

Benjamin Leopold Miesner

und

Jonas Jacob Miesner

**Phosphat – Anthropogener Eingriff in das
Ökosystem der Tide-Elbe durch
landwirtschaftliche Düngung**

***Phosphate – Anthropogenic intervention in
the ecosystem Tide-Elbe caused by
agricultural fertilization***

Gymnasium Hochrad

Hamburg

Jugend forscht

2013

Zusammenfassung:

Der Nährstoff Phosphat ist Grundbestandteil für das Leben auf unserem Planeten wie wir es heute kennen. Sowohl für Tiere als auch für Pflanzen ist er unverzichtbar und bildet daher auch einen wichtigen Teil des landwirtschaftlichen Düngers. Durch Auswaschung können Phosphate aus landwirtschaftlich genutzten Räumen über Einleitungen, die sich in Punktquellen und diffuse Quellen differenzieren lassen, in größere Flüsse wie die Elbe gelangen und dort den Prozess der Eutrophierung vorantreiben.

Unsere Arbeit konzentriert sich auf die räumlich und jahreszeitlich variierenden Phosphatkonzentrationen in der Tide-Elbe sowie den Konzentrationen in strömungsärmeren Nebengewässern und Sedimenten im Jahr 2012. Insbesondere beschäftigte uns, inwiefern Phosphate vor dem Hintergrund der Eutrophierung einen anthropogenen Eingriff in das Ökosystem der Tide-Elbe darstellen.

Für die Bestimmung der Phosphatkonzentration im Wasser wurde ein photometrisches Verfahren verwendet. Die Bestimmung von wasserlöslichen Phosphaten in Sedimenten erfolgte durch eine eigens entwickelte Methode, die auf der Kationenaustauschkapazität (KAK) basiert. Um den Einfluss von verschiedenen Phosphatkonzentrationen auf Primärproduzenten zu untersuchen, verwendeten wir Gewässerproben, die wir mit *Chlorella*-Algen beimpften.

Unsere komplexen Untersuchungen, die sich über den Zeitraum von knapp einem Jahr erstreckten, zeigen, dass Phosphat einen stark fördernden Einfluss auf die Primärproduktion hat und daher im Hinblick auf die Eutrophierung eines Gewässers von großer Relevanz ist. In der Tide-Elbe um den Bereich der Este ließen sich die höchsten Phosphatkonzentrationen feststellen, die zur Mündung hin abnahmen. Die Este, als einer der Nebenflüsse der Elbe, erwies sich durch ihre Einleitung phosphathaltigen Wassers aus Entwässerungsdrainagen landwirtschaftlich genutzter Flächen als Beispiel eines anthropogenen Eingriffes in das Ökosystem der Tide-Elbe.

Summary

The nutrient phosphate is a basic element for life on earth as we know it today. It is essential for animals and plants and forms an important part of the agricultural fertilizer. A leach of phosphate caused by agriculture transports the nutrient, via drains and drainage, into larger rivers like the Tide-Elbe and may speed up the process of eutrophication.

Our work focuses on the local and seasonal variation of phosphate concentrations in the Tide-Elbe as well as the concentrations in low-flow areas and sediments in the year 2012. Furthermore we examined to what extend phosphate causes an anthropogenic intervention in the ecosystem of the Tide-Elbe against the background of eutrophication.

A photometric method was used for the measurement of phosphate concentrations in water. The determination of waster-soluble phosphates in sediments was carried out by a method that we developed on our own and that is based on the cation exchange capacity (CEC). To examine the influence of different phosphate concentrations on primary producers, we used water samples and inoculated them with *Chlorella* algae.

Our investigations show that phosphate has a highly promoting influence on primary production and hence a great relevance on eutrophication. In the Tide-Elbe around the area of the Este we determined the highest phosphate concentrations, whereas levels decreased towards the river mouth. The Este, proved itself as a particular example of an anthropogenic intervention in the ecosystem of the Tide-Elbe, due to its discharge of phosphate charged-water caused by the surrounded agriculture.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Inhaltlicher Kontext	1
1.2 Fragestellung	1
2. Material und Methoden	2
2.1 Messstationen	2
2.2 Probenentnahme an den Messstationen	2
2.3 Ortho-Phosphatnachweis im Wasser	3
2.4 Methode zur Beimpfung mit <i>Chlorella</i> -Algen	3
2.5 Wasserlösliche Phosphate in Sedimenten- eigenes definiertes Verfahren	4
3. Ergebnisse	4
3.1 Voruntersuchungen der Phosphatkonzentrationen der Tide-Elbe in Hamburg	4
3.2 Längenprofil der Elbe	5
3.3 Messstation Teufelsbrück	5
3.3.1 Einfluss der Gezeiten auf die Phosphatkonzentration	5
3.3.2 Saisonale Entwicklung der Phosphatkonzentration	6
3.4 Untersuchungen im Hamburger Yachthafen bei Wedel	6
3.4.1 Tiefenprofil	6
3.4.2 Phosphat-Ionen in den Sedimenten des Hamburger Yachthafens	7
3.5 Phosphateinträge der Este	7
3.5.1 Punktquelleneinträge in die Este	7
3.5.2 Sedimentkernproben aus dem Alte Land	8
3.5.3 Längenprofil der Este	9
3.6 Beimpfung von Wasserproben mit <i>Chlorella</i> -Algen	9
4. Diskussion	10
4.1 Eigene Methode zur Bestimmung wasserlöslicher Phosphate in Sedimenten	10
4.2 Relevanz verschiedener Phosphatkonzentrationen für die Primärproduktion von <i>Chlorella</i> -Algen	11
4.3 Räumliche und zeitliche Verteilung der Phosphatkonzentration in der Tide-Elbe im Jahr 2012	11
4.3.1 Voruntersuchungen und Längenprofil	11
4.3.2 Saisonale Entwicklung der Phosphatkonzentration	12
4.3.3 Gezeitenmessung	12
4.3.4 Hamburger Yachthafen	13
4.4 Anthropogener Eingriffe in das Ökosystem der Tide-Elbe am Beispiel der Este	13
4.5 Zusammenfassung und Ausblick	14
5. Quellenverzeichnis	16
Danksagung und Videodokumentation	17
Anhang	I
Bilder der Untersuchungsgeräte	I
Kapitel 3.1: Voruntersuchungen der Phosphatkonzentrationen der Tide-Elbe in Hamburg	II
Kapitel 3.5: Phosphateinträge im landwirtschaftlich genutzten Raum der Este	III
Chemischer Index und Gewässergüte des Institut Dr. Flad	IV
Phosphatnachweis	V
Klimadaten 2012, Karte des Hamburger Yachthafens	VI

1. Einleitung

1.1 Inhaltlicher Kontext

Phosphor liegt in der Biosphäre fast ausschließlich als Phosphat (PO_4^{3-}) vor und ist essentiell für das Leben auf der Erde, wie wir es heute kennen: In Organismen ist es Bestandteil von DNS, Nukleinsäuren und ATP. So ist bei Pflanzen Phosphat das bedeutendste intrazelluläre Anion (FORESTER u. MORELAND, 1989).

Da es durch keinen Stoff ersetzt wird, ist die Landwirtschaft auf Phosphat als Bestandteil des Düngers angewiesen. Niederschläge führen jedoch zu einer Auswaschung des Nährstoffes aus den Böden, der dann über Entwässerungsdrainagen und Gräben in andere Ökosysteme gelangt.

Schon geringe Mengen des Nährstoffes können in Gewässern ökologische Probleme hervorrufen. So reicht bereits 1 g Phosphat in einem Gewässer aus, um ca. 100 g Biomasse, z.B. in Form von Algen, aufzubauen, bei deren aerobem Abbau dann 140 g Sauerstoff verbraucht wird (HEINTZ u. REINHARDT, 1996). Daher sind bereits geringe Mengen an Phosphat-Einträgen in ein Gewässer in hohem Maße eutrophierend.

Phosphat-Einträge lassen sich in Punktquellen und diffuse Quellen kategorisieren. Nach NOVOTNY und OLEM (1994) lassen sich die Punkteinträge räumlich eindeutig abgrenzen, z.B. durch Rohreilmündungen. Diffuse Quellen hingegen treten flächenhaft auf, von ihnen ausgehende Nährstoffeinträge lassen sich daher nicht eindeutig erfassen. Außerdem variiert der Phosphat-Eintrag in seinem zeitlichen Auftreten und seiner Magnitude stark.

1.2 Fragestellung

Wir stellten uns die Frage,

- wie anthropogene Eingriffe in das Ökosystem der Tide-Elbe die Phosphatkonzentrationen im Freiwasser beeinflussen,
- wie sich die Verteilung von Phosphat im Tidebereich der Elbe und strömungsärmeren Nebengewässer verhält und
- wo sich einige Hauptemittenten von Phosphaten befinden; wir vermuten, dass Phosphate überwiegend über landwirtschaftlich genutzte Flächen in das Ökosystem der Tide-Elbe gelangen.

Darüber hinaus wollten wir herausfinden,

- wie sich die wasserlösliche Phosphatkonzentration in den Sedimenten der Elbe sowie strömungsärmerer Nebengewässer verhält,
- inwieweit Sedimente Phosphate speichern können und
- welche Auswirkungen dies auf das Ökosystem Tide-Elbe, genauer gesagt auf die Primärproduktion hat.

