engelhardt *et al.* (2001), Uijttewaai *et al.* (2001) und Sukhodolv *et al.* 2002 beschrieben, wo teilweise auch die Gewässerbiologie betreffende Resultate dargestellt wurden.

Im Gegensatz hierzu brachten zeitverzögerte Beprobungen, der Einsatz von in situ-Dauermesssonden sowie die Anwendung moderner Fluoreszenzmesstechnik sehrwohl Differenzen zu Tage. Damit konnte für das Phytoplankton ein ähnliches Ergebnis wie für die Schwebstoffe dokumentiert werden, wenngleich sich die Autoren deutlichere Unterschiede erhofft hatten. Einfache mikroskopische Vergleichsuntersuchungen hatten keinerlei Rückschluss bezüglich vorhandener Selektionsvorteile einer/mehrerer Phytoplanktonarten/Gattungen durch die verlängerte Verweilzeit im Bühnenfeld zugelassen. Die Theorie, dass schwere Diatomeen vermehrt aussinken und damit eine indirekte Förderung konkurrierender Arten eintreten würde, ließ sich nur durch weiterführende Vergleichsmessungen stützen. Die über einen längeren Zeitraum im Halbstundentakt durchgeführte fluorometrische (PAM-Methode), gruppenselektive Analyse von Hauptstromproben und Wasser aus dem korrespondierenden Bühnenfeld zeigte systematisch einen geringeren relativen Anteil der Diatomeen für den

Stillwasserbereich an. Kontrollzählungen am Mikroskop waren jedoch auch aufgrund des Zählfehlers von 20% nicht aussagekräftig.

Die deutlichsten Ergebnisse hinsichtlich des Stoffumsatzes ergaben sich aus dem Vergleich pelagischer Primärproduktionsmessungen mit in-situ-Sauerstoffganglinien. Grundsätzliche Informationen zur Vorgehensweise bei den Einzelmethoden sind u.a. in Thysson & Erlandsen (1987), Nixdorf & Fulda (1989) und Uehlinger (2000) erhältlich. In Ockenfeld (2001) wird das Potenzial eines Vergleiches zwischen den Methoden dargestellt, die für eine umfangreiche Analyse notwendigen Randbedingungen/Vorinformationen beschrieben und eine umfangreiche Literatursammlung zitiert. Die Ergebnisse im Zusammenhang mit dem Bühnenfeldprojekt machten deutlich, dass sich rein pelagische Stoffumsätze (Winkler-Flaschenmethode) und die sich entsprechend im Pelagial verändernden Konzentrationen zwischen Bühnenfeld und Hauptstrom nicht klar unterscheiden. Dementgegen zeigen in situ-Sauerstoffmessungen teilweise extreme Unterschiede im Tagesgang. Damit outen sich physikalische und benthische Prozesse als dominierend im Austauschgeschehen zwischen Stillwasserzonen und Hauptstrom. Fließgewässer wurden langezeit entweder hinsichtlich des Pelagials oder aber des benthischen Bereichs untersucht, das River-Kontinuum-Konzept (Vannote *et al.* 1980) und dessen Erweiterung (Billen *et al.* 1994) waren wichtige Stationen auf dem Weg zu einem ganzheitlichen Verständnis. Einen integrierenden und weiterführenden Ansatz stellten auch Wanner *et al.* (2002). Die eigenen Ergebnisse verdeutlichen die Wichtigkeit von Forschungsarbeiten zur Kopplung benthisch-pelagischer Prozesse in Fließgewässern. Diesem Zweig der Ökologie sollte in Zukunft mehr wissenschaftliche Kapazität gewidmet werden.

Bei der Diskussion dieser Ergebnisse interessiert nun die Frage, welche Bedeutung haben die Bühnenfelder für den Elbestrom oder anders ausgedrückt: Wie unterscheidet sich ein Strom mit Kastenprofil von einem mit Bühnenfeldern? Neben der ökologischen Funktion (Habitatnischen), die hier nicht Gegenstand sind, haben Bühnenfelder eine Senken- und Quellenfunktion für Schwebstoffe. Deren Auswirkungen für die Gesamtelbe abzuschätzen, bedarf eines entsprechenden Modellansatzes. Mit der Erweiterung von QSIM sollte das möglich sein. Da eine Wassersäule im Hauptstrom aufgrund seiner Tiefe prozentual weniger durchlichtet ist als eine Wassersäule im flachen Bühnenfeld, ist das Verhältnis Produktion/Respiration kleiner als im Flachbereich. Wie bereits dargelegt, geht somit von den Bühnenfeldern ein Sauerstoff-Input für den Hauptstrom aus. Wenngleich gezeigt werden konnte, dass die Bühnenfelder als Senke für schwerere Algen dienen können, gelangen andererseits tiefere Schichten eines Wasserkörpers auf ihrem Wege flussabwärts an die Wasseroberfläche und damit auch zeitweise in die Bühnenfelder, wo die mitgeführten Algen infolge der längeren Verweilzeit einem stärkeren Lichtgenuss unterliegen als im Hauptstrom, so dass sie günstigere Voraussetzung für die Produktion auf ihrem weiteren Transportweg haben als Algen, die sich nur in einem Fluss mit Rechteckprofil bewegen würden. Offenbar werden Verluste durch Aussinken kompensiert und sogar überkompensiert, so dass ein Fluss wie die Elbe nach dem zunehmenden Algengehalt entlang der Fließstrecke im unteren Bereich des Mittellaufes als hocheutroph einzustufen ist. Da - wie oben erwähnt - die Umsätze eines Bühnenfeldes - im Fehlerbereich von herkömmlichen Methoden liegen, müssen die künftigen Untersuchungsstrategien mit verfeinerter Technik und längeren Messzeiten unter Berücksichtigung der Benthosaktivitäten vorgenommen werden.

