

Hans Adolf von Stosch-Vorlesung 2006¹

Die Algenvegetation der Tideelbe, gestern, heute und morgen

Ludwig Kies, Sassenburger Weg 16a, 22147 Hamburg, Germany, e-mail: l.kies@t-online.de

© 2006 L. Kies; Lizenz Sektion Phykologie der DBG.

Dies ist ein Open Access Artikel. Die Verwendung und Reproduktion in jedem Medium ist gestattet unter der Bedingung, dass die Originalarbeit korrekt zitiert wird.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Inhalt:

- 1. Danksagung für die Verleihung der Hans Adolf von Stosch-Medaille**
- 2. Die Algenvegetation der Tideelbe, gestern, heute und morgen**
 - 2.1 Die EU-Wasserrahmenrichtlinie**
 - 2.2 Für meine weiteren Ausführungen verwende ich die folgenden Daten:**
 - 2.3 Typisierung der Tideelbe**
 - 2.4 Hydrologie der Tideelbe**
 - 2.5 Die Algenvegetation der Tideelbe in der Gegenwart**
 - 2.5.1 Benthische Makroalgen im Salzgradienten**
 - 2.5.2 Mikrophytobenthos**
 - 2.5.3 Phytoplankton**
 - 2.5.4 Aggregate**
 - 2.5.5 Schwebstoffe und der Sauerstoffhaushalt der Tideelbe.**
 - 2.6 Güte-Einstufung der Tideelbe in der Gegenwart**
 - 2.7 Wie sah der natürliche Zustand der Tideelbe aus?**
 - 2.8. Was war im Referenzzustand im Detail anders als heute?**
 - 2.9. Wie wird die Tideelbe in Zukunft aussehen?**
 - 2.10. Wird die geplante Vertiefung der Fahrrinne und werden begleitende Maßnahmen die Algenvegetation positiv verändern und zu einer Verbesserung des „ökologischen Potentials“ der Tideelbe führen?**
- 3. Ausgewählte Literatur**

¹ Der nachfolgende Text ist ein Kurzversion des von Herrn Prof. Dr. Ludwig Kies am 29.08.2006 anlässlich der Verleihung der Hans Adolf von Stosch-Medaille gehaltenen Vortrages.

1. Danksagung für die Verleihung der Hans Adolf von Stosch-Medaille

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Kollegen und Freunde,

als mich Christian Wiencke Mitte Juli 2006 in Hamburg anrief und mir den von der Sektion Phykologie gefaßten Beschluß mitteilte, mir als erstem Mitglied der Sektion die Hans Adolf von Stosch-Medaille zu verleihen, herrschte bei mir große Freude aber auch ungläubiges Erstaunen, das sich bis jetzt immer noch nicht gelegt hat. Was habe ich denn getan, das diese Ehrung rechtfertigt? Die schöne Laudatio von Christian Wiencke, für die ich Dir, lieber Christian, herzlich danke, hat dem Selbstwertgefühl eines Phykologen allerdings gut getan, eines Phykologen, der sich nun schon seit dreieinhalb Jahren im Ruhestand befindet, aber dem Fortschreiten der Erkenntnis in dem Fachgebiet der Phykologie immer noch mit großem Interesse zusieht, wobei natürlich die Wichtigkeit der eigenen Ergebnisse mit zunehmendem Zeitabstand immer geringer wird. Diese Erscheinung ist untrennbar mit dem Fortschritt verbunden. Ich frage mich: welche Ergebnisse und Erkenntnisse des Autors werden auch in Zukunft mit seinem Namen verknüpft bleiben und auch weiterhin zitiert werden? Halten Sie mich bitte wegen dieser Äußerungen nicht für einen Pessimisten, sondern für einen Realisten.

Bei den ganz großen Namen in der Phykologie des deutschsprachigen Bereiches wie Geitler, Pascher, Pringsheim, muß man nicht nach dem Bleibenden fragen. Auch Hans Adolf von Stosch zählt zu den international hochgeschätzten deutschen Phykologen, deren Forschungsergebnisse bleiben werden. Er hat bezüglich der Kultivierbarkeit und Manipulierbarkeit von Dinoflagellaten und zentrischen Kieselalgen als Voraussetzung für die von ihm studierten Entwicklungsgänge bahnbrechende Ergebnisse erarbeitet. Ich freue mich, daß ich ihm mehrfach begegnet bin, einmal auf einer Exkursion nach Helgoland und dann bei Besuchen in Marburg, wo ich einmal „vorgesungen“ habe. Ich erinnere mich gut daran, wie er mir seine Algensammlung zeigte, die in einem Kellerraum des alten, in der Innenstadt gelegenen Botanischen Institutes untergebracht war. Der Raum war so niedrig, daß der hochgewachsene von Stosch dort nur gebückt arbeiten konnte. Bei Gesprächen mit ihm bekam man immer nützliche Tips, er machte kritische Anmerkungen, man hat Ermunterung für die eigenen Arbeiten erfahren und bekam am Ende auch einige seiner Algenstämme geschenkt.

Ich schätze Hans Adolf von Stosch sehr und bin stolz, daß mir die Sektion Phykologie die nach ihm benannte Medaille verliehen hat. Es ist mir eine große Ehre, sie in Empfang zu nehmen und ich möchte der Sektion und ihrem Vorstand dafür herzlich danken. Mit der Verleihung der Hans-Adolf von Stosch-Medaille verbunden ist ein etwa halbstündiger Vortrag des Geehrten. Ich habe ihm den folgenden Titel gegeben:

2. Die Algenvegetation der Tideelbe, gestern, heute und morgen

Möglicherweise verspreche ich mit diesem Titel zu viel, denn hinsichtlich der gesamten Algenvegetation der Tideelbe, die vom Wehr Geesthacht bis zur Seegrenze reicht, gibt es ausreichende und belastbare Daten nur aus den letzten 40 Jahren (die Gründung der ARGE Elbe erfolgte im Mai 1977). Über die Algenvegetation der weiter zurückliegenden Vergangenheit gibt es nur wenige und meist auf das Phytoplankton beschränkte Publikationen. Warum sollte man sich denn überhaupt mit der Vergangenheit und der Zukunft der Algenvegetation in der Tideelbe beschäftigen? Die Antwort lautet: außer dem rein wissenschaftlichen Interesse als Beweggrund sind es grundsätzliche Entscheidungen, die in Brüssel von den EU-Gremien getroffen worden sind und deren Umsetzung verlangt wird. Im Dezember 2000 erließen das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union die sogenannte „EU-Wasserrahmenrichtlinie“ oder kurz „WRRL“ genannt (Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates).

2.1 Die EU-Wasserrahmenrichtlinie

Sie schreibt allen Mitgliedern die ökologische Bewertung der Oberflächengewässer ihres Staatsgebietes und die Verbesserung ihres ökologischen und chemischen Zustandes vor. Die Umsetzung der WRRL verfolgt eine ganzheitliche Bewertung des ökologischen und chemischen Zustandes, also nicht wie bisher nur der Saprobie, der Trophie oder des hydromorphologischen Zustandes. Zur besseren Koordinierung der Arbeiten werden alle Anlieger eines großen Flußes und seines Einzugsgebietes zu einer „Flußgebietsgemeinschaft“ (FGG) zusammengeschlossen, so für den Rhein, die Elbe (FGG Elbe gegründet 20.11.2003 für den deutschen Teil), die Weser, die Ems, die Donau.

Um die Vielfalt der Gewässer einigermaßen übersichtlich zu machen, werden sie in Typen zusammengefaßt. Gewässertypen sind Idealtypen, deren Merkmale den anzunehmenden natürlichen Zustand beschreiben. Dieser Zustand heißt „Referenzzustand“. Für jeden Typus wird ein „Steckbrief“ erarbeitet, der den Referenzzustand kurz beschreibt. Dabei werden folgende Eigenschaften berücksichtigt: morphologischer und hydrologischer Zustand, Wasserbeschaffenheit und biologische Qualitätskomponenten. Biologische Qualitätskomponenten sind laut WRRL das Phytoplankton, die Makrophyten, das Phytobenthos, das Makrozoobenthos und die Fische. Im Folgenden werde ich mich nur mit dem Phytoplankton und dem Phytobenthos der Tideelbe beschäftigen. Um Vorstellungen über den anzunehmenden natürlichen Zustand eines Gewässers entwickeln zu können, müssen wir uns also auch Gedanken machen, wie die Algenvegetation in der Vergangenheit beschaffen war. Damit ist von Seiten der EU nun auch festgeschrieben, daß die Bewertung der Algenvegetation von Gewässern für die Umsetzung der WRRL wichtig ist. Hier hat sich ein neues Arbeitsgebiet für ökologisch orientierte Phykologen aufgetan!