2. Material und Methoden

2.1 Messstationen

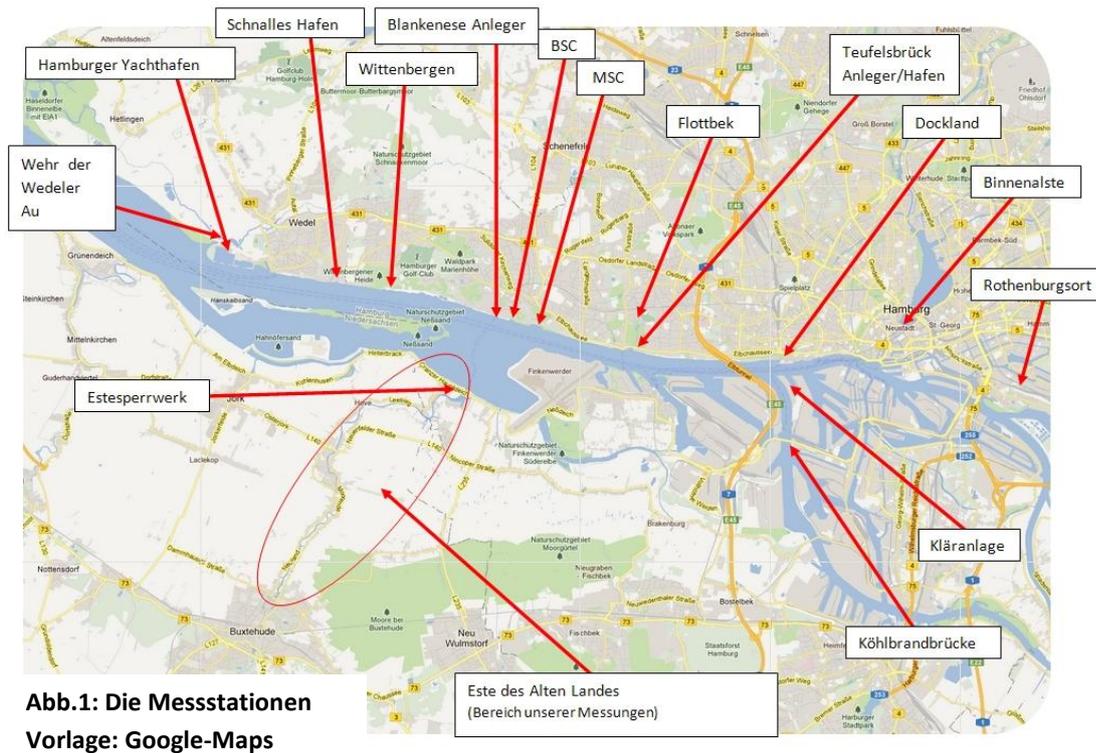


Abb.1: Die Messstationen
Vorlage: Google-Maps

Abb. 1 zeigt die Messstationen in und um Hamburg, an denen wir während unserer Untersuchungen vom 5. Januar 2012 bis zum 30. November 2012 die Phosphatkonzentration ermittelten.

Den Schwerpunkt der Arbeit setzten wir auf Teufelsbrück, den Hamburger Yachthafen und das Alte Land (Este). Teufelsbrück nutzten wir zur Untersuchung der jahreszeitlichen Veränderung der Phosphatkonzentration (siehe Kapitel 3.3.2) und zur Untersuchung des Gezeiteneinflusses auf den Phosphatgehalt (siehe Kapitel 3.3.1).

Den Nebenfluss Este untersuchten wir im Hinblick auf Phosphateinträge in das Ökosystem der Tide-Elbe seitens der Landwirtschaft und differenzierten dabei noch in Punktquellen und die Phosphatkonzentrationen im Längsverlauf der Este (siehe Kapitel 3.5).

Den Hamburger Yachthafen beprobten wir während eines Praktikums unter Berücksichtigung der Frage, wie die Phosphatkonzentrationen in einem strömungsberuhigten Bereich der Elbe - in verschiedenen Tiefen und im Sediment – variieren (siehe Kapitel 3.4).

Um überregionale Emissionsquellen auszuschließen, bestimmten wir auch den Phosphatgehalt von Regenwasser.

2.2 Probenentnahme an den Messstationen

Oberflächenwasserproben entnahmen wir mit einem Greifarm, an dem ein Messbecher befestigt war, der 0,5 Liter fasste. Tiefenwasserproben wurden mit einem gewichtbeschwertem Plexiglaszylinder abgeschöpft, der mit einem Stopfen verschlossen war. In der gewünschten Tiefe wurde der Stopfen durch Ziehen einer Zweitleine entfernt.

Sedimentproben wurden mit Hilfe eines Sedimentgreifers entnommen, der geöffnet in die Tiefe gelassen wurde und sich durch einen Mechanismus schloss, sobald er den Grund berührte. Der Aushub betrug ca. 18 x 20 cm.

Sedimentkerne wurden mit einem Pürckhauer Bodenprober von einen Meter Länge entnommen, der mit einem Schonhammer in den Boden geschlagen und mit einem Quergriff wieder herausgedreht wurde.

Die Lufttemperatur ermittelten wir mit Hilfe eines Temperaturmessgerätes, Typ 925, der Firma Testo AG. (Die Abb.2 – 4 sind im Anhang S.I. und zeigen die verwendeten Untersuchungsgeräte.)

2.3 Ortho-Phosphatnachweis im Wasser

Für den Nachweis von im Wasser gelöstem Phosphat wurde das CASSY-Eintauchfotometer (Leybold-Didactic) in Verbindung mit dem dazugehörigen Reagentienkoffer sowie als Datenlogger das CASSY-Mobile verwendet. Erst wurde die Wasser-Probe entnommen und dann das Fotometer in dieser kalibriert. Danach wurde die Probe durch Zugabe der Chemikalien eingefärbt und schließlich mit dem Fotometer in Verbindung mit dem Mobile bei Raumtemperatur ausgewertet (Ergänzung siehe Anhang S.V). Die Ergebnisse ließen sich grafisch mit der CASSY- oder Microsoft-Excel-Software auswerten.

Eine anschließende Bewertung der Phosphatkonzentrationen erfolgte über den „Chemischen Index und Gewässergüte“ des Institutes Dr. Flad. Außerdem setzten wir eine Maßlösung an, um mögliche Ungenauigkeiten des Fotometers auszuschließen.

2.4 Methode zur Beimpfung mit *Chlorella*-Algen

Die Alge *Chlorella vulgaris* gehört zu den am besten untersuchten Primärproduzenten und wird in der anwendungsbezogenen Grundlagenforschung verwendet (ALGOMED, 2012).

Um die Auswirkung von im Wasser gelösten Phosphaten auf die Primärproduktion darzustellen, beimpften wir Wasserproben unterschiedlichen Phosphatgehaltes aus dem Bereich der Este (vgl. Abb. 11, S.7) mit einer Kultur der einzelligen Alge *Chlorella vulgaris*. Dabei entwickelten wir folgendes Verfahren:

Als erstes wurden Erlenmeyerkolben, die als Kulturgefäße Verwendung fanden, und die zu untersuchenden Wasserproben abgekocht, um sie von Keimen zu befreien, die später zu Ungenauigkeiten in den Ergebnissen führen würden. Anschließend wurden 50ml jeder Wasserprobe in einen der Kolben gegeben. Nun wurden die Proben unter Verwendung einer Mikropipette mit 1000 µl einer *Chlorella* Algen-Kultur beimpft, deren Zellenabundanz zuvor mit Hilfe einer Thomazelle unter einem Mikroskop bestimmt wurde.

Die Thomazelle ist eine Zählkammer, mit deren Hilfe lichtmikroskopische Zählungen von Kleinstteilchen, in diesem Fall Algenzellen, vorgenommen werden können. Aus einer Zählung von je 100 Kästchen (je 0,0025 mm³) ermittelten wir die verschiedenen Mittelwerte.

Danach wurden die Erlenmeyerkolben verschlossen und unter eine Natriumhochdrucklampe von 400 Watt gestellt. Eine an der Lampe angeschlossene Zeitschaltuhr diente dabei der Imitation von Tag- und Nachtphasen zu je zwölf Stunden.

Nach drei Wochen unter konstanten Bedingungen, einer Lufttemperatur von 21°C und einem Lux-Wert von 1,9klx wurden die Erlenmeyerkolben mehrere Minuten geschwenkt, um die Algenkultur gleichmäßig im Wasser zu verteilen. Anschließend wurde die Abundanz der Zellen erneut bestimmt.

2.5 Wasserlösliche Phosphate in Sedimenten- eigenes definiertes Verfahren

Die ursprüngliche Idee, sedimentgebundene Phosphat-Ionen zu untersuchen, mussten wir nach Beratungen mit Herrn Dr. Knoblauch vom Institut für Bodenkunde der Uni Hamburg verwerfen, da für diese Untersuchungsmethode Chemikalien verwendet werden, die für Schüler nicht zugänglich sind (z.B. 38%ige Salzsäure).

So entwickelten wir eine eigene Methode zur Untersuchung wasserlöslicher Phosphate in Sedimenten, die uns für vergleichende Zwecke als ausreichend erscheint (siehe auch Diskussion 4.1).

Zuerst wurde eine Sedimentprobe luftgetrocknet, da der unterschiedliche Wasseranteil in Sedimenten eine genaue Messung verfälscht. Anschließend wurden 2,5 g des Trockensedimentes mit 100ml entionisiertem Wasser in ein verschließbares Gefäß gegeben und fünf Minuten durchmischt. Dabei sollten sich die in der Bodenprobe befindenden Phosphate lösen, da ein Gleichgewicht zwischen den im Sediment gebundenen und im Wasser gelösten Phosphat-Ionen besteht. Schließlich wurde der Inhalt des Gefäßes filtriert (Porengröße: 5µm) und photometrisch ausgewertet (siehe Kapitel 2.3).

3. Ergebnisse

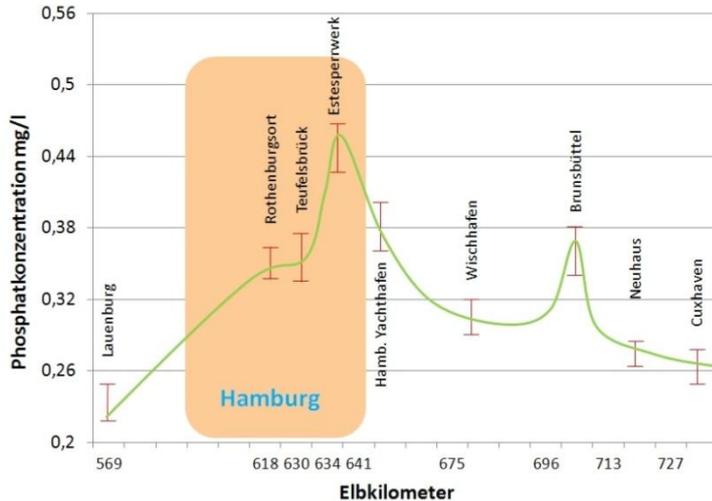
3.1 Voruntersuchungen der Phosphatkonzentrationen der Tide-Elbe in Hamburg

Im Regenwasser konnten wir keinen Phosphateintrag nachweisen.