4. Endbericht-Zusammenfassung

In diesem Vorhaben wurden die stofflichen Wechselwirkungen zwischen Hauptstrom und Buhnenfeldern der Elbe untersucht. Den Schwerpunkt bildeten die Nährstoff-Phytoplankton-Beziehungen, um insbesondere das Algenbildungspotenzial der Buhnenfelder im Hinblick auf den Hauptstrom aufzuklären. Dazu dienten Untersuchungen an einem Buhnenfeld sowie 5 fließzeitkonforme Elbe-Längsbereisungen. Die Buhnenfelder, in denen der Wasserkörper annähernd eine Stunde verweilt, dienen als Senke für Schwebstoffe mit den darin gebundenen Nährstoffen bei Wasserführungen unter MQ. Etwa 10 bis 30% werden bei ungestörten Verhältnissen zurückgehalten. Das mengenmäßige Absetzpotenzial wird von der Saisonalität der Phytoplanktonentwicklung im Strom bestimmt. Durch die Erosionswirkung bei Wasserstandsanstieg und Schifffahrt werden abgelagerte Sedimente remobilisiert und stromab bzw. in die nächsten Buhnenfelder verfrachtet. In Abhängigkeit vom Schiffstyp ist die Wirkung einer Schiffspassage bis zu 10 min. anhand erhöhter Schwebstoffwerte im Strom nachweisbar. Bei den gelösten Nährstoffen konnten keine Differenzen zwischen Buhnenfeldern und Hauptstrom ausgemacht werden. Ebenfalls war über die Chlorophyllmessungen, Planktonanalyse und Aktivitätsmessungen bei Einzelprobenahmen kein systematischer Unterschied zwischen den Kompartimenten detektierbar. Die Sauerstoffzehrung im Buhnenfeld liegt über der des Hauptstromes bei Gewässersituationen, die sich durch Wassertemperaturen $< 16^{\circ}\text{C}$ beschreiben lassen.

Eine mit der BfG gemeinsam durchgeführte Elbebereisung 2000 zeigte bei kontinuierlich bzw. über einen längeren Zeitraum gemessenen Größen wie Sauerstoffkonzentration und Primärproduktion, dass Unterschiede zwischen den Buhnenfeldern und dem Hauptstrom existieren. Aus den Erfahrungen dieser Bereisung und den Untersuchungsergebnissen an einem Buhnenfeld wurde ein zum Patent angemeldeter Inkubator für Labor- und Freilanduntersuchungen entwickelt und während 4 weiterer Längsbereisungen Licht-Wachstumskurven des Elbe-Phytoplanktons bestimmt, anhand derer solche Größen wie Effektivität des Wachstums und maximale Wachstumsrate unter den gegebenen Bedingungen erstmalig aus in-situ-Messungen für QSIM und andere Wassergütemodelle zur Verfügung stehen.

Im Gegensatz zur mikroskopischen Planktonanalyse mit einem Zählfehler von 20% konnte mit einer über einen längeren Zeitraum durchgeführte fluorometrische (PAM-Methode), gruppen-selektive Analyse von Hauptstromproben und Wasser aus dem korrespondierenden Buhnenfeld systematisch ein geringerer relativer Anteil der Diatomeen für den Stillwasserbereich gefunden werden.

Der wesentliche Einfluss der Buhnenfelder auf den Hauptstrom resultiert aber aus dem unterschiedlichen relativen Anteil des durchlichteten Bereiches einer Wassersäule (Tiefendifferenzen) im Hauptstrom und im Buhnenfeld. Da im Flachwasserbereich gegenüber dem tiefen Hauptstrom das Produktions-Respirationsverhältnis größer ist, werden auf dem Fließweg mit dem sich wiederholenden Wasseraustausch Hauptstrom-Buhnenfeld, immer wieder Phytoplankter in den Hauptstrom zurückgeführt, die mehr Licht aufgenommen haben und somit die Primärproduktion des Flusses günstig gestalten können. Die starke Phytoplanktonzunahme im Flusslängsschnitt ist Ausdruck dieser Aktivität. Eine weiterreichende Quantifizierung dieses Einflusses konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht erreicht werden und muss Berechnungen mit der erweiterten Version von QSIM vorbehalten bleiben. Weitere intensive Grundlagen-

arbeiten sind dennoch wichtig und sollten in weiteren Forschungsprogrammen berücksichtigt werden.

5. Literatur

Die hier genannten Beiträge stellen eine Komplettsammlung dar und beziehen sich sowohl auf den vorliegenden Bericht, als auch auf die im Projekt entstandenen Publikationen und die Diplomarbeit.