Der „ökologische Zustand“ eines Gewässers wird aufgrund der Artenzusammensetzung und Abundanz der zur Bewertung herangezogenen Organismengruppen ermittelt. Es werden fünf „ökologische Zustandsklassen“ unterschieden. Für Oberflächengewässer schreibt die WRRL als Bewirtschaftungsziel einen „guten ökologischen Zustand“ vor, d.h. einen Zustand, in dem die Biozönosen anthropogen weitgehend unbeeinflusst vorliegen. Bei den „chemischen Zustandsklassen“ wird nur zwischen „gut“ und „nicht gut“ unterschieden. Für jeden Gewässertyp muß ein „Leitbild“ erarbeitet werden. Damit gemeint ist „das aus rein fachlicher Sicht maximale Sanierungsziel, wenn es keine sozioökonomischen Beschränkungen gäbe“. Für die Formulierung der Leitbilder ist es wichtig, daß wir uns auch mit der Algenvegetation befassen, wie sie in der Zukunft beschaffen sein wird oder beschaffen sein soll.

Die WRRL sieht auch Ausnahmen vor: Gewässer, die anthropogen stark verändert und wirtschaftlich stark genutzt sind wie z.B. Rhein und Elbe können natürlich nicht mehr in den Referenzzustand zurückversetzt werden. Dieser Tatsache wird auch begrifflich Rechnung getragen. Statt vom „ökologischen Zustand“, der verbessert werden soll, spricht man hier vom zu verbessernden „ökologischen Potential“ (ARGE Elbe 2006). Man unterscheidet dabei in Richtung einer zunehmenden Degradierung eines Gewässers 4 Kategorien: Anzustreben ist das „gute ökologische Potential“. Die Ziele der WRRL müssen bis zum Jahre 2015 erreicht sein.

2.2 Für meine weiteren Ausführungen verwende ich die folgenden Daten:

1. Wassergütedaten der Elbe, erhoben von der Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) und der Wassergütestelle Elbe in Hamburg.
2. Daten von Wissenschaftlern, die im Auftrag der ARGE Elbe tätig sind, soweit diese Daten öffentlich zugänglich sind. Zu diesen Wissenschaftlern gehören Frau Dr. Riedel-Lorjé und

Mitautoren (1998) in Hamburg und Frau Dr. Gutowski und Mitautoren (2005) in Bremen. Auf die Publikation von Riedel-Lorjé et al. über die Kleinlebewesen und Aggregate in der Tideelbe sowie von Gutowski et al. im Internet über benthische Mikro- und Makroalgen in der Tideelbe möchte ich besonders hinweisen.

3. Daten, die wir bei unseren Untersuchungen im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 327 Tideelbe der Deutschen Forschungsbereiches (1986-1996) gewonnen haben. Erwähnen möchte ich hierbei meine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Stella Böhling (1986), Lars Bartz (1993), Thomas Fast (1993), Christiane Gätje (1992), Katja Humann (1996) Helmut Krieg (1988), Maren Schulz(-Steinert) (1992) und Kirsten Wolfstein (1993) (alle zitiert in Geißler & Kies 2003).

4. Daten, die weitere Wissenschaftler über die Elbe erarbeitet haben (u.a. Heckman 1981, 1985, Kausch 1996, Knauth & Schröder 1992, Paluska 1992 u.a.).

2.3 Typisierung der Tideelbe

Die Tideelbe (Abb.1) mit einer Länge von 141km ist wie folgt typisiert (Sonderaufgabenbereich Tideelbe 2004):

1. Der Bereich vom Wehr Geesthacht bis zum Mühlenberger Loch gehört zum Typ 20, Subtyp Tideelbe "Sandgeprägter, tidebeeinflusster Strom des Tieflandes".
2. Der Abschnitt der Tideelbe zwischen Mühlenberger Loch und Mündung der Schwinge, dem Fluß, an dem Stade liegt, wird dem Typ 22.3 "Strom der Marschen" zugeschlagen (kommt in Deutschland vor nur bei Elbe und Weser).
3. Der Abschnitt von der Mündung der Schwinge bis zur offiziellen Seegrenze bei Cuxhaven gehört dem Typ T1 „Übergangsgewässer“ an, wie er in ähnlicher Weise auch bei Weser und Ems vorliegt.

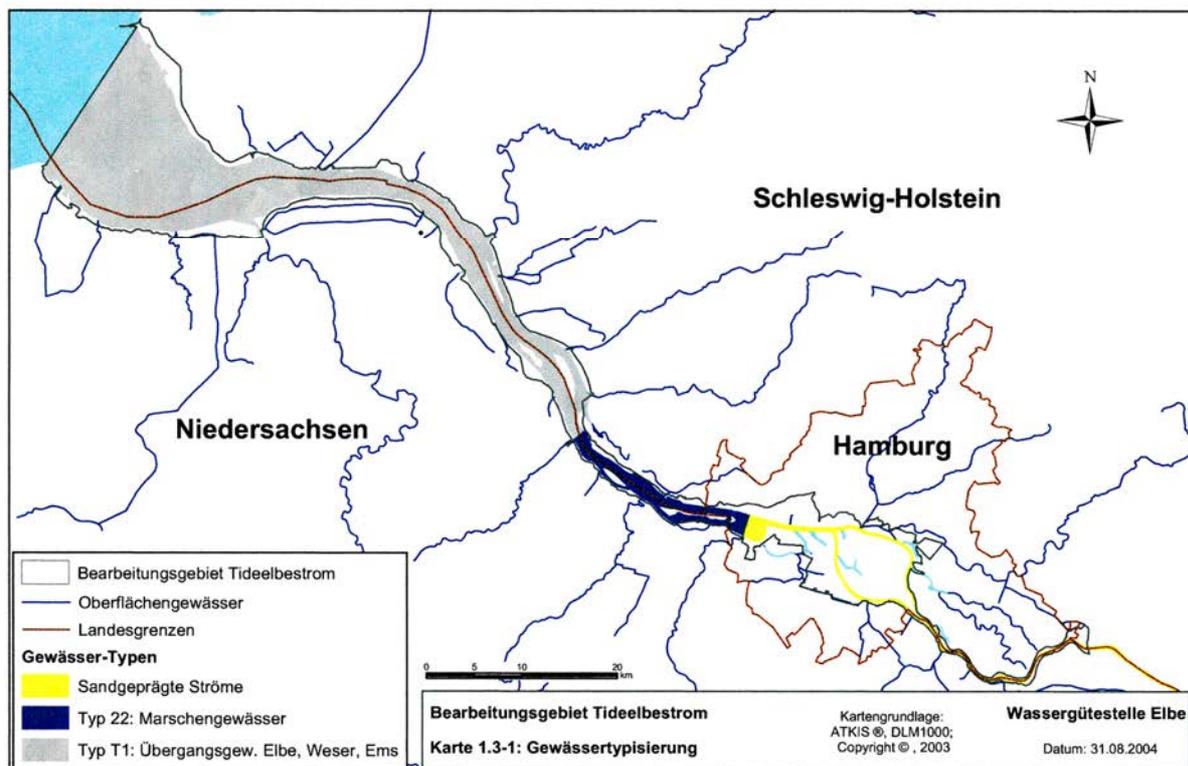


Abb. 1: Typisierung der Tideelbe.

Quelle: Sonderaufgabenbereich Tideelbe der ARGE Elbe (2004).

Alle drei Typen der Tideelbe gelten als „erheblich veränderte Gewässer“, für die ein „gutes ökologisches Potential“ angestrebt wird. Nach den Messungen der ARGE ELBE wird hinsichtlich des kritischen Sauerstoffhaushaltes der Tideelbe das „gute ökologische Potential“ und wegen der hohen Werte an sogenannten „prioritären Gefahrenstoffen“ der „gute chemische Zustand“ zur Zeit verfehlt. Zu hohe Konzentrationen betreffen insbesondere:

Atrazin: Dieser Photosynthesehemmer wird als Herbizid verwendet. In der Elbe bei Zolenspieker beträgt der Gehalt bis zu $100\mu\text{g/l}$ Wasser mit der Tendenz zu geringeren Werten.
Tributylzinn: Es wird für Antifoulinganstriche und als Desinfektionsmittel für Leder und Textilien verwendet. Die Konzentration in Sedimenten des Hamburger Hafens liegt bei $>1800\mu\text{g}$ Organozinnkationen/kg TM. Das entspricht Güteklasse V.