Die Messergebnisse entlang der Flottbek wiesen unbelastete bis gering belastete Werte auf. Mäßig belastete Gewässerproben konnten wir im Großraum des Hamburger-Hafens und zwischen Teufelsbrück und Blankenese nachweisen. Im Bereich des Alten Landes und Wedels klassifizierten wir mäßig belastete bis stark verschmutzte Gewässerproben. Die Klassifizierung entnahmen wir der Gewässergüte nach dem INSTITUT DR. FLAD., seit 1991 (verwendete Werteskala im Anhang S.IV).

Aus den Messreihen der Voruntersuchungen wird deutlich, dass die höchsten Phosphatkonzentrationen ($> 0,6 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$) in landwirtschaftlich genutzten Räumen wie dem Alten Land und bei Wedel zu finden sind. Diese, und nur diese, entsprechen einer der höchsten Stufe der Klassifizierung der Gewässergüte nach Flad (Datentabelle siehe Anhang S.IV).

3.2 Längenprofil der Elbe



Phosphatkonzentration von Lauenburg bis Hamburg und ein kontinuierliches Sinken der Phosphatkonzentration im Längenprofil von Hamburg bis zur Elbmündung (Cuxhaven) zu erkennen, mit Ausnahme der Messungen bei Brunsbüttel. In Lauenburg maßen wir die niedrigsten Phosphatwerte mit im Mittel $0,23 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$.

Die Probenentnahme erfolgte im September und Oktober und die vier Messungen in einem Zeitraum von zwei Stunden. Einen weiteren, niedrigen Phosphatwert haben wir stromaufwärts in Dresden mit $0,1 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$ gemessen.

3.3 Messstation Teufelsbrück

3.3.1 Einfluss der Gezeiten auf die Phosphatkonzentration

Die Tide-Elbe, auf die wir uns bei unserer Arbeit konzentrierten, wird einerseits durch das vom Flutstrom hereinströmende Brackwasser beeinflusst, andererseits durch das vom Binnenland kommende Flusswasser. Beides spiegelt sich in Form des Tidenhubs wieder. Eine Tide wird definiert als der Zeitraum zwischen zwei Niedrigwassern. Genau eine Tide haben wir hinsichtlich der Phosphatkonzentration am 28.8.12 untersucht:

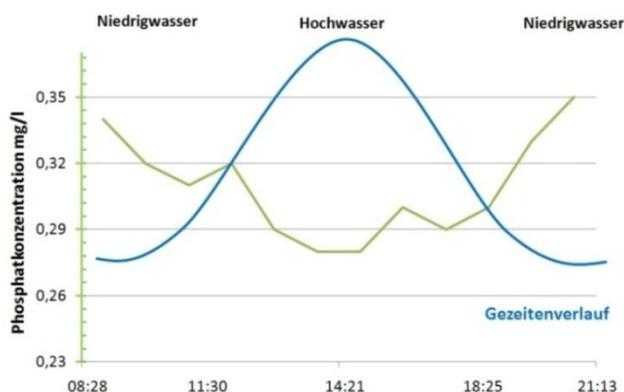


Abb.6: Stündlich gemessene Phosphatkonzentration der Tide-Elbe bei Teufelsbrück am 28.08.12 zwischen 8:28 und 21:13 während einer Gezeit.

Abb.5: Phosphatkonzentration im Längenprofil der Elbe mit jeweils 4 Messungen pro Station. Dargestellt sind die Variationsbreite der Messergebnisse pro Station sowie die die Mittelwerte verbindende Kurve.

Erhöhte Phosphatkonzentrationen ließen sich vor dem Estesperwerk und bei Brunsbüttel finden. Es ist ein kontinuierliches Steigen der

Höchste Phosphatkonzentrationen von $0,34$ bzw. $0,35 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$ maßen wir am 28.08.12 jeweils bei Niedrigwasser um 8:28 Uhr und um 21:13 Uhr.

Mit auflaufendem Wasser nahm die Phosphatkonzentration bis $0,28 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$ ab. Damit stieg die Phosphatkonzentration mit ablaufendem Wasser und fiel mit auflaufendem Wasser.

Zwei weitere Messungen im September ergaben einen ähnlichen Kurvenverlauf.

3.3.2 Saisonale Entwicklung der Phosphatkonzentration

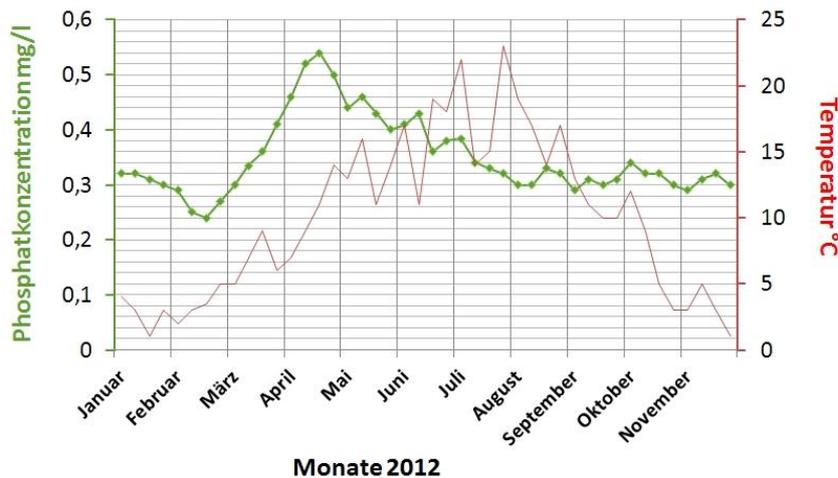


Abb.7: Jahresverlauf der Phosphatkonzentration (grün) und der Lufttemperatur (rot) bei Teufelsbrück im Jahr 2012 in wöchentlichen Messungen

Die Phosphatkonzentration variierte im Verlauf des Jahre 2012. Hohe Phosphatwerte waren in den Monaten April und Mai zu erkennen, bis Ende August sanken sie ab.

Das jahreszeitliche Maximum lag damit im Frühjahr. Die Temperatur stieg erwartungsgemäß von Januar bis August an und sank darauf wieder. Die Proben wurden bei auf- und ablaufender Tide, zwischen Hoch- und Niedrigwasser, entnommen.

3.4 Untersuchungen im Hamburger Yachthafen bei Wedel

Der Hamburger Yachthafen (HY) umfasst eine Fläche von 277.000 m². Kennzeichnend für dieses Gewässer ist, dass es vom Tidenhub und weniger von der Tidenströmung beeinflusst wird. Der HY ist durch zwei Einfahrten mit der Elbe verbunden. Schwimmstege (A bis N) liegen im rechten Winkel zum Elbverlauf aus, welche an Dalben aufgehängt sind, die von Ufernähe bis zur Hafeneinfahrt aufsteigend mit 1 bis 13 nummeriert sind (siehe Abb.17 im Anhang S.VI).

3.4.1 Tiefenprofil

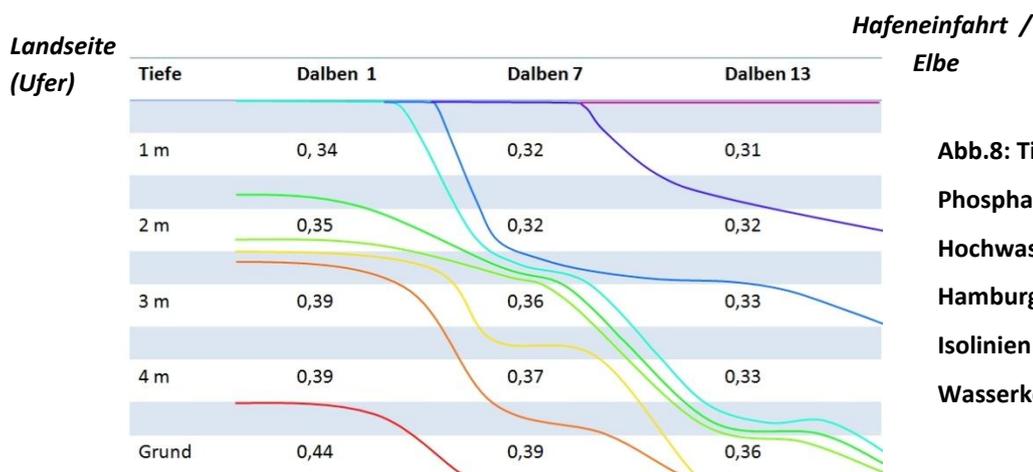


Abb.8: Tiefenprofil des Phosphatgehaltes am 25.10.12 bei Hochwasser an Steg K im Hamburger Yachthafen. Die Isolinien begrenzen verschiedene Wasserkörper.

Die Phosphatkonzentration nimmt im westlichen Teil des Hafens mit steigender Tiefe und mit der Nähe zum Ufer zu. Die höchste Phosphatkonzentration lässt sich am Grund des 1. Dalbens finden, die niedrigste am 13. (äußersten) Dalben in Oberflächennähe. Die Messung des Tiefenprofils im HY wurde einmal während eines Hochwassers vorgenommen. (Eine Karte des HY befindet sich im Anhang S.VI)

3.4.2 Phosphat-Ionen in den Sedimenten des Hamburger Yachthafens

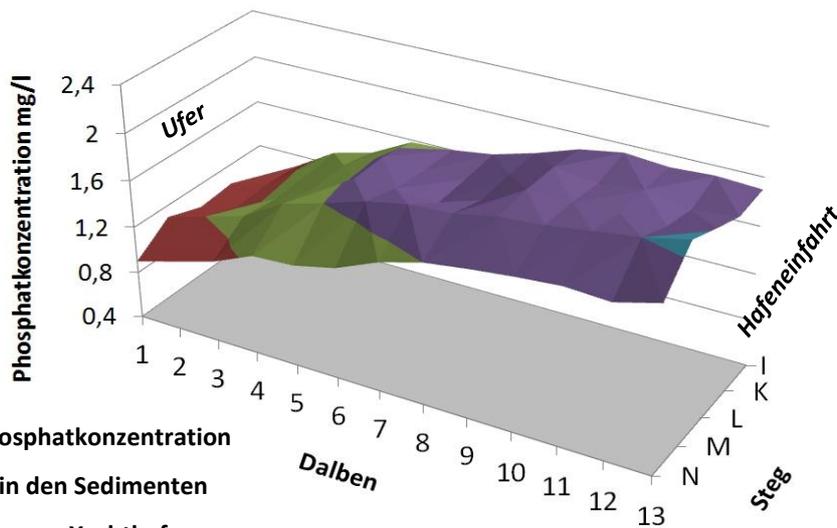


Abb.9: Phosphatkonzentration (in mg/l) in den Sedimenten des Hamburger-Yachthafens vom 25.10.12 bei Hochwasser im westlichen Teil des Hafens.