Adler, M. (1993): Messungen von Durchflüssen und Strömungsprofilen mit einem Ultraschall-Doppler Gerät. – Wasserwirtschaft 192-196

Allan, J.D. (1995): Stream ecology: structure and function of running waters. Chapman & Hall, London, 1-388.

Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung (1986). Bd. 1. G. Fischer-Verlag, Jena, 1-517.

Bahnwart, M. (2001): Ökophysiologische Untersuchungen zu den steuernden Faktoren der Phytoplankton-ukzession im Verlauf der Fließstrecke der Warnow. Dissertation, Universität Rostock.

Basu, B.K. & Pick, F.R. (1996): Factors regulating phytoplankton and zooplankton biomass in temperate rivers. Limnol. Oceanogr., **41**, 1572-1577.

Billen, G., Garnier, J. & Hanset, P. (1994): Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER model applied to the seine river system. Hydro-biologia, **56**, 109-112.

Böhme, M., Eidner, R., Ockenfeld, K. & Guhr, H. (2001): Ergebnisse der fließzeitkonformen Elbe-Längsbereisung 26.06.-07.07.2000. In: Ergebnisse der fließzeitkonformen Elbe-Längsbereisung 26.06.-07.07.2000. Berichte der Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG-1309, Koblenz, 0-256.

Brandt, S. (2003): Ermittlung des pelagischen Phytoplankton-Wachstums unter Berücksichtigung des Zooplankton-Fraßes eines mitteldeutschen Fließgewässers (Elbe). – Diplomarbeit, Universität Halle

Buchwitz, H. (1960): Ein Beitrag zur Hydrologie des Elbestromes. Wasserwirtschaft und –technik., **10**, 426-432.

Carling P. A., Kohmann F. and Golz E. (1996). River hydraulics, sediment transport and training works: their ecological relevance to European rivers. Arch. Hydrobiol. Suppl. **113** (10), 129-146

Cole, J.J., Caraco, N. F. & Peierls, B.L. (1992): Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid freshwater, tidal estuary? Limnol. Oceanogr., **37**, 1608- 1617.

Deppe, T., Ockenfeld, K., Meybohm, A., Opitz, M. & Benndorf, J. (1999): Reduction of Microcystis blooms in a hypertrophic reservoir by a combined ecotechnological strategy. Hydrobiologia, **408/409**, 31-38.

de Ruyter van Steveninck, E.D., Admiraal, W., Breebaart, L., Tubbing, G.M.J., van Zanten, B. (1992): Plankton in the River Rhine: structural and functional changes observed during downstream transport. J. Plankton Res., **14**, 1351-1368.

de Ruyter van Steveninck, E.D., van Zanten, B. & Admiraal, W. (1990): Phases in the development of riverine plankton: examples from the rivers Rhine and Meuse. Hydrobiol. Bull., **24**, 47-55.

Descy, J.-P. (1987): Phytoplankton composition and dynamics in the River Meuse (Belgium). Arch. Hydrobiol. Suppl., **78**, 225-245.

- Descy, J.P., Everbecq, E. & Smits, J.S. (1988): Primary production in the River Meuse (Belgium). Verh. Intern. Verein. Limnol., **23**, 1287-1291.
- Descy, J. P. (1993): Ecology of the phytoplankton of the River Moselle: Effects of disturbance on community structure and diversity. *Hydrobiologia* **249**, p. 111-116
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (1997). Wiley-VCH, Weinheim.
- Dokulil, M. T. (1994): Environmental control of phytoplankton productivity in turbulent turbid systems. *Hydrobiologia* **289**, p. 65-72
- Eidner, R., Kirchesch, V., Guhr, H., Böhme, M. & Müller, D. (2002): Untersuchungen zum Stoffumsatz in Bühnenfeldern der Elbe. - Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 17. bis 21. September 2001. Tagungsberichte der DGL, Eigenverlag der DGL, Tutzing, S. 423-428
- Engelhardt C. H., Brunke M. and Sukhodolov A. N. (2001). Effect of navigation on bed shear stresses, sediment entrainment and aquatic organisms in groyne fields. Proceedings of the 2001 International Symposium on Environmental Hydraulics (IAHR); Beijing: 439-445.
- Falkowski, P.G., Dubinsky, Z. & Wyman, K. (1985): Growth-irradiance relationship in phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **30** (2), 311-321.
- Ferrari, I., Farabegoli, A., & Mazzoni, R. (1989): Abundance and diversity of planktonic rotifers in the Po River. *Hydrobiologia*, **186**, 201-208.
- Franz, H. (1990): Schwebstoffe im Rhein. In: Kinzelbach, R. & Friedrich, G. [Hrsg.]: *Biologie des Rheins*. G. Fischer-Verlag, Stuttgart, 161-180. (Limnologie Aktuell 1).
- Friedrich, G. & Müller, D. (1984): Rhine. In: Whitton, B.A. [ed.]: *Ecology of European rivers*. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 265-316.
- Gallegos, C.L. & Platt, T. (1982): Phytoplankton production and water motion in surface mixed layers. *Deep Sea Res. Part I- Oceanographic Research Papers*, **29**, 65-76.
- Gervais, F., Hintze, T., Behrend, H. (1999): An incubator for the simulation of a fluctuating light climate in studies of planktonic primary production. *Intern. Rev. Hydrobiol.*, **84**, 49-60.
- Gervais, F., Opitz, D. & Behrendt, H. (1997): Influence of small-scale Turbulence and large-scale mixing on phytoplankton primary production. *Hydrobiologia*, **342/343**, 95-105.
- Gibson, C.E. (1987): Adaptation in *Oscillatoria redeckeii* at very slow growth rates- changes in growth efficiency and phycobilin complement. *Br. Phycol. J.*, **22**, 187-191.
- Gosselain, V., Descy, J.-P. & Everbecq, E. (1994): The phytoplankton community of the River Meuse, Belgium: seasonal dynamics (year 1992) and the possible incidence of zoo-plankton grazing. *Hydrobiologia*, **289**, 179-191.
- Gosselain, V., Descy, J.-P., Viroux, L., Joaquim-Justo, C., Hammer, A., Métens, A., Schweitzer, S. (1998): Grazing by large river zooplankton: a key to summer potamoplankton decline? The case of the Meuse and Moselle rivers in 1994 and 1995. *Hydrobiologia*, **369/370**, 199-216.
- Gosselain, V., Joaquim-Justo, L., Viroux, M., Mena, A., Metens A. & Descy, J.-P. (1996): Laboratory and in situ grazing rates of freshwater rotifers and their contribution to community grazing rates. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **113** (Large rivers 10), 353-361.
- Grobbelaar, J.U. (1989): Do light/dark cycles of medium frequency enhance phytoplankton productivity?. *J. Appl. Phycol.*, **1**, 333-335.