Blei: Es stammt zum großen Teil aus dem Straßenverkehr und gelangt über Entwässerungssiele in die Elbe. Die Konzentration in Sedimenten des Hafens liegt bei $> 800\text{mg}$ Blei/kg TM. Das entspricht Güteklasse IV.

2.4 Hydrologie der Tideelbe

Die obere Tideelbe (bei Bunthaus) ist 300-500m breit, spaltet sich dann in Norder- und Süderelbe, fließt durch den Hamburger Hafen und vereinigt sich wieder zu einem 500m breiten Strom. Dieser erweitert sich im Mühlenberger Loch bis auf 2,5km. Die Fahrrinne für seegehende Schiffe ist gegenwärtig 300m breit, im Hamburger Hafen 15,30m tief (= unter Kartennull; Kartennull entspricht dem mittleren Tideniedrigwasser) und zwischen Hamburg und Otterndorf $-14,40\text{m}$ KN tief. Zur Nordsee hin wird die Fahrrinne wieder tiefer ($-15,20\text{m}$ KN). Bei Brunsbüttel weitet sich das Ästuar auf 17,5km Breite auf. Der Tidenhub beträgt gegenwärtig am Pegel St. Pauli 3,60m (bei MHW 2,1m über NN und bei MNW $-1,5\text{m}$ unter NN). Im Jahre 1870 betrug er am selben Pegel nur 1,90m, im Jahre 1900 2m. Die Fließrichtung des Wassers der Tideelbe ändert sich vier Mal pro Tag. Während der Ebbphase fließt das Wasser etwa 20km elbabwärts, während der Flutphase etwa 15km elbaufwärts. Ein gegebener Wasserkörper und alle drin enthaltene Schadstoffe und Organismen, auch das Phytoplankton, schwappen also mit den Gezeiten hin und her und nähern sich dabei immer stärker der Mündung des Ästuars. Das Elbe-Ästuar, das eine ausgedehnte Brackwasserzone besitzt, kann nach dem Salzgehalt des Wassers in folgende Salinitätszonen gegliedert werden (Abb.2):

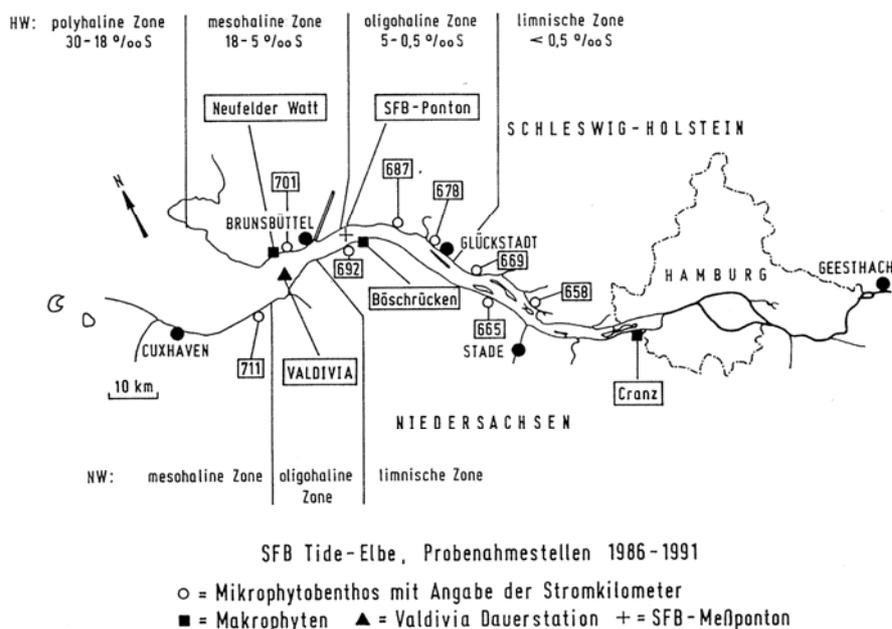


Abb. 2: Zonierung der Tideelbe nach dem Salzgehalt des Wassers und Probenahmestellen des SFB 327, benthische Probenahmestellen mit Kilometerangaben.
 Quelle: Kies et al. (1992).

Die limnische Zone (weniger als 0,5‰ Salzgehalt) reicht bei Hochwasser bis Glückstadt. Es folgt elbabwärts die Brackwasserzone, unterteilt in eine oligohaline Zone (0,5-5‰ Salinität) bis etwa zu Strom-km 692, es folgt eine mesohaline Zone (5-18‰ Salinität), die bis zur Seegrenze reicht und danach die polyhaline Zone (18-30‰ Salinität).

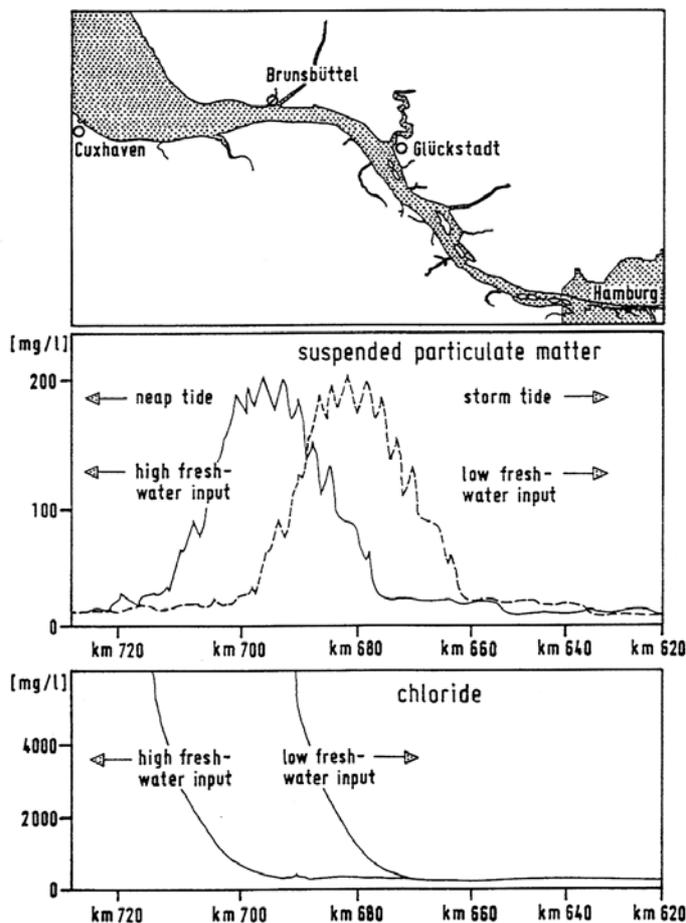
Die euhaline Zone beginnt erst jenseits des eigentlichen Ästuars, dort wo früher das Feuerschiff Elbe I positioniert war.

In der Brackwasserzone treffen Süßwasser (oberflächennah) und Meerwasser (bodennah) aufeinander. Hier ist das Wasser infolge Aufwirbelung von Sedimenten sehr trübe und es kommt vermehrt zu Schlickablagerungen. Die euphotische Tiefe beträgt in der Trübungszone oft nur 30cm. Im Vergleich hierzu ist sie oberhalb Hamburgs bis Geesthacht etwa 170cm tief. Auch Salzgradient und Trübungszone bewegen sich im Takt der Gezeiten hin und her (Knauth & Schröder 1992, Abb. 3).

Die wichtigsten anthropogenen Veränderungen in der Tideelbe seit Beginn des 19. Jahrhunderts betrafen:

1. den Hochwasserschutz
2. die Vertiefung der Fahrrinne in der Elbe und im Hamburger Hafen und
3. die Einleitung von Schad- und Nährstoffen in die Elbe.

Alle diese Maßnahmen wirkten sich wahrscheinlich negativ auf die Biotop-Diversität, die Arten-Diversität der Algen und den Sauerstoffhaushalt des gesamten Ökosystems aus.



Der verbesserte Hochwasserschutz war verbunden mit dem Verlust umfangreicher Vordeichsflächen, Flachwasserzonen, Kolken und Röhrichten. Allein seit 1950 wurde der für die Tideelbe zur Verfügung stehende Flutraum um 209 km² verringert. In Verbindung mit natürlichen Faktoren wie dem allgemeinen Anstieg des Meeresspiegels, der allein im vergangenen Jahrzehnt etwa 3 cm betrug (Schubert et al. 2006), führte das unter anderem dazu, daß die Tidewelle weiter stromaufwärts drang.