Die Phosphatkonzentrationen in den Sedimenten des Hamburger Yachthafens nahmen von der Hafeneinfahrt bis zum Ufer hin ab. Die höchste Phosphatkonzentration ließen sich an Steg M, Dalben 13 mit 2,08 mg/l PO_4^{3-} finden und die niedrigste an Steg N beim 1. Dalben mit 0,9 mg/l PO_4^{3-} . Die Auswertung erfolgte über das von uns entwickelte Verfahren (siehe Kapitel 2.5).

3.5 Phosphateinträge der Este

Siehe auch „Kapitel 3.5: Phosphateinträge im landwirtschaftlichen Raum der Este“ (im Anhang S.III)

3.5.1 Punktquelleneinträge in die Este

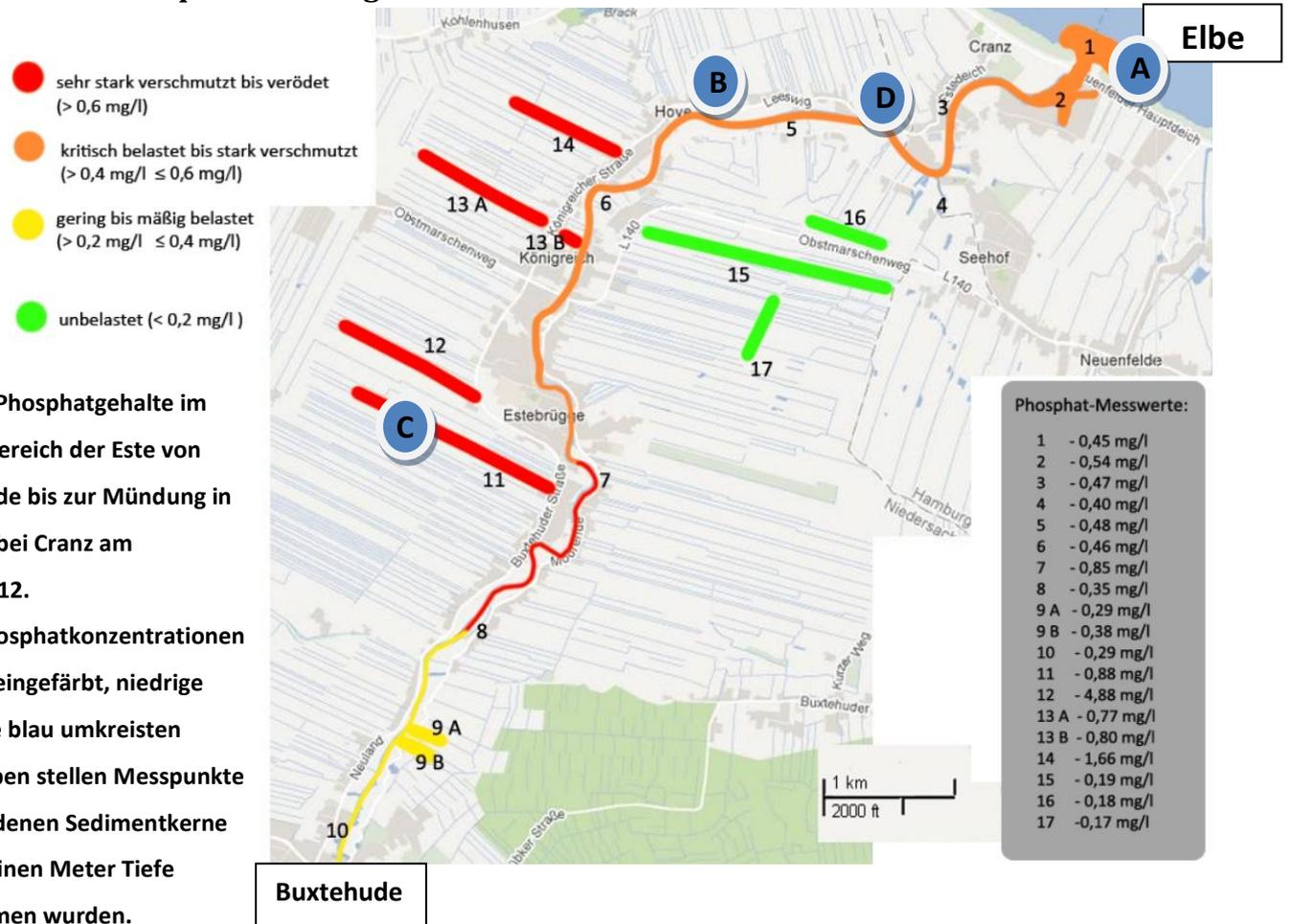


Abb.11: Phosphatgehalte im Einzugsbereich der Este von Buxtehude bis zur Mündung in die Elbe bei Cranz am 09.07.2012. Hohe Phosphatkonzentrationen sind rot eingefärbt, niedrige grün. Die blau umkreisten Buchstaben stellen Messpunkte dar, bei denen Sedimentkerne aus bis einen Meter Tiefe entnommen wurden. Vorlage: Google-Maps

Am 09.07.12 untersuchten wir die Este, die eine dauerhaft erhöhte Phosphatkonzentration aufwies (siehe Abb.11), und zwar auf Punktquellen innerhalb ihres Einzugsgebietes von Buxtehude bis hin zur Mündung in die Elbe bei Cranz.

Wir stellten fest, dass die Phosphatkonzentrationen bei Buxtehude in der Este mit ungefähr 0,3 mg/l PO_4^{3-} an diesem Tag vergleichsweise niedrig waren. Im mittleren Teil der Este fanden sich sehr hohe Werte bis 0,88 mg/l, die zur Mündung hin etwas abnahmen. Sehr hohe Werte fanden sich auch in den Entwässerungsgräben, die aus benachbarten landwirtschaftlichen Nutzflächen, insbesondere aus westlicher Richtung kommend, in die Este mündeten. Die Gräben, die von Osten in die Este mündeten, wiesen hingegen niedrige Werte um 0,18 mg/l auf. Ab Estebügel sank die Phosphatkonzentration gering auf ungefähr 0,5 mg/l PO_4^{3-} .

Das Ergebnis der Messreihe ergab sich aus jeweils einer Probenentnahme.

Die in der Karte dargestellte farbliche Zuordnung der Phosphat-Grenzen richtet sich nach dem „Chemischen Index und Gewässergüte“ des INSTITUT DR. FLAD.

Die Buchstaben A-D stellen Messpunkte der Sedimentkernproben aus dem Alten Land dar, die ebenfalls am 09.07.12 entnommen wurden (siehe Kapitel 3.5.2).

3.5.2 Sedimentkernproben aus dem Alte Land

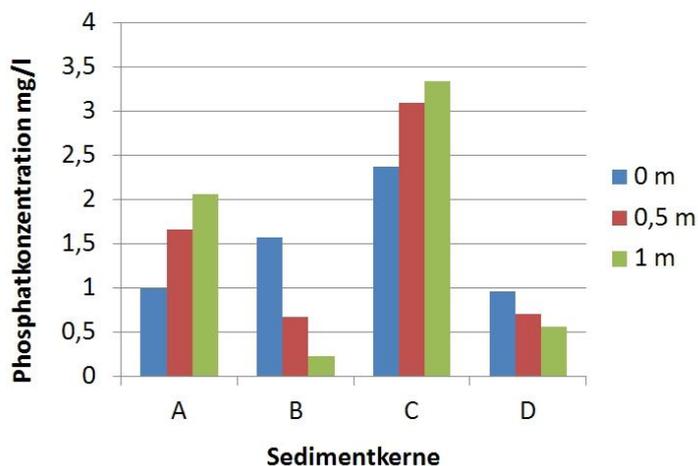


Abb.12: Phosphatkonzentrationen der Sedimentkerne aus dem Alten Land in den Tiefen 0, 50 und 100 cm. Die Orte A bis D sind in Abb.11 markiert.

Die höchste Phosphatkonzentration ließ sich am Standort C, westlich der Este im Entwässerungsgraben messen. Dieses Ergebnis stimmt mit unserem Ergebnis aus Kapitel 3.5.1 überein. Hier konnten wir an derselben Stelle im Wasser des Entwässerungsgrabens die höchste Phosphatkonzentration feststellen.

In den Sedimentkernen A (Elbe, vor dem Estesperwerk) und C (Entwässerungsgraben) ließ sich mit zunehmender Tiefe eine steigende Phosphatkonzentration feststellen. Die Phosphatkonzentrationen der Kerne B und D hingegen, auf dem Feld von Apfelplantagen im Wurzelbereich der Bäume, nahmen mit steigender Tiefe ab.

3.5.3 Längenprofil der Este

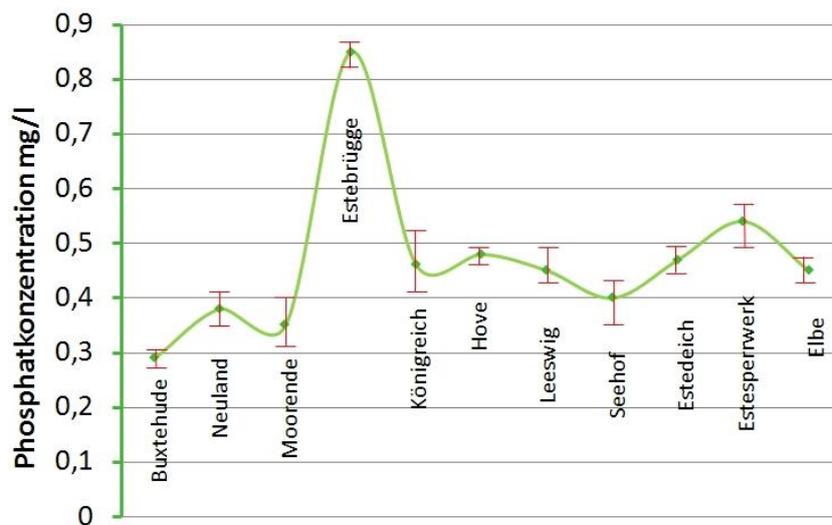


Abb.13:
Phosphatkonzentration der Este von Buxtehude (links) bis zur Mündung in die Elbe bei Cranz (rechts), basierend auf jeweils drei Messungen an einem Tag im Juli. Dargestellt sind die jeweiligen Mittelwerte.