- Gruber B. and Kofalk S. (2001). The Elbe – Contribution of the IKSE (International Commission for the Protection of the Elbe River) and of several research programmes to the protection of an unique riverscape. Bulletin Permanent International Association of Navigation Congress (P.I.A.N.C) – Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation (A.I.P.C.N) **106**, 35-47.
- Guhr, H., Büttner, O., Dreyer, U., Krebs, D., Spott, D., Suhr, U., Weber, E. (1993): Zusammenstellung, Auswertung und Bewertung des vorhandenen Datenmaterials über die stoffliche Belastung der Gewässergüte der Mittelelbe nach einheitlichen gemeinsamen Kriterien (Vorstudie). (UBA-Forschungsbericht 104 04 392).
- Guhr, H., Baborowski, M., Bormki, G., Karrasch, B., Spott, D. (1999): Die Auswirkungen der Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) auf die Gewässerbeschaffenheit der Stromelbe unter sich verändernden Belastungsbedingungen. (BMBF-Forschungsvorhaben: 02WT9622/8).
- Guhr, H. & Spott, D. (2000): Auswirkungen der Strömungsverhältnisse in Bühnenfeldern auf den Stofftransport und -umsatz der Elbe. - In: v. Mazijk, A. (2000): "Austauschprozesse und Strömungsbilder an Bühnenfeldern". – Berichte zum Miniworkshop. Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 10-13
- Guhr, et. al. (1991): Rechnergestütztes Beratungs- und Informationssystem Elbestrom: Prozessanalyse, Informationssystem, Modellsystem Elbe (BMBF-Forschungsvorhaben 30 F 19-4).
- Guhr, H. (2002): Stoffdynamik in Bühnenfeldern der Elbe – Erste Ergebnisse. – In: v. Mazijk, A. (2002): "Neue Erkenntnisse im Bereich der physikalischen und ökologischen Prozesse an Bühnenfeldern". Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 9-15
- Guhr, H., Ockenfeld, K. (2002): Bühnenfelder als Stoffsenken und -quellen am Beispiel der Elbe. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Eichstätt, 06.-08. Mai 2002. Tagungsberichte der GDCh. Eigenverlag der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Eichstätt: S 155-158
- Hillebrand, H., Dürselen, C.-D., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T. (1999): Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. J. Phycol., **35**, 403-424.
- Holst, H., Zimmermann-Timm, H. & Kausch, H. (2002): Longitudinal and transverse distribution of plankton rotifers in the potamal of the River Elbe (Germany) during late summer. Internat. Rev. Hydrobiol., **87** (2/3), 267-280.
- Ietswaart, T., Breebart, L., van Zanten, B. & Bijkerk, R. (1999): Plankton dynamics in the river Rhine during downstream transport as influenced by biotic interactions and hydrological conditions. Hydrobiologia, **410**, 1-10.
- IKSE (1994): Ökologische Studie zum Schutz und zur Gestaltung der Gewässerstrukturen und der Uferandregionen der Elbe. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg, 1-106.
- IKSE (1995): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg, 1-47.
- Jones, F.H. (1984): The dynamics of suspended algal populations in the lower Wye catchment. Water Res., **18**, 25-35.
- Jones, R.I. & Barrington, R.J. (1985): A study of the suspended algae in the River Derwent, Derbyshire, U.K. Hydrobiologia, **128**, 255-264.
- Kirchesch, V. & Schöl, A. (1999): Das Gewässergütemodell QSIM- ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Phytoplanktodynamik von Fließgewässern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, **44** (6), 302-309.
- Kirk, K.L. & Gilbert, J.J. (1990): Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocers. Ecology, **71**, 1741-1755.