Abb. 3: Lage der Trübungszone und des Salinitätsgradienten (als Maß für die Salinität wurde der Chloridgehalt des Wassers verwendet) in Abhängigkeit von den Tiden und vom Oberwasserzufluß. Quelle: Knauth, H.-D. & F. Schröder (1992).

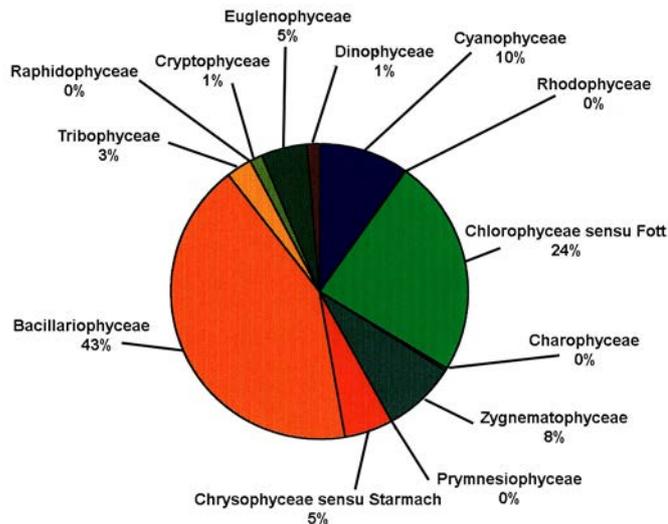


Abb. 4: Kreisdiagramm mit Prozentanteilen der Algenklassen im Hamburger Elbabschnitt. Quelle: Geißler & Kies 2003, verändert. 671 Algenarten entsprechen 100%.

In Zusammenhang mit der Vertiefung der Fahrwinne erhöhte sich auch der Sedimenttransport stromaufwärts. Der Flutstrom bringt mehr Sediment nach oben, als mit dem Ebbstrom abwärts wandert (bezeichnet als „tidal pumping“). Ohne entsprechende Gegenmaßnahmen würde es zu einer zunehmenden Verlandung kommen. In der Tideelbe, speziell im Hamburger Hafen müssen schon jetzt umfangreiche und teure Baggerarbeiten durchgeführt werden. Das Baggergut, soweit es mit Schwermetallen stark kontaminiert ist, wird auf Sonderdeponien verbracht, frisches, nicht kontaminiertes Baggergut in der Nordsee nordöstlich von Scharhörn deponiert, in der Hoffnung, daß es von dort aus nicht mit dem Flutstrom in die Tideelbe zurückverfrachtet wird (ARGE Elbe 1984).

2.5 Die Algenvegetation der Tideelbe in der Gegenwart

Bisher gib es keine Gesamtliste der benthischen und planktischen Algen der gesamten Tideelbe, sondern nur für Teilräume und für bestimmte ökologische Gruppen. Aus dem Hamburger Elbebereich allein haben wir in der Zusammenstellung aller Nachweise von Algen Hamburgs und Berlins zwischen 1830 und 1997 (Geißler & Kies 2003) 671 planktische und benthische Algenarten erfaßt. Artenreichste Gruppe sind die Kieselalgen, gefolgt von den Grünalgen und den Blaualgen (Abb.4).

2.5.1. Benthische Makroalgen im Salzgradienten

Euhaline Makroalgen, die man von Helgoland her kennt, wie *Fucus vesiculosus*, *Fucus spiralis*, *Elachista fucicola* und *Porphyra umbilicalis* gehen höchstens bis Neufelderkoog (Probenahmestelle Nr. 4 in Abb.5) in das Ästuar hinein (mesohaline Zone). Von den euryhalinen Arten, die bei Helgoland die oberste Gezeitenzone besiedeln, kommt *Rhizoclonium riparium* über alle Salinitätszonen hinweg vor, d.h. auf der gesamten Flußstrecke zwischen Elbemündung und Hamburg-Teufelsbrück (Nr. 13 in Abb.5). *Ulva (Enteromorpha) intestinalis* geht bis Brokdorf (Nr. 8 in Abb.5) und *Ulva (Enteromorpha) compressa* bis Kollmar (Nr. 10 in Abb.5). Die beiden Varietäten von *Blidingia minima*, die var. *minima* und die var. *ramifera* haben unterschiedliche Areale, die sich überlappen. Die var. *ramifera* findet man noch in Hamburg-Teufelsbrück (Nr.13 in Abb.5). Ein besonderer Fall ist *Bangia atropurpurea*, von der es eine marine (früher als *B. fuscopurpurea* (Dillwyn) Lyngbe geführt) und eine Süßwasserpopulation (als *Bangia atropurpurea* (Roth) C.Agardh geführt) gibt, die beide als heute eine Art angesehen werden. Sublitorale marine Makroalgen kommen in dem trüben Elbe-

Distribution of marine and brackish water macroalgae in the Elbe Estuary (Baritz 1993). Locations: 1 = Trischendam, 2 = Kugelbake, 3 = Otterndorf, 4 = Neufelderkoog, 5 = Mühlenstraßen, 6 = Brunsbüttel, 7 = SFP 327-Ponton vor St. Margarethen, 8 = Brokoderf, 9 = Blomesche Wildnis, 10 = Kollmar, 11 = Stadersand, 12 = Heiliger Schanze, 13 = Teufelsbrück.

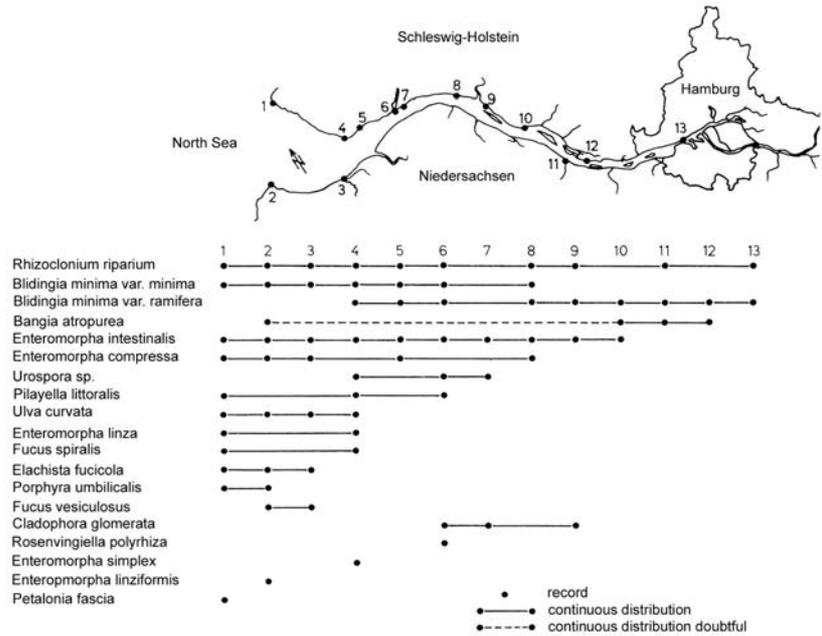


Abb. 5: Verbreitung der marinen und brackwasserbewohnenden Makroalgen im Längsschnitt des Elbe-Ästuars. Quelle: Bartz, Staatsexamensarbeit (1993), zitiert in Geißler & Kies (2003).

Ästuar nicht vor, wohl wegen des schlechten Lichtklimas (Bartz 1993 zitiert nach Geißler & Kies 2003).

Eine ebenso deutliche Zonierung (Krieg et al. 1988) läßt sich bei den Arten der Gattung *Vaucheria* erkennen, die auf den Wattflächen und zwischen den schlickgefüllten Steinen des Deckwerkes der Deiche im oberen Eulitoral lebt (Abb.6). Mehreren Süßwasserarten wie z.B. *Vaucheria bursata*, *V. geminata* und *V. taylorii* mit relativ geringer Amplitude hinsichtlich

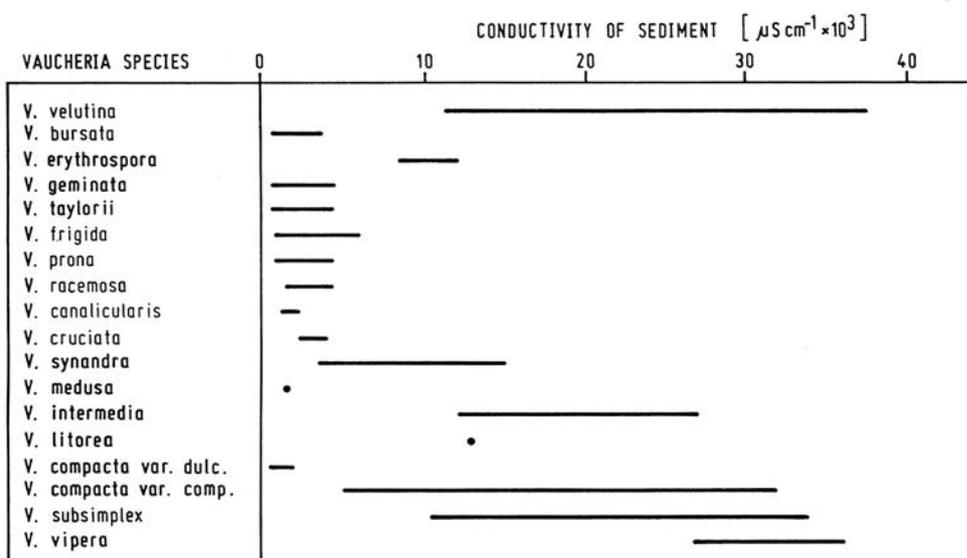


Abb. 6: Die Verbreitung der *Vaucheria*-Arten des Elbe-Ästuars in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit des Porenwassers im Sediment, auf dem sie leben. 1000μS/cm entspricht 0,65‰ Salinität bei 25°C. Quelle: Krieg et al. 1988.