Das Längenprofil der Este zeigt, dass die Phosphatkonzentrationen bei Buxtehude am niedrigsten waren. Ab Neuland nahm die Konzentration stark zu und erreichte bei Estebürge ihren höchsten Wert.

Nach einem wellenförmigen Verlauf nahm die Konzentration ab dem Estesperwerk in die Elbe wieder ab.

3.6 Beimpfung von Wasserproben mit *Chlorella*-Algen

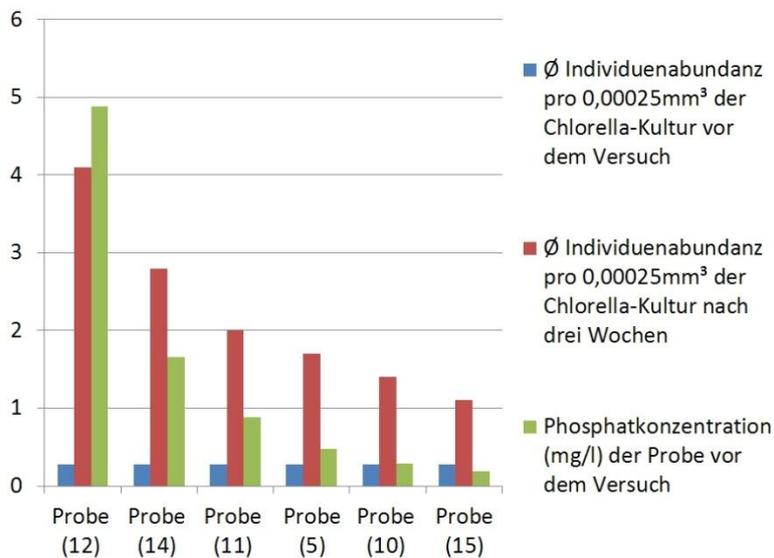


Abb.14: Ergebnisse der Beimpfung von Wasserproben aus verschiedenen Orten der Este (vgl. Abb.11) mit *Chlorella*-Algen. Von Probe 12 (links) zu Probe 15 (rechts) sind die Phosphatkonzentrationen (grün) abnehmend angeordnet. Die durchschnittliche Algenzellenabundanz wurde mit einer Thomazelle ermittelt.

Mit sinkender Phosphatkonzentration nimmt auch die *Chlorella*-Abundanz nach drei Wochen ab. Das Populationswachstum war in Probe 12 (westlicher Entwässerungsgraben) am größten und die niedrigste Zunahme war in Probe 15 (östlicher Entwässerungsgraben) zu messen. So ist eine generelle Proportionalität zwischen den *Chlorella*-Populationswachstum nach drei Wochen und der Phosphatkonzentration der Probe vor dem Versuch festzustellen.

4. Diskussion

4.1 Eigene Methode zur Bestimmung wasserlöslicher Phosphate in Sedimenten

Das von uns entwickelte Verfahren zur Bestimmung von Phosphatkonzentrationen in den Sedimenten wurde unter konstanten Bedingungen durchgeführt. Unsere Definition des Verfahrens bestätigt sich in der Kontinuität der Ergebnisse. Dies bedeutet, dass eventuelle Ungenauigkeiten konstant gehalten werden konnten.

Bei unseren Sedimentuntersuchungen im Hamburger Yachthafen, der Tide-Elbe, der Este und dem Alten Land wurden nur luftgetrocknete Sedimente verwendet.

Um unser Verfahren genauer zu definieren wiederholten wir die Bestimmung dreier verschiedener Sedimentproben jeweils drei Mal nach dem Landeswettbewerb von Jugend forscht:

Die zunächst luftgetrockneten Sedimentproben wurden nach einer ersten Auswertung auf einem Heizkörper (Zeitdruck nach dem Landeswettbewerb) erneut getrocknet und anschließend der Phosphatgehalt bestimmt.

Dieser zweiten Messung folgte nach gleicher Probenbehandlung eine Dritte:

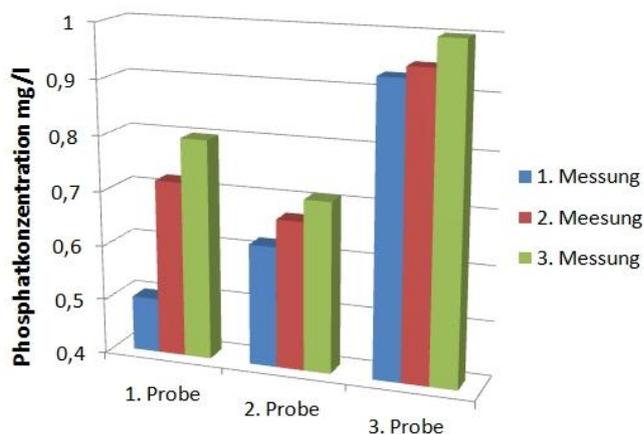


Abb.15: Die Abbildung zeigt, dass die jeweils folgende Messung einen höheren Phosphatwert als die vorangegangene aufwies. Die Sedimentproben 1 und 2 stammen aus der Wedeler Au und die 3 aus dem Hamburger Yachthafen, entnommen im Oktober.

Die Messergebnisse haben uns zunächst überrascht. Wir erwarteten eigentlich ein Auswaschen der Phosphate durch den Messvorgang im entionisiertem Wasser und folglich ein Sinken der Phosphatwerte. Jedoch war ein Anstieg der Phosphatkonzentration festzustellen.

Wir vermuten, dass durch die Hitzeeinwirkung (Heizkörper-Oberflächentemperatur: 75 - 85°C) eine chemische Veränderung der Phosphatbindungen im Sediment stattgefunden hat, da Phosphate unterschiedliche chemischen Bindungen eingehen können. Durch die Hitzeeinwirkung scheinen Teile des im Sediment gebundenen Phosphates in andere chemische Bindungen übergegangen zu sein, die nun wasserlöslich sind und durch unser Verfahren bestimmbar wurden. So stieg bei jeder weiteren Messung der Phosphatgehalt an. Weitere Messungen mit ausschließlich luftgetrockneten Sedimenten sollten folgen.

4.2 Relevanz verschiedener Phosphatkonzentrationen für die Primärproduktion von *Chlorella*-Algen

Die Ergebnisse zur Beimpfung von Proben mit verschiedenen Phosphatkonzentrationen durch eine *Chlorella*-Kultur verdeutlichen, dass steigende Phosphatkonzentrationen zu einer steigenden Algenabundanz führen: Probe 15 führte mit einem Phosphatgehalt von 0,19 mg/l zu einer 4-fachen Algenabundanz. Probe 12 führte mit einem Phosphatgehalt von 4,88mg/l zu einem 14-fachen der Algenabundanz. Wobei die Zunahme der Algenabundanz nicht proportional zur Zunahme der Phosphatkonzentration steigt, sondern dieser nachläuft. Hier zeigt sich womöglich ein Sättigungsphänomen, andere Nährstoffe mögen wachstumslimitierend wirken (Gesetz des Minimums). Das Populationswachstum selbst ist gleichzusetzen mit der Primärproduktion. Da gelöste Phosphatverbindungen allesamt algenverfügbar sind, ist die *Chlorella*-Alge, stellvertretend als Primärproduzent eines aquatischen Ökosystems, als bedeutsamer Indikator der Eutrophierung anzusehen (KAUSCH, 1996).

4.3 Räumliche und zeitliche Verteilung der Phosphatkonzentration in der Tide-Elbe im Jahr 2012

4.3.1 Voruntersuchungen und Längenprofil

Die Voruntersuchungen der Elbe gaben uns einen Überblick über die räumliche Verteilung der Phosphatkonzentration im Bereich Hamburgs. Regenwasser ist als diffuse Quelle auszuschließen, da es keine Phosphatkonzentration aufwies.

Die Vermutung, dass Phosphat überwiegend über landwirtschaftlich genutzte Flächen in das Ökosystem der Tide-Elbe gelangt, verifizierten wir durch unsere Messreihen. Dieses Ergebnis bestätigt die Untersuchung durch KAUSCH (1996), der betont, dass der Haupteintragsweg für Phosphate in der Landwirtschaft besteht.

Das von uns erstellte Längenprofil der Elbe zeigt einen deutlichen Anstieg der Phosphatkonzentration im Ballungsraum Hamburg. Der Phosphatgehalt ist bei Teufelsbrück (0,35mg/l) und dem Estesperrwerk (0,45 mg/l) am höchsten und sinkt darauf bis zur Mündung bei Cuxhaven (0,27 mg/l) kontinuierlich, mit einer Ausnahme, ab. Ballungsräume weisen aufgrund von Abwassereinleitung und landwirtschaftlicher Produktivität erhöhte Nährstoffeinträge auf (SCHAEFER, 2003). Hier liegt neben der Landwirtschaft also eine weitere Phosphatquelle vor.

Die Ausnahme bildet der Zufluss des Nord-Ostsee Kanals bei Brunsbüttel (0,36 mg/l). Wir vermuten, dass auch hier anthropogene Eingriffe in Form von landwirtschaftlicher Nutzung zu erhöhten Phosphatkonzentrationen führen. Dies gilt es in Zukunft näher zu untersuchen.

4.3.2 Saisonale Entwicklung der Phosphatkonzentration

Die Lufttemperatur diente uns als Indikator für die Fotosyntheseleistung. Die Wassertemperatur in Verbindung mit dem geringen Anteil an lichtdurchfluteter Wasserschicht der Tide Elbe hielten wir, aufgrund der großen Menge an Schwebstoffen, für weniger relevant. Von größerer Relevanz schien uns der Anteil der Süßwasserwattflächen der Tide-Elbe (z.B. Mühlenbergerloch bei Airbus), die zweimal täglich trocken fallen. Hier nimmt die Lufttemperatur Einfluss auf die Fotosyntheseleistung der dort lebenden Primärproduzenten, die das Phosphat verstoffwechseln.