- Klapper, H. (1992): Eutrophierung und Gewässerschutz. 1. Aufl. G. Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart, 1-277.
- Köhler, J. (1991): Wachstum, Produktion und Verluste des Phytoplanktons in einem Flach-landfluss (Untere Spree). Dissertation, Technische Universität Dresden.
- Köhler, J. (1993): Growth, production and losses of phytoplankton in the lowland River Spree. 1. Population dynamics. *J. Plankton Res.*, **15**, 335-349.
- Köhler, J. (1994): Dynamics of phytoplankton in the lowland River Spree (Germany). *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, **25**, 1590-1594
- Köhler, J. (1997): Measurement of in situ growth rates of phytoplankton under conditions of simulated turbulence. *J. Plankton Res.*, **19**, 849-862.
- Köhler, J. (1998): Bedeutung der Flussmorphometrie für Herkunft, Wachstum und Verluste von Planktonalgen in Fließgewässern. *Nova Acta Leopoldina Suppl.*, **15**, 135-152.
- Köhler, J. & Bosse, S. (1998): Growth and losses of phytoplankton studied with a new dialysis chamber technique along the river Spree. *Arch. Hydrobiol.*, **142**, 1-19.
- Köhler, J. & Gelbrecht, J. (1998): Interaction between phytoplankton dynamics and nutrient supply along the lowland river Spree, Germany. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, **26**, 1045-1049.
- Köhler, J., Bahnwart, M., Ockenfeld, K. (2002): Growth and losses of riverine phytoplankton in relation to water depth. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, **87** (2/3), 241-254.
- Kohl, J.-G. & Nicklisch, A. (1988): *Ökophysiologie der Algen*. Akademie-Verlag, Berlin, 1-253.
- Krienitz, L. (1990): Coccale Grünalgen in der mittleren Elbe- *Limnologica* **21** (1): 165-231
- Lack, T.J. (1971): Quantitative studies on the phytoplankton of the Rivers Thames and Kennet at Reading. *Freshwat. Biol.*, **1**, 213-224.
- Lair, N., Reyes-Marchant, P. (1997) : The potamoplankton of the Middle Loir and the role of the "moving littoral" in downstream transfer of algae and rotifers. *Hydrobiologia*, **356**, 33-52.
- Langdon, C. (1988): On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. II. A general review. *J. Plankton Res.*, **10**, 1291-1312.
- Litchman, E. (2000): Growth rates of phytoplankton under fluctuating light. *Freshwat. Biol.*, **44**, 223-235.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le Cren, E.D. (1958): The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimating counts. *Hydrobiologia*, **11**, 143-170.
- Maestrini, S.Y., Sourina, A. & Herbland, A. (1993): Measuring phytoplankton production in 1992 and the coming years: a dilemma? *ICES Mar. Sci. Symp.*, **197**, 244-259.
- Marneffe, Y., Descy, J.-P. & Thomé, J.-P. (1996): The zooplankton of the lower Meuse, Belgium: seasonal changes and impact of industrial and municipal discharges. *Hydrobiologia*, **319**, 1-13.
- Marra, J. (1978): Phytoplankton photosynthesis response to vertical movement in a mixed layer. *Mar. Biol.*, **46**, 203-208.
- Meister, A. (1994): Untersuchungen zum Plankton der Elbe und ihrer größeren Nebenflüsse. *Limnologica*, **24** (2), 153-214.
- Mitscherlich, E.A. (1909): Das Gesetz vom Minimum und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags. *Landw. Jhrb.*, **38**, 537-552.