Abb. 7: Rasen von *Vaucheria compacta*, vor dem Röhricht gelegen. Laßrönne Strand, oberhalb von Hamburg. Foto M. Schulz-Steinert, Diplomarbeit (1993), zitiert in Geißler & Kies (2003). Abb.8: Bei Sturm wie ein Teppich aufgerollter Rasen von *Vaucheria compacta*. Laßrönne Strand, oberhalb von Hamburg. Foto M. Schulz-Steinert, Diplomarbeit (1993), zitiert in Geißler & Kies (2003).

der Leitfähigkeit des Untergrundes als Maß für die Salinität stehen andere Arten mit einer breiten Amplitude gegenüber, insbesondere die diözische *Vaucheria compacta* mit den beiden Varietäten *compacta* (Antheridien mit 0-3 seitlichen Poren) und *dulcis* (Antheridien mit 2-5 seitlichen Poren), die in der oligo- bis mesohalinen bzw. in der limnischen Zone große, das Sediment stabilisierende Bestände mit hohen flächenbezogenen Biomassen bilden können. Die *Vaucheria*-Rasen liegen meist über Sand, seltener über Schlack und bedecken teppichartig größere Flächen vor dem Röhricht (Abb.7). Sie sind potente Sandfänger. Bei Sturmfluten werden die Algenüberzüge wie Teppiche zusammengerollt (Abb.8) und entweder weggetragen oder durch Sediment überschichtet. *Vaucheria compacta* ist verschmutzungstolerant. Eine Sauerstoffnettoproduktion (Schulz-Steinert & Kies 1996) findet nur tagsüber und bei Ebbe und nur in den obersten 4 mm des *Vaucheria*-Rasens statt. Der Sauerstoff diffundiert allerdings bis in 8 mm Tiefe hinunter (Abb.9).

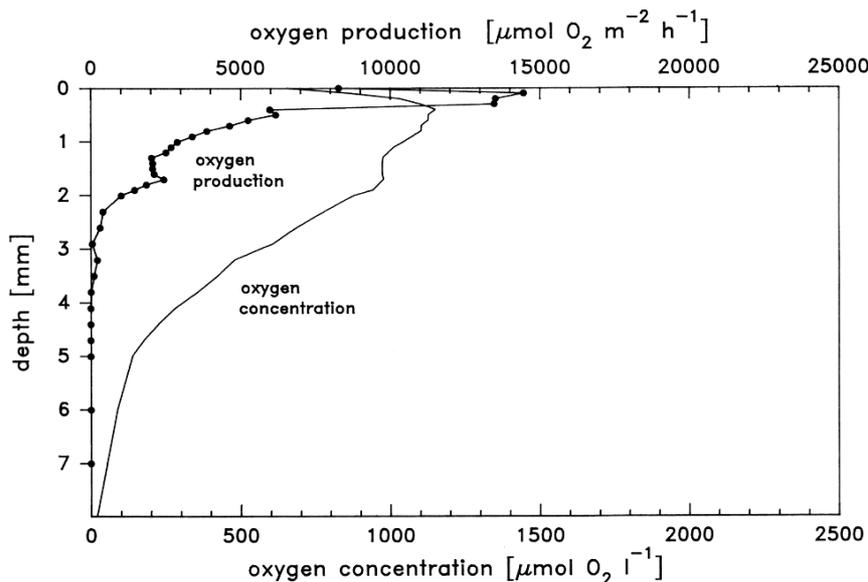


Abb 9: Tiefenprofile der Sauerstoffproduktion und Sauerstoffkonzentration in einem Rasen aus *Vaucheria compacta* var. *dulcis* unter Tageslicht und bei Niedrigwasser. Messung unter Verwendung von Sauerstoff-Mikroelektroden. Die Chlorophyll a-Konzentration des Rasens betrug $1097,2 \text{ mg/m}^2$, PAR war $1700 \mu\text{mol/m}^2 \text{ h}$. Quelle: Schulz-Steinert & Kies (1996).



Abb.10: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche eines schlickigen Sedimentes bei Niedrigwasser und im Tageslicht mit Belag epipelischer Algen (*Navicula pygmaea* und *Oscillatoria* sp.). Elbe bei Bielenberg. Quelle: Kies et al. 1992.

2.5.2. Mikrophytobenthos

Das Mikrophytobenthos der Tideelbe besteht überwiegend aus Kieselalgen. Die epipelisch, das heißt, auf Schlamm lebenden Arten gehören zumeist den eigenbeweglichen *Naviculaceae* (Abb.10) an. Stellenweise häufig ist auch die zu den *Bacillariaceae* zählende *Cylindrotheca signata*.

Die eigenbeweglichen Kieselalgen führen tideabhängige Vertikalbewegungen aus. Wenn das Niedrigwasser auf die belichtete Zeit des Tages fällt, kriechen sie aus dem Substrat heraus und sammeln sich zum Zwecke der Photosynthese an dessen Oberfläche an. Ehe die Flut kommt, kriechen sie wieder in das Substrat hinein, was ihnen einen gewissen Schutz vor der Verdriftung gewährt (Heckman 1985). Während der Flutphase sind die benthischen Mikroalgen der Gezeitenzone untergetaucht und ihre Nettphotosyntheserate ist dann gleich Null. Die unbeweglichen epipsammischen, durch Gallertpolster oder Gallertstiele auf Sandkörnchen festgeklebten Arten gehören überwiegend zu den kleinzelligen *Fragilariaceae* und *Achnantheaceae* (Abb. 11).



Abb.11: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche von Sandkörnern mit darauf festgeklebten epipsammischen Kieselalgen (*Opephora schulzii* und *O. olsenii*). Grobsand bei Bielenberg. Quelle: Projektstudium Mikrophytobenthos 1990.

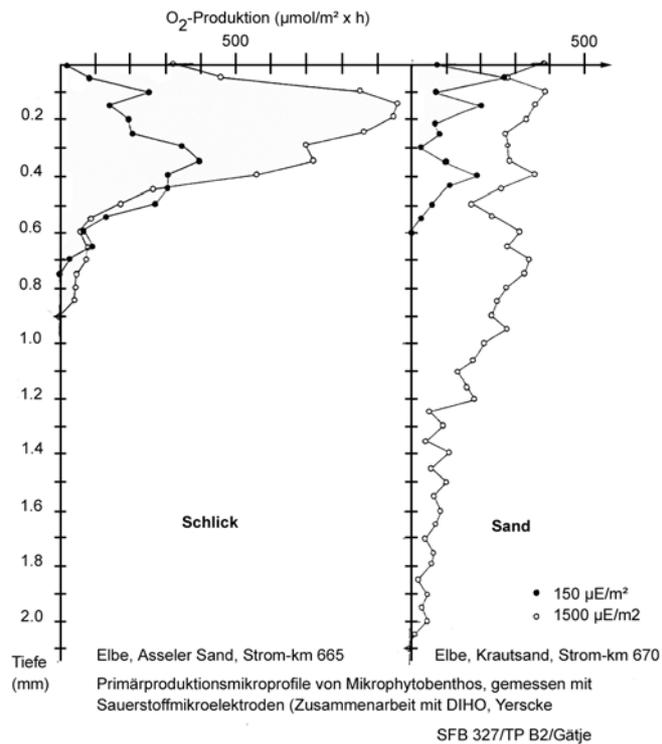


Abb.12: Profile der Sauerstoffproduktion als Maß für die Primärproduktion des Mikrophytobenthos im Schlick- und im Sandwatt bei zwei unterschiedlichen Photonfluensraten. Die Messungen erfolgten mit Sauerstoff-Mikroelektroden. Elbe bei Asseler Sand. Quelle: SFB327/TP B2/Gätje 1992.