Aus den Messergebnissen der Jahresmessstation Teufelsbrück geht hervor, dass die Phosphatkonzentration bis Mitte Februar leicht abfiel. Den Landwirten ist es gesetzlich untersagt, im Zeitraum vom 1.11 eines Jahres bis zum 31.1 zu düngen (DüV, 2012); der Elbe werden hier durch die Landwirtschaft keine Phosphate zugeführt. Der Abfall lässt sich außerdem durch steigende Temperaturen und der damit verbundenen steigenden Fotosyntheseaktivität der Primärproduzenten erklären (RGT-Regel). Die hohe Sonnenscheindauer und der geringen Niederschlag in diesen Monaten fördern diese Tendenz (Klimadaten von 2012 im Anhang S.VI). Das Phosphat wird daher von Primärproduzenten verstoffwechselt und in Biomasse gebunden, noch bevor es aus der Landwirtschaft (diffuse Quelle) in die Elbe, z.B. über das Estesperrwerk (punktförmige Quelle), emittiert werden konnte.

Die hohen Phosphatwerte im März und April weist daher auf einen anthropogenen Eingriff seitens der Landwirtschaft hin, die sich auch in unseren Voruntersuchungen als Haupt-Emittent von Phosphat herausstellte. Diese Emissionen fördern das Wachstum von allochthonen Arten (KAUSCH, 1996, S.105).

Die sinkenden Phosphatwerte ab Mai in Verbindung mit den weiter ansteigenden Temperaturen lassen darauf schließen, dass die Einleitung von Phosphaten aus landwirtschaftlicher Düngung die Primärproduktion nicht weiter überstieg bzw. weniger gedüngt wurde. Bis Ende Juli fiel die Phosphatkonzentration bei steigenden Temperaturen weiter. Dann begann die Phosphatkonzentration zwischen 0,29 -0,34 mg/l, bei sinkenden Temperaturen, zu stagnieren. Bei den niedrigen Temperaturen stirbt das Phytoplankton zunehmend ab und sinkt mit dem gebundenen Phosphat ab. Daraus lässt sich schließen, dass die Düngezeit in diesem Zeitraum endete, da kein signifikanter Anstieg stattfand.

4.3.3 Gezeitenmessung

Bei auflaufendem Wasser strömt phosphatärmeres Wasser, entlastet durch die Produktivität der Süßwasserwattflächen und der Tide-Strömung, aus dem Mündungsbereich der Elbe Richtung Hamburg. Dies führt zu einer Reduzierung der Phosphatkonzentration bei Teufelsbrück. Die Tide hat dadurch eine reinigende Wirkung sowohl auf den Wasserkörper, als auch auf die Sedimente.

Zwei weitere Messungen ergaben einen ähnlichen Phosphat-Kurvenverlauf mit jahreszeitlich entsprechenden Werten. Aufgrund von Eindeichung und Vertiefung der Elbe erhöhte sich in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend die Fließgeschwindigkeit des Wasserkörpers, wodurch das Selbstreinigungspotential künstlich erhöht wurde. Dieses Ergebnis wird durch die Arbeit von DEHN und FEINE (2011) bestätigt.

4.3.4 Hamburger Yachthafen

Die Messungen zum Tiefenprofil des Hamburger Yachthafens (HY) ergaben, dass die Phosphatkonzentration mit steigender Wassertiefe und mit zunehmendem Abstand zum Elbstrom anstieg. Im Sedimentkörper verhielt sich die Phosphatkonzentration entgegengesetzt; es war ein Absinken der Konzentration mit zunehmendem Abstand zum Elbstrom festzustellen. Diese Ergebnisse weisen auf eine „Phosphatfalle“ hin: Unter aeroben Bedingungen kommt es zu einer Ablagerung und Anreicherung von Phosphaten im Sedimentkörper. Das sauerstoffreichere Wasser zur Hafeneinfahrt begünstigt dies, sodass hier weniger Phosphate in Lösung gehen können. In Richtung Ufer kommt es zu einer Freisetzung der Phosphate vom Sedimentkörper ins Wasser, da unter sauerstoffärmeren Bedingungen viele der im Sediment gebundenen Phosphat-Ionen in Lösung übergehen und deshalb das Sediment einen geringeren KAK-Wert aufweist (siehe Kapitel 2.5). Bezüglich der Sauerstoffkonzentration im HY wurden bereits Untersuchungen durchgeführt (DEHN und FEINE, 2011).

An den Messstationen wurde eine Messung vorgenommen, die zu einem eindeutigen Ergebnis führte. Weitere Messungen könnten dieses Ergebnis genauer definieren.

Wir vermuten, dass weitere Yachthäfen und strömungsberuhigte Nebengewässer dieses Phänomen aufweisen und damit auch bedingt zur Eutrophierung beitragen.

4.4 Anthropogener Eingriffe in das Ökosystem der Tide-Elbe am Beispiel der Este

Unsere Untersuchungen zeigen, dass Anteile des landwirtschaftlich eingesetzten Düngers über Entwässerungsgräben und Zuflüsse wie die Este in das Ökosystem der Tide-Elbe abgeschwemmt werden. Aus Abb.11 und Abb.13 wird deutlich, dass die Phosphatkonzentration bei Buxtehude niedriger war, als im landwirtschaftlichen genutzten Raum bei Estebrügge.

Flussabwärts bei Estebrügge stagnierte der Phosphatgehalt der Este auf einem hohen Niveau.

Die Entwässerungsgräben westlich der Este, verglichen mit denen östlich der Este, wiesen zu dem Zeitpunkt einen stark erhöhten Wert auf. Wir vermuten, dass die unterschiedliche Nutzung der Anbauflächen – westlich überwiegend Kern- und Steinobst, östlich Mischkulturen (Mais, Erdbeeren und Äpfel) – und eine damit verbundene unterschiedliche Düngung einen Grund für die unterschiedlichen Messergebnisse waren.

Außerdem vermuten wir, dass eine unterschiedlich lange Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen dazu beitragen könnte - je länger die Nutzung, umso größer die Anreicherung im Boden/ Sediment.

Unsere Messung sind hier nicht aussagekräftig genug, genaueres wäre zu untersuchen.

Wie wir bereits feststellten, kommt es zu einer Verstoffwechslung des Phosphates durch das Phytoplankton in der oberen Wasserschicht. Es stirbt ab, sinkt zu Boden und wird dort unter aerobem und anaerobem Abbau von Mikroorganismen zu Nährsalzen remineralisiert.

Auf diese Weise gelangt Phosphat in die Bodenlösung. Parallel dazu kommt es zu Sedimentierung, so dass sich Phosphat-Ionen, porenwasser- und sedimentgebunden, über Jahre in der Bodenlösung anreichern.

Unsere Sedimentkernanalyse im ufernahen Bereich der Tide-Elbe wies eine steigende Phosphatkonzentration

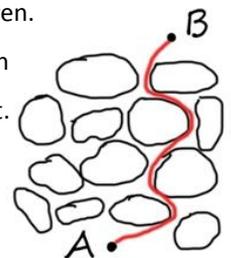


Abb.16: Diffusionsweg in den Sedimenten.

mit zunehmender Tiefe auf. Durch Teilchen-Diffusion übt der strömende Wasserkörper eine reinigende Wirkung auf die oberen Sedimentschichten aus, sodass der Phosphatgehalt dort niedriger ist als in tieferen Schichten. Die Diffusionskraft wird mit zunehmender Tiefe möglicherweise durch die Sedimentpartikel gehemmt (siehe Abb.16). Diesbezüglich wurden bereits Untersuchungen mit Edelgasen angestellt (BRENNWALD, 2000).

Außerdem lässt sich folgern, dass die Belastung durch Phosphat in der Vergangenheit stärker war, dieses sich in den Sedimenten anreichte und eine Art "Phosphatspeicher" bildet [FGG-Elbe, 2004].

Ein ähnliches Phänomen der Phosphatanreicherung fanden wir in der Sedimentkernanalyse des Entwässerungsgrabens einer Kernobstplantage. Hier war der Phosphatgehalt aufgrund Düngemiteleinträge erhöht und stieg ebenfalls in der Tiefe weiter an.

Im Gegensatz dazu zeigen unsere Messergebnisse auf einer Apfelplantage, dass die Phosphatkonzentrationen in tieferen Bodenschichten abnehmen. Terrestrische Primärproduzenten nehmen über die Wurzeln Phosphate aus der Bodenlösung auf, daher nimmt in der Wurzelhaarzone bzw. im wurzelnahen Bereich (30-100cm) die Phosphatkonzentration ab (KÖSTER u. NIEDER, 2007).

Zusammengefasst bedeutet dies: Oberflächlich aufgetragene Düngemittel gelangen zu einem gewissen Teil durch Auswaschung über Entwässerungsgräben und die Este in die Elbe. Nur ein Teil des Düngers gelangt in die Bodenlösung und kann dort in der Wurzelhaarzone verwertet werden.

Im Alten Land sind überwiegend Dauerbetriebe von (Kern- oder Stein-) Obstbauflächen angesiedelt (ANON.: 2010). Diese Art der Nutzung entzieht dem Boden ungefähr $13 \text{ kg/ha PO}_4^{3-}$ pro Jahr. Der Boden wird nach Angabe anderer Quellen (MLR, 2012; DüV, 2012) mit mehr als $40 \text{ kg/ha PO}_4^{3-}$ pro Jahr gedüngt, somit bleibt ein Überschuss von mehr als $27 \text{ kg/ha PO}_4^{3-}$ pro Jahr. Dieser Überschuss an Phosphat kann sich in Böden ablagern (KÖSTER u. NIEDER, 2007), aber auch in Flüsse und andere Gewässer eingespült werden und zur Eutrophierung beitragen.

Schließlich führt das Phänomen der Eutrophierung von Flüssen durch Dünger aus der Landwirtschaft zu einem Folgeproblem in den Meeren (ANON.: World Ocean Review, 2010). Hierzu wäre eine langzeitliche und großräumige Untersuchung im Mündungsbereich der Elbe sinnvoll.

4.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit geben einen Überblick über die komplexe räumlich und zeitlich variierende Phosphatkonzentration im Einflussbereich der Tide-Elbe und ihren Sedimenten im Jahr 2012.