- Müller, U. (1984): Das Phytoplankton der Elbe. I. Jahreszyklus der Bacillariophyceen im Süßwasserbereich bei Pevestorf. Arch. Hydrobiol. Suppl., **61** (Untersuch. Elbe-Aestuar 5), 587-603.
- Nicklisch, A. (1998): Growth and light absorption of some planktonic cyanobacteria, diatoms and Chlorophyceae under simulated natural light fluctuations. J. Plankton Res., **20** (1), 105-119.
- Nixdorf, B. & Fulda, S. (1989): A method for estimation of phytoplankton dark losses by application of ¹⁴C-technique. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **33**: 445-450
- Nixdorf, B., Behrendt, H. & Stellmacher, R. (1990): Comparison of methods for estimation of integral primary production in shallow aquatic ecosystems with special regard to turbulent mixing. – Limnologica **20**: 53-56
- Ockenfeld, K. (2001): Die Bedeutung verminderter Wasserführung für phytoplanktongekoppelte Stoffumsetzungen und den Sauerstoffhaushalt der Krümmen Spree. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Ockenfeld, K. (2002a): Primärproduktion in Hauptstrom und Bühnenfeldern der Elbe: ein Vergleich. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 17. bis 21. September 2001. Tagungsberichte der DGL, Eigenverlag der DGL, Tutzing, S. 429-434
- Ockenfeld, K. (2002b): Vergleich und Bewertung der planktischen Primärproduktion in Stillwasserzonen und Hauptstrom der Elbe. – In: v. Mazijk, A. (2002): "Neue Erkenntnisse im Bereich der physikalischen und ökologischen Prozesse an Bühnenfeldern". Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 135-144
- Ockenfeld, K., Guhr, H. (2002): Planktische Primärproduktion in der Elbe: Die Bedeutung von Stillwasserzonen für den Hauptstrom der Elbe. In: Geller, W., Punčochář, P., Guhr, H., v. Tümpling jun., W., Medek, J., Smrt'ak, J., Feldmann, H., Uhlmann, O. (Hrsg.): Die Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements. 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar. B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: 195-198
- Ockenfeld, K., Guhr, H. (2003). Groynes - the effects of small dams on the waterquality of the Elbe River (Germany). Water Sciences and Technology **48/7**: 17-24
- Ouillon, S., Dartus, D. (1997): Three-dimensional computation of flow around groynes. J. Hydrol. Engrg., ASCE **123** (11): 962-970
- Pace, M.L., Findlay, S.E.G. & Lints, D. (1992): Zooplankton in advective environments: The Hudson River community and a comparative analysis. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **49**, 1060-1069.
- Pourroit, R. (1977): Food and feeding habitats of rotifera. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., **8**, 243-260.
- Rai, H. (1982): Primary production of various size fraction of natural phytoplankton communities in North German lake. Arch. Hydrobiol., **102**, 239-253.
- Reynolds, C.S. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 1-384.
- Reynolds, C.S. (1988a): Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: Sandgren, C.D. [Hrsg.]: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. University Press, Oxford, 388-433.
- Reynolds, C.S. (1988b): Potamoplankton: paradigms, paradoxes and prognoses. In: Round, F.E. [Hrsg.]: Algae and the aquatic environment. Biopress Ltd., Bristol, 285-311.
- Reynolds, C.S. (1989): Physical determinants of phytoplankton succession. In: Sommer, U. [Hrsg.]: Plankton ecology: succession in plankton communities. Springer-Verlag, Berlin, 9-56.

- Reynolds, C.S. (1992): Algae. In: Calow, P. & Peets, G.E. [Hrsg.]: The Rivers Handbook, Vol. 1, Hydrographical and ecological principles. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 195-215.
- Reynolds, C.S. (1993): Scales of disturbance and their importance in planktonic ecology. *Hydrobiol.* **249**: 157-171
- Reynolds, C.S. (1994a): The role of fluid motion in the dynamics of phytoplankton. *Sym. Br. Ecol. Soc.*, **34**, 141-187.
- Reynolds, C.S. (1994b): The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia* **289**: 9-21
- Reynolds, C.S. (1995): River plankton: The paradigm regained. In: Harper, D.M. & Ferguson, A.J.D. [Hrsg.]: The ecological basis for river management. Wiley, Chichester-New York-Brisbane- Toronto-Singapore, 161-215.
- Reynolds, C.S. & Descy, J.-P. (1996): The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **113** (Large rivers 10), 161-187.
- Reynolds, C.S. & Glaister, M.S. (1993): Spatial and temporal changes in phytoplankton abundance in the upper and middle reaches of the River Severn. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **101**, 1-22.
- Reynolds, C.S., Carling, P.A. & Beven, K.J. (1991): Flow in river channels: new insights into hydraulic retention. *Arch. Hydrobiol.*, **121**, 171-179.
- Rhode, H. (1998): Das Elbegebiet. In: Eckoldt, M. [Hrsg.]: Flüsse und Kanäle- Die Geschichte der deutschen Wasserstraßen. DSV, Hamburg, 173-245.
- Richardson, K., Beardall, J. & Raven, J.A. (1983): Adaptation of unicellular algae to irradiance: an analysis of strategies. *New Phytol.*, **93**, 157-191.
- Robles-Jarero, E. G. & Jara-Jara, F.R. (1993): Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *J. Plankton Res.*, **15**, 1341-1358.
- Rohde, H. (1998): Das Elbegebiet: In: Eckholt (Hrsg.) Flüsse und Kanäle – Die Geschichte der deutschen Wasserstrassen, DSV Hamburg, S. 173-245
- Rojo, C., Alvarez Cobelas, M. & Arauzo, M. (1994): An elementary, structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia*, **289**, 43-55.
- Schöll, F. & Fuska, J. (2000): Das Makrozoobenthos der Elbe vom Riesengebirge bis Cuxhaven. MIX LOGISTIK GmbH, Lahnstein, 1-29.
- Schreiber, U., Neubauer, C, Schliwa, U. (1993): PAM fluorometer based on medium-frequency pulsed Xe-flash measuring light: A highly sensitive new tool in basic and applied photo-synthesis research. - *Photosynth. Res.* **36**: 65-72
- Schwartz, R. & Kozerski, H.-P. (2002): Die Bühnenfelder der unteren Mittel-Elbe: Geschichte, Bedeutung, Zukunft. Tagungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 2001, **Bd. 1**. Eigenverlag der DGL, Tutzing, 417-421.
- Schwoerbel, J. (1994): Methoden der Hydrobiologie, Süßwasserbiologie. 4. neubearb. Aufl. G. Fischer-Verlag, Stuttgart-Jena-New York, 1-368. (UTB für Wissenschaft: Uni-Taschen-bücher 979).
- Sommer, U. (1994): Planktologie. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1-274.
- Steemann Nielsen, E. (1952): The use of radio-activ carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. - *J. Cons. Int. Explor. Mer* **18**: 117-140