Die Untergrenze der Sauerstoffnettoproduktion (Gätje 1992) liegt beim Schlickwatt in 0,5mm, beim Sandwatt in 2mm Sedimenttiefe. In dieser euphotischen Schicht kommt es zu Sauerstoffsättigungswerten bis 400% und pH-Werten bis 9,8. Als Folge der Diffusion des Sauerstoffs nach unten ist die oxische Schicht bei den Wattflächen je nach Sedimenttyp 1,1-5,5mm dick (Abb. 12). Darunter ist das Elbsediment anoxisch und durch Eisensulfid grau oder schwarz gefärbt. Die erwähnten Gradienten verändern sich im Tag-/Nacht-Gang und mit der Tidephase.

Bei einer Massenentwicklung überziehen die benthischen Kieselalgen das Substrat als braune Schicht. Benthische *Euglenales*, hier überwiegend *Euglena obtusa* und Cyanobakterien (überwiegend *Oscillatoria*-Arten wie *O. tenius*, *O. limosa* und *Spirulina*-Arten) treten in Artenzahl und Biomasse den Kieselalgen gegenüber deutlich zurück. Sie bilden grüne bzw. blaugrüne Beläge. Die Artenzusammensetzung und Biomasse ändert sich im Jahresgang (Gätje 1992), zusätzlich nimmt die Biomasse des Mikrophytobenthos entsprechend der kürzer werdenden Trockenfallzeit von der mittleren Hochwasserlinie bis zur mittleren Niedrigwasserlinie ab (Abb.13). Der Bewuchs der Wattsedimente mit epipelischen Mikroalgen trägt zu ihrer Stabilisierung und damit auch zur Verschlickung der Elbe bei (Humann 1996).

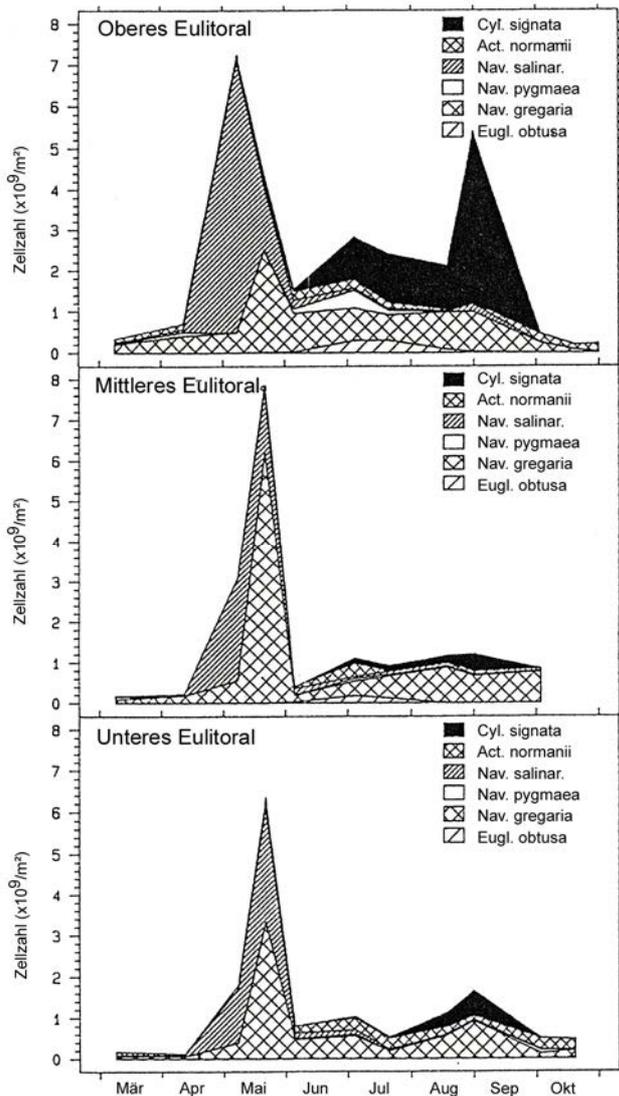


Abb.13: Jahresgang der 6 häufigsten Algenarten auf Sediment in der Gezeitenzone an der Station Asseler Sand im Jahre 1988. Kumulativ aufgetragene absolute Zellzahlen. Außer den eigenbeweglichen Kieselalgen *Cylindrotheca signata*, *Navicula salinarum*, *N. pygmaea* und *N. gregaria* sowie *Euglena obtusa* liegt auch die unbewegliche, schlecht schwebende zentrische Kieselalge *Actinocyclus normanii* bei Ebbe dem Sediment auf. Quelle: Gätje 1992

2.5.3. Phytoplankton

Das Phytoplankton der Tideelbe ist artenreich. Im Frühjahr dominieren zwischen Hamburg und Brunsbüttel die zentrischen Kieselalgen, im Sommer die coocalen Grünalgen. Im Spätsommer und Herbst kommen Blaualgen wie *Microcystis aeruginosa* und *Anabaena*-Arten in größeren Mengen hinzu. Für die meisten Phytoplankter, sowohl die limnischen, die mit dem Oberwasser in das Ästuar eingetragen werden, als die marinen, die mit der Flutwelle vom Meere her kommen, ist nach der Theorie die bei 5‰ Salinität liegende Salzschanke in lebendem Zustand unüberwindlich. In vielen Ästuaren (solchen mit klarem Wasser) findet sich tatsächlich hier eine ausgeprägte Absterbezone. Doch werden abgestorbene marine Plankter, wie z.B. die mit einer robusten Schale versehene *Biddulphia mobiliensis* und Arten der Gattungen *Chaetoceros* und *Odontella* in der Tideelbe auch stromaufwärts bis in die limnische Zone verfrachtet. Andererseits findet man die mit dem Oberwasser ankommenden Arten von Süßwassergattungen wie *Pediastrum* und *Scenedesmus* auch in der Brackwasserzone zwischen Glückstadt und der Kugelbake bei Cuxhaven. Es gibt aber in Ästuaren auch eine Reihe euryhaliner Arten. Hierzu zählt die zentrische Kieselalge *Thalassiosira pseudonana*. Wir haben sie in dem von Stosch-Medium von 34‰ Salinität angezogen und dann plötzlich in Salinitäten

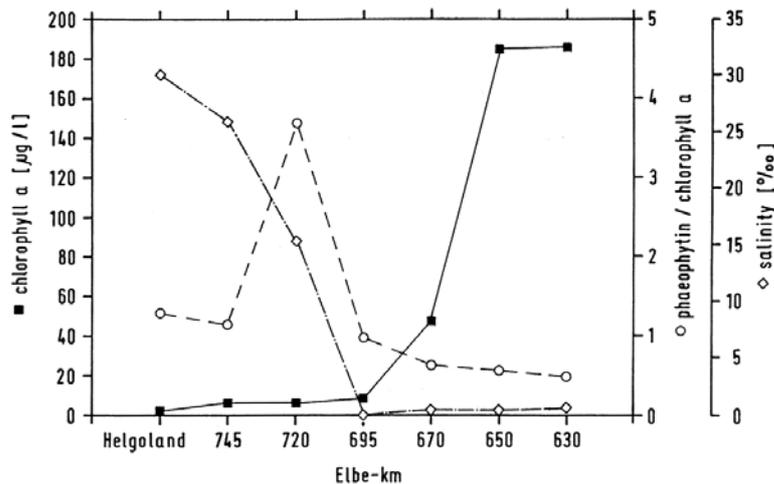


Abb.14: Chlorophyll a-Konzentration und Phaeophytin/Chlorophyll a-Quotient im Salzgradienten des Elbe-Ästuars zwischen Hamburg und Helgoland. (September 1987). Quelle: Kies et al. (1992).

zwischen etwa 0 und 34‰ S übertragen. Es zeigt sich, daß die Alge nach einer Schockphase von wenigen Tagen ihr volles Wachstum wieder aufnimmt.