Am Beispiel der *Chlorella*-Alge zeigen wir, dass steigende Phosphatkonzentrationen das Wachstum der Primärproduzenten fördern.

Unsere Messdaten zur räumlichen Verteilung der Phosphatkonzentration zeigten erhöhte Werte im Ballungsraum Hamburg, die zur Mündung hin abnahmen, und zwar aufgrund des Selbstreinigungspotentials der Gezeiten, was wir anhand der Gezeitenmessungen feststellten. Hierbei wiesen Ausnahmen auf

anthropogene Eingriffe hin. Dies zeigten die Messwerte z.B. bei Brunsbüttel, Wedel und dem Alten Land, welches wir daraufhin im Bereich der Este genauer untersuchten. Es stellte sich heraus, dass Düngemittel über Zuflüsse (Punktquellen) einen großen Einfluss auf die Phosphatkonzentration in der Este haben und über die Einleitung des Estesperrewerks in die Elbe gelangen.

Die kleinräumige Untersuchung im strömungsarmen Gewässer des Hamburger-Yachthafens zeigt eine „Phosphatfalle“ auf: Die Phosphatkonzentration in tieferen Wasserschichten und Richtung Ufer nimmt zu. Das Sedimentprofil des HY verdeutlicht darüber hinaus, dass das Phosphatfreisetzungspotential mit zunehmender Ufernähe steigt.

Wir vermuten, dass weitere Yachthäfen dieses Phänomen aufweisen und damit auch bedingt zur Eutrophierung beitragen können.

Mit Hilfe der Sedimentkernanalyse, unter Verwendung des von uns definierten Verfahrens, stellten wir im ufernahen Bereich der Tide-Elbe fest, dass die Diffusionskraft für Phosphationen mit zunehmender Sedimenttiefe gehemmt wird und deshalb der Phosphatgehalt mit steigender Tiefe zunimmt. Andererseits entziehen Terrestrische Produzenten dem Boden Phosphate, wodurch die Konzentration von der Oberfläche in die Tiefe abnimmt.

Unsere Messergebnisse zeigen darüber hinaus, dass Düngemittel durch Ausspülung verfrachtet werden und einen wesentlichen Faktor zur Phosphatanreicherung in der Tide-Elbe, ihren Nebengewässern und den Sedimenten bilden.

Nährstoffkonzentrationen in Sedimenten sollten in Zukunft weiter untersucht werden, da von diesem Phosphatspeicher ausgehend die Gefahr der Freisetzung durch sauerstoffzehrende Prozesse gegeben ist.

Ziel unserer Arbeit war es, anhand der Messergebnisse einen anthropogenen Eingriff in das Ökosystem der Tide-Elbe nachzuweisen. Der Bedarf an Düngemitteln ist weltweit gestiegen, aber Rohphosphate werden knapp. Somit sollten neue Düngeverfahren entwickelt werden, die sich exakt nach dem Bedarf der Pflanze richten und direkt in den Wurzelbereich (Wurzelhaarzone 30 – 100cm) eingebracht werden, denn dort wird der Dünger verwertet und nicht an der Bodenoberfläche. Die Folge wäre eine Verringerung der Abschwemmung von Phosphaten in die Elbe. Dies könnte sich kosten- und ressourcensparend auswirken und gleichzeitig die Gefahr der Eutrophierung verringern.

5. Quellenverzeichnis

Literatur:

ANON. (2010): World Ocean Review, Mit den Meeren leben, Kapitel 4, maribus

BRENNWALD, M. (2000): Tracer im Porenwasser von Seesediment. ETH Zürich

DEHN, M., FEINE, J. (2011): Ammonium als abiotischer Faktor im Ökosystem der Tide-Elbe. Jugend forscht-Arbeit, Hamburg

FORESTER, S.D., MORELAND, K.J. (1989): Hypophosphatemia, J Vet Inter Med 3, 149-159

FRENZEL, J. (2008): Odin bringt Tiefe ins Becken, Pinneberger Zeitung, Hamburg, 29.02.08

HEINTZ, A., REINHARDT, G. A. (1996): Chemie u. Umwelt. 4. Aufl., Braunschweig u. Wiesbaden, S. 36

HUND, M., WEITZKE, K., HANSCHKE, T., METZBAUR, M., NEUMAYR, B., SEITHE, B. (2002): CASSY-Lab Handbuch

KAUSCH, H. (1996): Die Elbe, ein immer wieder veränderter Fluss, In: LOZÁN et al.: Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren. Parey Buchverlag, Berlin

LUDWIG, A. (2001): Das Nährstoffelement Phosphor in limnischen Sedimenten verschiedener Herkunft. Univ. Heidelberg

NOVOTNY, V., OLEM, H. (1994): Water Quality. Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold, New York.

SCHAEFER, M. (2003): Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin

Weblinks:

ALGOMED (2012): Forschung, Verfügbar im Internet: <http://www.algomed.de/index.php?op=forschung>
Zugriff am 15.01.13

ANON. (2010): Landwirtschaftlicher Fachbeitrag zum RROP Stade, Verfügbar im Internet:
<http://www.landkreis-stade.de>
Zugriff am 15.01.13

DüV (2012), Zugriff im Internet: <http://www.gesetze-im-internet.de/>
Zugriff am 15.01.12

Flussgebietsgemeinschaft Elbe (seit 2004): FGG-Elbe
Verfügbar im Internet: <http://www.fgg-elbe.de/>
Zugriff am 15.01.13

Institut Dr. Flad. (seit 1991): Chemischer Index und Gewässergüte
Verfügbar im Internet: http://www.chf.de/eduthek/chemischer-index/Chemischer_Index.pdf
Zugriff am 15.01.13

KÖSTER, W., NIEDER, R. (2007): Wann ist eine Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium wirtschaftlich vertretbar? Verfügbar im Internet:
http://www.beratung-mal-anders.de/pdf/Wann_ist_eine_Grundduengung_wirtschaftlich_DIN_A_4.pdf
Zugriff am 15.01.13

LBL (2003): Nachhaltige Obstbaumdüngung, Verfügbar im Internet: http://www.liebegg.ch/pdf/1216275710-kurzfassung_fs15_grudob_2003.pdf
Zugriff am 15.01.13

MLR (2012): Düngung von Ertragsreben; DüV, Verfügbar im Internet: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de>
Zugriff am 15.01.13

STÖCKEL, M. (2010): Phosphate – besser als ihr Ruf.
Verfügbar im Internet : <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/phosphat/phosphat.htm>.
Zugriff am 15.01.13

WETTERKONTOR (2013), Verfügbar im Internet: <http://www.wetterkontor.de/de/monatswertestation.asp?id=10147&yr=2012&mo=-1&b=2>
Zugriff am 14.04.13

Abbildungen:

Abb. 1, 10, 11 - Google Maps

Danksagung

Dank geht an unseren Biologielehrer Herrn Dr. Kock. Ihm verdanken wir viel konstruktive Kritik, umfangreiches Fachwissen und Untersuchungsgeräte, die uns im Zuge unserer Arbeit zur Verfügung gestellt wurden.

Wir danken auch Herrn Dr. Knoblauch vom Institut für Bodenkunde der Uni Hamburg, der uns über die Methode zur Bestimmung des doppellactatlöslichen Phosphors in Bodenproben informierte sowie dem Botanischen Institut der Universität Hamburg für die Bereitstellung einer *Chlorella*-Algenkultur.

Video-Dokumentation

Zur Dokumentation unserer Arbeit erstellten wir ein Video, welches Probenentnahmen, die Auswertung des Ortho-Phosphatnachweises und einige Messstationen zeigt. Dieses Video ist während der Ausstellung verfügbar.

Kamera, Schnitt und eigene Musikkomposition: Jonas J. Miesner und Benjamin L. Miesner

Anhang

Bilder der Untersuchungsgeräte



Abb.2: Der Sedimentgreifer (l.) und der Wasserprobenentnehmer für unterschiedliche Wassertiefen (r.)



Abb.3: Der Pürckhauer Bodenprober (oben) und der Schonhammer (unten)



Abb.4: Fotometrie-Ausrüstung:
Eintauchphotometer (l.), CASSY-Mobile (unten) und
Reagentienkoffer

Kapitel 3.1: Voruntersuchungen der Phosphatkonzentrationen der Tide-Elbe in Hamburg

Phosphatkonzentration unter 0,2 mg/l
 Phosphatkonzentration unter 0,4 mg/l
 Phosphatkonzentration unter 0,6 mg/l
 Phosphatkonzentration über 0,6 mg/l

Messergebnis Regenwasser, Hamburg 05.01.12:

0,00 mg/l PO₄³⁻

Messreihe Industriegebiet, Rothenburgsort und Hafen 05.01.12:

Elbpark-Entenwerder	0,31 mg/l PO ₄ ³⁻
Kaltehofe-Hauptdeich (Brücke)	0,37 mg/l PO ₄ ³⁻
Ausschläger-Elbdeich	0,35 mg/l PO ₄ ³⁻
Billhorner-Deich (Brücke)	0,32 mg/l PO ₄ ³⁻
Amsinckstraße (Brücke)	0,33 mg/l PO ₄ ³⁻
Dockland	0,28 mg/l PO ₄ ³⁻

Messreihe Wedel 09.01.12:

Wehr bei Wedel (Landseite); Wedeler Au	0,62 mg/l PO ₄ ³⁻
Hinterland (beim Wehr)	0,64 mg/l PO ₄ ³⁻
Wehr (Elbeseite)	0,53 mg/l PO ₄ ³⁻
Hamburger Yachthafen (Schlengel H-N)	0,35 mg/l PO ₄ ³⁻
Mole beim Hamburger Yachthafen	0,33 mg/l PO ₄ ³⁻
Schnalles-Hafen (neben dem Kohlekraftwerk)	0,37 mg/l PO ₄ ³⁻
Wittenbergen (Anleger)	0,39 mg/l PO ₄ ³⁻

Messreihe 07.01.12:

Innenalster Rathausplatz Schleuse	0,32 mg/l PO ₄ ³⁻
Innenalster-Elbe Kanal	0,28 mg/l PO ₄ ³⁻
(Unter der) Köhlbrandbrücke	0,28 mg/l PO ₄ ³⁻
Altes Land – Apfelplantage – Wehr - Innland	0,76 mg/l PO ₄ ³⁻
Hubbrücke – Sietas Werft - Elbeseite	0,43 mg/l PO ₄ ³⁻
Estesperrwerk (Richtung Altes Land)	0,57 mg/l PO ₄ ³⁻

Messreihe „Flottbek“ (04.01.12):

Baron-Vogt-Straße	0,23 mg/l PO ₄ ³⁻
Golfplatz (GTHGC)	0,34 mg/l PO ₄ ³⁻
Jenischpark	0,2 mg/l PO ₄ ³⁻
Mündung in die Elbe	0,27 mg/l PO ₄ ³⁻

Messreihe 02.01.12:

Teufelsbrück Hafen	0,33 mg/l PO ₄ ³⁻
Teufelsbrück Anleger	0,34 mg/l PO ₄ ³⁻
MSC Hafen	0,31 mg/l PO ₄ ³⁻
BSC Hafen	0,31 mg/l PO ₄ ³⁻
Blankeneser Anleger	0,30 mg/l PO ₄ ³⁻

Tab.1: Ergebnisse der Phosphatmessungen an verschiedenen Gewässern in und um Hamburg im Rahmen der Voruntersuchung. Klassifizierung nach FLAD.