- Talling, J. F. & Rzoska, J. (1967): The development of plankton in relation to hydrological regime in the Blue Nile. - J. Ecol. **55**: 637-662
- Tubbing, D.G.M.J., Admiraal, W., Backhaus, D., Friedrich, G., de Ruyter van Steveninck, E.D., Müller, D. & Keller, I. (1994): Results of an international plankton investigation on the River Rhine. Wat. Sci. Tech., **29** (3), 9-19.
- Uhlmann, D. (1988): Hydrobiologie. G. Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart, 1-298.
- Utermöhl, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., **9**, 1-38.
- Uijttewaal W. S. J., Berg M. H. and van der Wal M. (2002). Experiments on physical scale models for submerged and non-submerged groynes of various type. Int. Conference on Fluvial Hydraulics, 4-6 Sept. 2002, Leuven, Belgium.
- Uijttewaal W. S. J., Lehmann D. and van Mazijk A. (2001). Exchange processes between a river and its groyne fields: model experiments. J. Hydraulic Engineering **127** (11), 928-936.
- van Dijk, G.M. & van Zanten, B. (1995): Seasonal changes in zooplankton abundance in the lower Rhine during 1987-1991. Hydrobiologia, **304**, 29-38.
- v. Mazijk, A., Weitbrecht, V. (2001): Neue Erenntnisse über physikalische und ökologische Prozesse an Bühnenfeldern. – Bericht zum zweitägigen Workshop am Umweltforschungszentrum Magdeburg. ISBN 90-9015916-9
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. & Cushing, C. E. (1980): The river continuum concept. – Can. J. Fish. Aquat. Sci. **37**: 130-177
- Viroux, L. (1997): Zooplankton distribution in flowing waters and its implications for sampling case studies in the River Meuse (Belgium) and the River Moselle (France, Luxembourg). J. Plankton Res., **21**, 1231-1248.
- Vollenweider, R. A. (ed.) (1969): A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. - IBP Handbook No. 12, Blackwell Scientific Publications, Oxford
- Walz, N. & Welker, M. (1998): Plankton development in a rapidly flushed lake in the River Spree system (Neuendorfer See, Northeast Germany). J. Plankton Res., **20**, 2071-2087.
- Wasserstraßenaufsichtsamt der DDR [Hrsg.] (1985): Schifffahrtskarten der Binnenwasser-straßen der DDR. Bd. 1: Elbe von km 290,70 Mündung der Saale bis km 566,28 Boizenburg, Saale von km 0,00 Mündung bis km 88,33 Halle-Trotha. VEB Karthographischer Dienst Potsdam, Berlin.
- Wasserstraßenaufsichtsamt der DDR [Hrsg.] (1986): Schifffahrtskarten der Binnenwasserstraßen der DDR. Bd. 2: Elbe von km 0,00 Schöna bis km 290,70 Mündung der Saale. VEB Karthographischer Dienst Potsdam, Berlin.
- Westrich, B. (1997): Mass exchange in basins induced by unsteady main stream currents. – XVII-th congress. Intern. Assoc. Hydr. Res., Baden-Baden, **Vol. 2**: 461-468
- Westrich, B. (1997): Bühnen in Fließgewässern- Einfluss auf Strömungs- und Transportvorgänge. In: DVWK [Hrsg.]: Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung, DVWK- Schriften **118**. Wirtschafts- & Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 87-91.

Literatur zur biologischen Art-Bestimmung

- Brauer, A. [Hrsg.] (1912): Rotatoria und Gastrotricha. In: Die Süßwasserfauna Deutschlands, H. 14. G. Fischer-Verlag, Jena, 1-273.

- Ettl, H. (1983): Chlorophyta I (Phytomonadina). In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **9**. G. Fischer-Verlag, Jena, 1-807.
- Förster, K. (1982): Conjugatophyceae. Zygnemataceae und Desmidiaceae (excl. Zygnemataceae). In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 8. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermüller), Stuttgart, 1-543.
- Huber-Pestalozzi, G. (1938): Allgemeiner Teil. Blaualgen. Bakterien. Pilze. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 1. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (E. Nägele), Stuttgart, 1-342.
- Huber-Pestalozzi, G. (1941): Chrysophyceen, Farblose Flagellaten, Heterokonten. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 2. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (E. Nägele), Stuttgart, 1-365.
- Huber-Pestalozzi, G. (1942): Diatomeen. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 2. Teil, 2. Hälfte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (E. Nägele), Stuttgart, 1-543.
- Huber-Pestalozzi, G. (1950): Cryptophyceen, Chloromonaden, Peridinieen. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 3. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (E. Nägele), Stuttgart, 1-310.
- Huber-Pestalozzi, G. (1955): Euglenophyceen. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 4. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermüller), Stuttgart. 1-606.
- Huber-Pestalozzi, G. (1961): Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Volvocales. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 5. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermüller), Stuttgart, 1-744.
- Hustedt, F. (1961): Kieselalgen (Diatomeen). 2. Aufl. Kosmos- Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1-70. (Einführung in die Kleinlebewelt).
- Klotter, H.-E. (1965): Grünalgen (Chlorophyceen). Kosmos- Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1-76. (Einführung in die Kleinlebewelt).
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. (1998): Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **19/1**. G. Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm, 1-548.
- Komárek, J. & Fott, B. (1983): Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales. In: Die Binnengewässer **16**, Das Phytoplankton des Süßwassers, 7. Teil, 1. Hälfte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermüller), Stuttgart, 1-1044.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1986): Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **2/1**. G. Fischer-Verlag, Jena, 1-876.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1988): Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **2/2**. G. Fischer-Verlag, Jena, 1-596.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1991): Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **2/3**. G. Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart, 1-576.
- Matthes, D. & Wenzel, F. (1966): Wimperntiere (Ciliata). Kosmos- Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1-111. (Einführung in die Kleinlebewelt).