Die Suche nach der Absterbezone für planktische Organismen in der Tideelbe zeigte ein überraschendes Ergebnis (Abb. 14). Entgegen unserer Erwartung nimmt der Chlorophyll a-Gehalt des Wassers nicht erst bei einer Salinität von 5‰ ab, die etwa bei Strom-km 700 (Brunsbüttel, vgl. Fast 1993) zu finden ist, sondern schon unmittelbar unterhalb Hamburgs zwischen Strom-km 630 (Teufelsbrück) und 670 (bei Glückstadt) (Kies et al. 1992). Wie ist das zu verstehen? Ursachen hierfür sind Lichtmangel und Grazing durch den Copepoden *Eurytemora affinis* (vgl. Kausch & Peitsch 1992, Köpcke 2002), die die Algenbiomasse und -produktion schon bei Wedel limitieren. Der Phaeophytin-Peak bei Strom-km 710-720 geht dagegen unserer Meinung nach nicht auf das Absterben von Phytoplanktern in diesem Bereich zurück, sondern auf die hydrodynamisch bedingte Anreicherung von Algendetritus und phaeophytinreichen, resuspendierten Sedimenten.

2.5.4. Aggregate

Das Schicksal des Phytoplanktons in der Tideelbe wird verständlicher, wenn man sein Sinkverhalten im Gezeitenwechsel einbezieht. Die planktischen Algen unterhalb Hamburgs schweben mehrheitlich nicht einzeln im Wasser, wie das am ehesten in Seen, aber auch in der Elbe oberhalb des Wehres Geesthacht der Fall ist, sondern sie sind zum großen Teil eingeschlossen in Aggregaten, die auch als Flocken bezeichnet werden (Abb. 15). In ihrer Gesamtheit werden sie als Schwebstoffe, Trübstoffe oder „suspended particulate matter“ bezeichnet. Aggregate zeigen eine höhere Sinkgeschwindigkeit als einzelne planktische Algen (Wolfstein 1996, Wolfstein & Kies 1999). Sie durchlaufen deshalb immer wieder Zyklen von Sedimentation während der Stauwasserphase und Resuspension während der Zeiten des Flut- und Ebbstromes und bei Sturmereignissen. Die eingeschlossenen Algen werden schließlich Teil der Detrituskette. Aggregate sind komplizierte Gebilde. Man kann sie als flottierende Biofilme ansehen, bestehend aus den Kapselsubstanzen (Exopolymeren), der sie aufbauenden Bakterien und Algen, die wie ein Kleber wirken, abiogenen Mineralpartikeln und biogenem Opal, d.h. den Trümmern der Schalen abgestorbener Kieselalgen (Abb.16). Sedimentologen und Mineralogen tendieren dazu, die biologischen Komponenten der Schwebstoffe zu vernachlässigen, obwohl diese für das Transportverhalten wichtig sind.

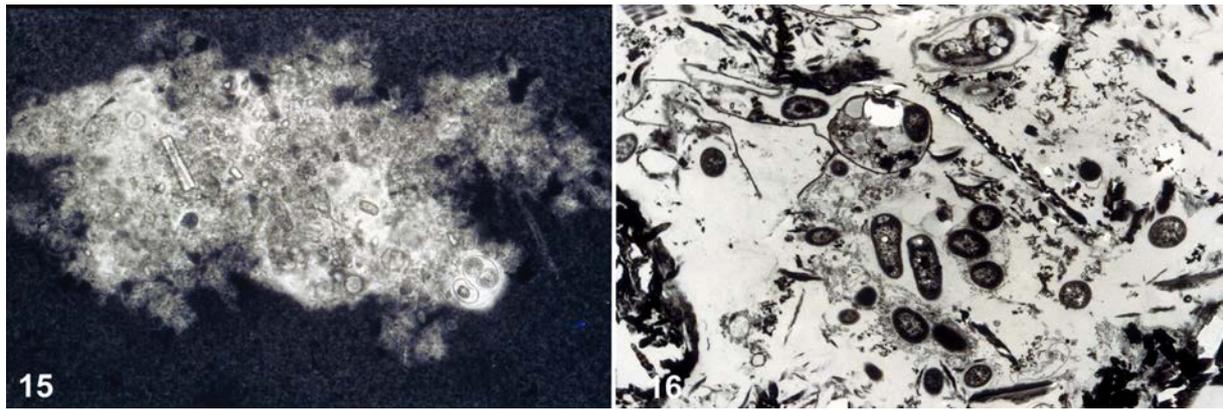


Abb.15: Flocke von Teufelsbrück, negativ kontrastiert mit Burri-Tusche. Die Flocke enthält in Schleim eingebettete Bakterien, Algen und Detritusteilchen. Foto: L. Kies 1992. Abb.16: TEM-Photo, Schnitt durch eine eingebettete Flocke von Teufelsbrück mit Bakterien und biogenem Opal. Foto: L. Kies 1991.

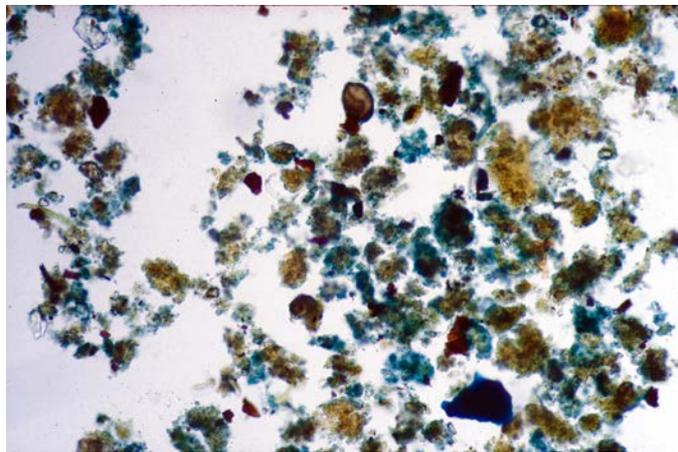


Abb.17: Flocken der Tideelbe bei Twielenfleth. Exopolymere, die Sulfatgruppen besitzen, färben sich mit Alcian Blue bei pH 0,5 blau, Exopolymere, die Carboxylgruppen besitzen, färben sich mit Alcian Yellow bei pH 2,5 gelb. Foto: L. Kies 1988

Mit Hilfe cytologischer Färbemethoden kann man die Exopolymere charakterisieren (Abb.17), wenn auch nicht quantifizieren. Es handelt sich meist um saure Polysaccharide, die aufgrund ihrer negativen Ladung im Wasser gelöste Kationen wie Zn, Cu, Pb, Cd binden können, zum Teil sind die Polysaccharide sulfatisiert. Letztere stammen von Kieselalgen wie der häufigen *Actinocyclus normanii* (Abb.18). Die Zusammensetzung und Sinkgeschwindigkeit der Aggregate in der Tideelbe sind von Wolfstein (1996) genauer untersucht worden.

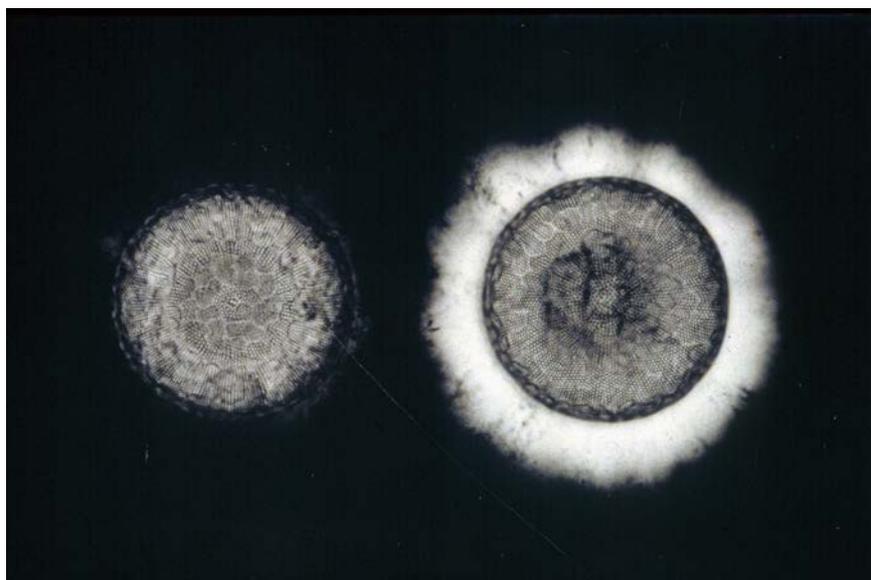


Abb.18: *Coscinodiscus normanii*, eine der beiden Zellen mit Schleimkapsel. Elbe bei Teufelsbrück. Der Schleim tritt durch die randlich angeordneten Lippenfortsätze aus und erscheint deshalb portioniert. Foto: L. Kies 1993.