Kapitel 3.5: Phosphateinträge im landwirtschaftlich genutzten Raum der Este

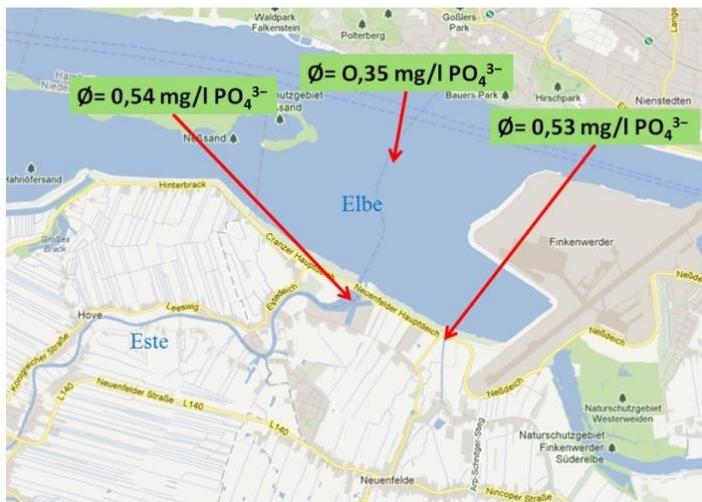
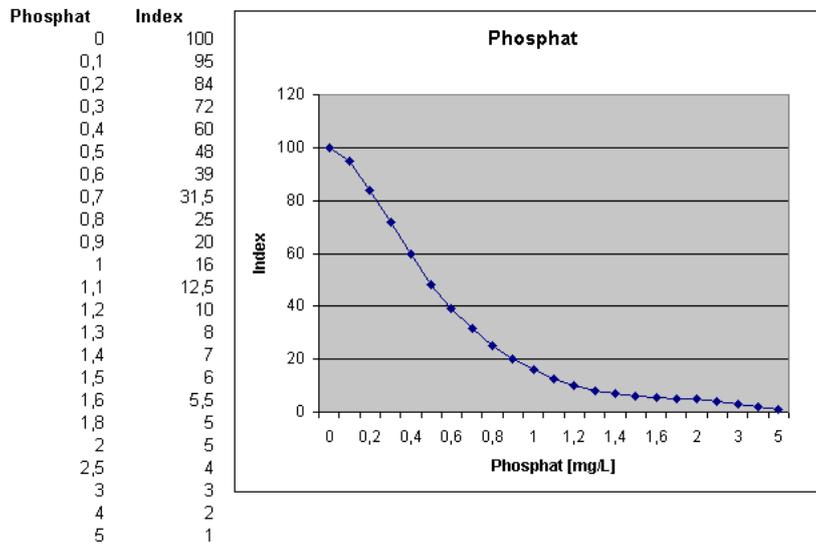


Abb.10: Die Abbildung stellt die mittlere Phosphatkonzentration aus jeweils fünf Messungen in der Este und der Elbe sowie dem Neuenfelder Schleusenfleet dar. Vorlage: Google-Maps

Aus jeweils fünf Messungen im August in einem Zeitraum von zwei Stunden bei auflaufendem Wasser ergab sich ein Mittelwert der Phosphatkonzentration der Este von 0,54 mg/l und des Neuenfelder Schleusenfleets von 0,53 mg/l, die im Vergleich mit dem Mittelwert der Tide-Elbe deutlich erhöht waren.

Chemischer Index und Gewässergüte des Institut Dr. Flad.



Zuordnung der Gewässergüte über den ermittelten Chemischen Index:

Indexzahl	Gewässergüte	Beurteilung
100 - 83	I	unbelastet
82 - 74	I - II	gering belastet
73 - 56	II	mäßig belastet
55 - 45	II - III	kritisch belastet
44 - 27	III	stark verschmutzt
26 - 18	III - IV	sehr stark verschmutzt
17 - 0	IV	verödet

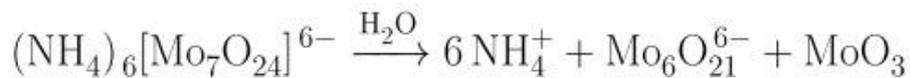
Quelle: Chemischer Index und Gewässergüte – Institut Dr. Flad

(http://www.zum.de/Faecher/Ch/BW/chemischer-index/Chemischer_Index.pdf 15.09.12)

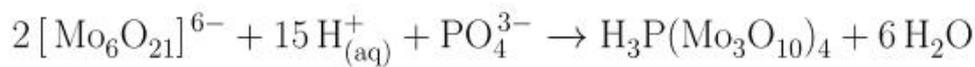
Phosphatnachweis:

Um Phosphat im Wasser nachzuweisen wird zuerst ein 25ml Messbecher mit 10 ml Probenwasser befüllt. Danach kalibriert man das Eintauchphotometer in der Probe, indem die Transmission auf 100% eingestellt wird. Anschließend werden zuerst die Phosphat Tablette Nr.1 des "CASSY"-Chemikalienkoffers, dann die Phosphat Tablette Nr.2 hinzugegeben. Nach drei Minuten wird die Lösung photometrisch analysiert.

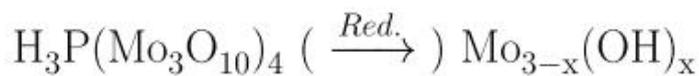
Zunächst dissoziiert Ammoniumheptamolybdat unter katalytischem Einfluss von Wasser in Ammoniumionen, Hexamolybdat und Molybdän(IV)-Oxid:



Wenn Phosphat-Ionen vorhanden sind, reagieren diese mit Hexamolybdat in saurer Lösung zu Molybdatophosphorsäure



Anschließend wird die Molybdatophosphorsäure zu Molybdänblau reduziert:



[Dehn, M., Feine, J. (2011)]

Klimadaten 2012

Monat	Temperatur		Niederschlag		Sonnenschein	
	Mittel	Abw.	Summe	Abw.	Summe	Abw.
2012 / 12	1,6	-0,6	79,7	116%	30,7	81%
2012 / 11	6	+0,6	32,1	46%	47,6	88%
2012 / 10	9,6	-0,2	66,9	100%	111,3	103%
2012 / 09	13,7	-0,3	71,5	107%	128,9	89%
2012 / 08	17,9	+0,3	55,7	71%	217,8	106%
2012 / 07	17,2	-0,9	116,2	151%	191,7	88%
2012 / 06	14,6	-1,0	77,3	98%	148,2	75%
2012 / 05	13,6	+0,7	58,9	103%	225	103%
2012 / 04	7,8	-0,8	38,9	90%	125,7	73%
2012 / 03	7,2	+2,6	10,1	15%	122,4	112%
2012 / 02	0	-1,9	25,3	51%	87,5	129%
2012 / 01	2,8	+1,2	99,1	146%	56,9	119%

Quelle: WETTERKONTOR

(<http://www.wetterkontor.de/de/monatswerte-station.asp?id=10147&yr=2012&mo=-1&b=2>
13.4.13)

Karte des Hamburger Yachthafens

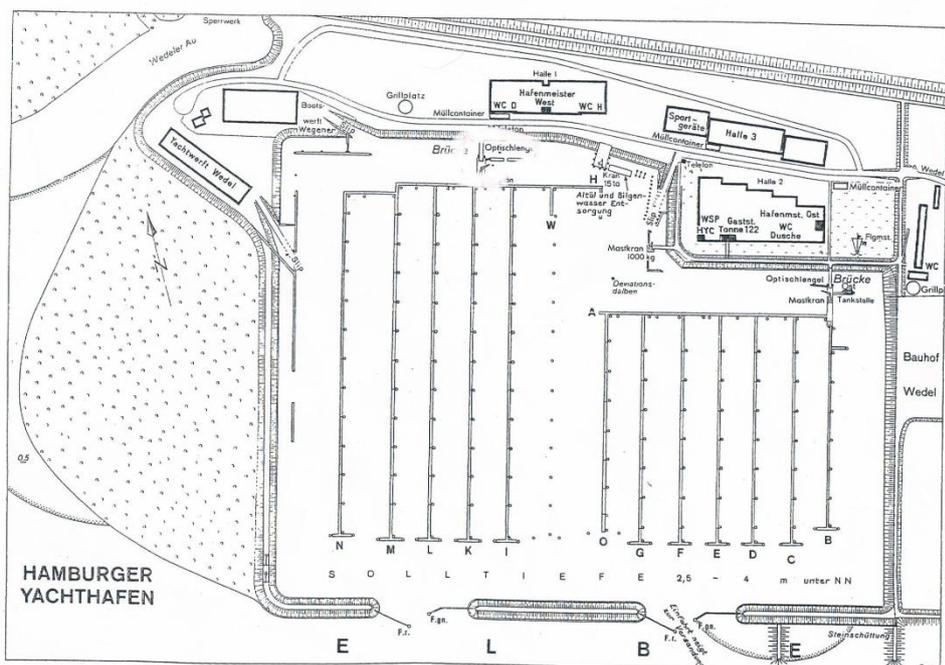


Abb. 17: Karte des Hamburger Yachthafens