- Popovský, J. & Pfeister, L. A. (1990): Dinophyceae (Dinoflagellida). In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **6**. G. Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart, 1-272.
- Rieth, A. (1961): Jochalgen (Konjugaten). Zieralgen und fädige Formen. Kosmos- Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1-87. (Einführung in die Kleinlebewelt).
- Sauer, F. (1995): Tiere und Pflanzen im Wassertropfen. 3. Aufl. Fauna-Verlag, Karlsfeld, 1-286.
- Starmach, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. [Hrsg.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **1**. G. Fischer-Verlag, Jena, 1-515.
- Wulfer, K. (1969): Rädertiere (Rotatoria). A. Ziemsen-Verlag, Wittenberg, 1-122. (Die Neue Brehm-Bücherei 416).

6. Anlagen

1. Je 2 Kopien der im Rahmen des Projektes entstandenen Schriften (siehe unten)
2. 5 CDs mit dem Endbericht sowie den Inhalten der Schriftstücke (soweit elektronisch vorhanden)

Aufsätze

- Böhme, M., Eidner, R., Ockenfeld, K. & Guhr, H. (2001): Ergebnisse der fließzeitkonformen Elbe-Längsbereisung 26.06.- 07.07.2000. – Berichte der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. BfG-1309 (BfG-JAP-Nr. 2679)
- Eidner, R., Kirchesch, V., Guhr, H., Böhme, M. & Müller, D. (2002): Untersuchungen zum Stoffumsatz in Buhnenfeldern der Elbe. - Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 17. bis 21. September 2001. Tagungsberichte der DGL, Eigenverlag der DGL, Tutzing, S. 423-428
- Guhr, H. & Spott, D. (2000): Auswirkungen der Strömungsverhältnisse in Buhnenfeldern auf den Stofftransport und –umsatz der Elbe. - In: v. Mazijk, A. (2000): "Austauschprozesse und Strömungsbilder an Buhnenfeldern". – Berichte zum Miniworkshop. Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 10-13
- Guhr, H. (2002): Stoffdynamik in Buhnenfeldern der Elbe – Erste Ergebnisse. – In: v. Mazijk, A. (2002): "Neue Erkenntnisse im Bereich der physikalischen und ökologischen Prozesse an Buhnenfeldern". Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 9-15
- Guhr, H., Ockenfeld, K. (2002): Buhnenfelder als Stoffsenken und -quellen am Beispiel der Elbe. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Eichstätt, 06.-08. Mai 2002. Tagungsberichte der GDCh. Eigenverlag der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Eichstätt: S 155-158

Ockenfeld, K. (2002a): Primärproduktion in Hauptstrom und Buhnenfeldern der Elbe: ein Vergleich. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Kiel, 17. bis 21. September 2001. Tagungsberichte der DGL, Eigenverlag der DGL, Tutzing, S. 429-434

Ockenfeld, K. (2002b): Vergleich und Bewertung der planktischen Primärproduktion in Stillwasserzonen und Hauptstrom der Elbe. – In: v. Mazijk, A. (2002): "Neue Erkenntnisse im Bereich der physikalischen und ökologischen Prozesse an Buhnenfeldern". Eigenverlag TU Delft, Delft: S. 135-144

Ockenfeld, K., Guhr, H. (2002): Planktische Primärproduktion in der Elbe: Die Bedeutung von Stillwasserzonen für den Hauptstrom der Elbe. In: Geller, W., Punčochář, P., Guhr, H., v. Tümpling jun., W., Medek, J., Smrt'ak, J., Feldmann, H., Uhlmann, O. (Hrsg.): Die Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements. 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar. B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: 195-198

Ockenfeld, K., Guhr, H. (2003). Groynes - the effects of small dams on the waterquality of the Elbe River (Germany). - *Water Sciences and Technology* **48/7**, pp 17-24

Patente

UFZ - Dr. Ockenfeld

„*Verfahren und Inkubator für Labor- und Freilanduntersuchungen zum lichtabhängigen Wachstum von Phytoplankton*“

AK: 102 35 138.4

Diplomarbeiten

Dipl.-Biol. Sandra Brandt, Universität Halle

„*Ermittlung des pelagischen Phytoplankton-Wachstums unter Berücksichtigung des Zooplankton-Fraßes eines mitteldeutschen Fließgewässer (Elbe)*“

Literaturstudie

Hultsch, Veit (2003): Datenbank und Literaturstudie zum BMBF-Projekt „*Stofftransport und -umsatz in Buhnenfeldern der Elbe*“