Abb. 19: Arbeit mit dem Owen-Rohr auf der Valdivia (Kirsten Wolfstein und Regina Liebram). Foto: SFB 327 1992/94.

Die Proben wurden von dem Forschungsschiff Valdivia oder von dem Meßponton des SFB 327 aus mit Hilfe eines Vertikalwasserschöpfers gewonnen (Abb. 19), der anschließend als Sedimentationsrohr diente (sogenanntes Owen-Rohr). Die Schwebstoffe wurden aufgrund ihres unterschiedlichen Sinkverhaltens fraktioniert und die einzelnen Fraktionen charakterisiert. Es stellte sich heraus, daß im Gegensatz zur schnell sinkenden Fraktion, die aus Aggregaten besteht, die langsam sinkende Fraktion überwiegend Algen enthält, die nicht in Aggregate eingebunden sind. Die Aggregate enthalten aus Gründen, die wir nicht kennen, mehr zentrische Kieselalgen und weniger coccale Grünalgen als die langsam sinkende Fraktion.

2.5.5. Schwebstoffe und der Sauerstoffhaushalt der Tidelbe.

Die in Hafenbecken, Flachwasserzonen und im Bereich der Trübungswolke suspendierten und mit den Gezeiten hin und her schwappenden Schwebstoffe mit hohem Organikanteil sind für den Sauerstoffhaushalt der Tidelbe von erheblicher Bedeutung. In früheren Jahren wurde das sogenannte Sauerstoffloch im Sommer unterhalb des Hamburger Hafens mit Sauerstoffkonzentrationen unter $3\text{mg O}_2/\text{l}$ (Abb.20), das zum Fischsterben führen kann und zum Teil auch führte, auf die Tätigkeit nitrifizierender Bakterien zurückgeführt. Bei geringer gewordenen Ammoniumwerten des Elbwassers nach der „Wende“ nimmt die ARGE Elbe jetzt an (ARGE

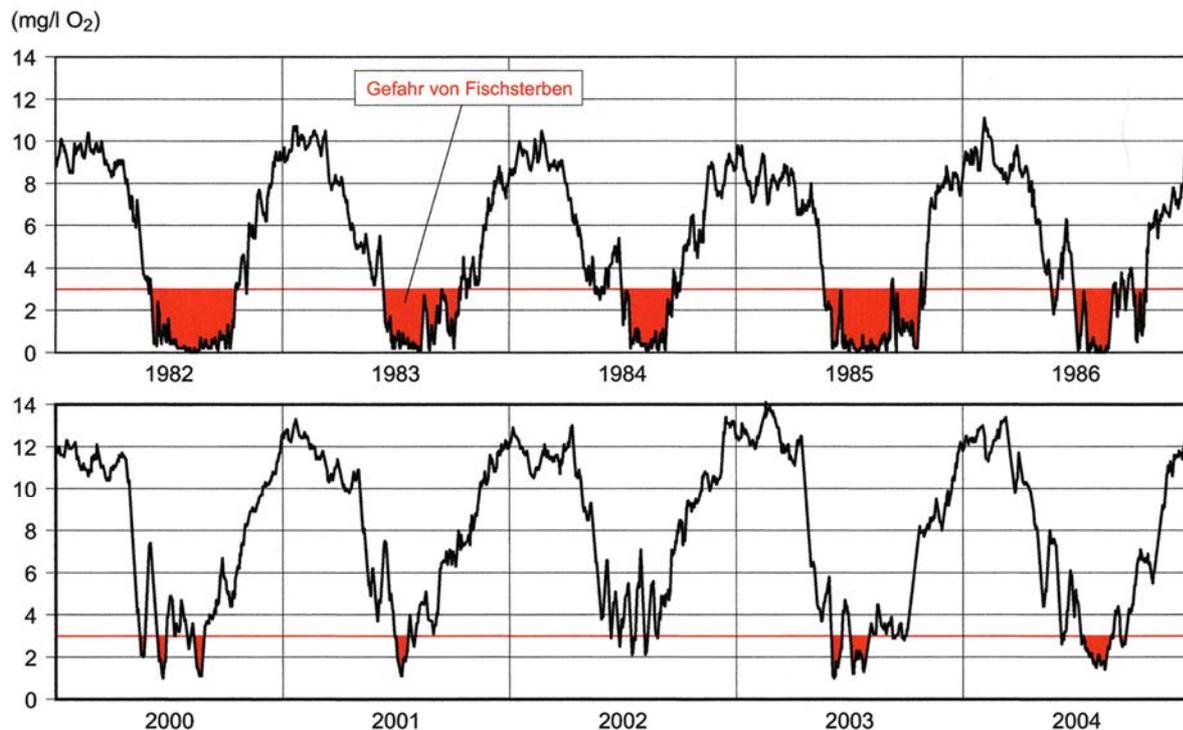


Abb.20: Sommerliche Sauerstofftäler von 1982 bis 2004 in der Elbe bei Hamburg-Seemannshöft. Quelle: ARGE Elbe (2004).

Elbe 2004), daß das Sauerstoffdefizit im wesentlichen durch die Tätigkeit heterotropher Bakterien verursacht wird, die das organische Material (POC und DOC) oxidieren. Zwischen den Jahren 2000 und 2003 war das Sauerstoffloch deutlich geringer ausgeprägt als in den Jahren zuvor, ist aber seit 2004 wieder verstärkt aufgetreten mit der Folge eines Fischsterbens, das auch in dem sehr heißen Sommer 2006 drohte. Am 11. August 2006 betrug die Wassertemperatur des Elbwassers bei Seemannshöft $27,1^{\circ}\text{C}$ und der Sauerstoffgehalt nur $2,9\text{mg O}_2/\text{l}$. Hieraus errechnet sich eine Sättigung von nur 37% und ein Sauerstoffdefizit von $4,95\text{mg O}_2/\text{l}$. Ursache für die neuerlichen starken Sauerstoffdefizite sieht die ARGE Elbe im Rückgang der Einleitung toxischer, die Photosynthese hemmender Substanzen aus der chemischen Industrie im Einzugsgebiet der Elbe bei immer noch hohen Stickstoff- und Phosphatfrachten. Das führte auch in diesem Jahr wieder in der Mittel-Elbe zu hohen Algenbiomassen, die unterhalb Hamburgs dann abstarben. Dieser Vorgang wird als Sekundärverschmutzung (ARGE Elbe 2004a) bezeichnet. Die Sauerstoffzehrung wird verstärkt durch die Unterhaltsbaggerungen in der Tideelbe, die Aufwirbelung von Sedimenten durch den Schiffsverkehr und das sogenannte Schlickeggen, d.h. das gezielte Aufwirbeln der Sedimente bei Ebbe, um sie mit dem Ebbstrom in die Nordsee los zu werden.

2.6. Güte-Einstufung der Tideelbe in der Gegenwart

Hierfür gibt es bisher nur unzureichende Kriterien. Hinsichtlich der Nährstoffgehalte 2004 wird der Fluß von der ARGE Elbe wie folgt eingestuft (ARGE Elbe 2006a):

Ammonium: II-III (= kritisch belastet) bis III (=stark verschmutzt)

Nitrat: III (=stark verschmutzt)

o-Phosphat: II-III (=kritisch belastet) bis III (=stark verschmutzt)

Gutowski et al. (2005) kommen bei drei Probenahmestellen im limnischen Bereich: zu folgender Einstufung:

Typ 20 (sandgeprägte Ströme des Tieflandes)

Zollenspieker: ökologische Zustandsklasse 3 (mäßig)

Mühlenberger Loch: ökologische Zustandsklasse 5 (schlecht) und allein unter Bezug auf Diatomeen als Indikatorarten ökologische Zustandsklasse 4 (unbefriedigend)

Typ 22.3 (Ströme der Marschen)

Fährmannsander Watt: ökologische Zustandsklasse 4 (unbefriedigend)

Es bleibt also noch viel zu tun, bis die Tideelbe den laut WRRL notwendigen „guten ökologischen Zustand“ erreicht hat.

2.7. Wie sah der natürliche Zustand der Tideelbe aus?

In der Nacheiszeit sammelte die Tideelbe zunächst die Schmelzwässer, die von den weichselzeitlichen Moränen beiderseits des Urstromtales herabflossen und transportierte sie in die Nordsee. Die Verwilderung der Elbe bei Hamburg ist Folge einer erhöhten Sedimentation infolge des Aufeinandertreffens von Oberwasser und des von unten kommenden Flutstromes. Beim Kentern der Tidephase sedimentierte das mitgebrachte Material, insbesondere Schotter, Kiese, Sande und anorganische Feinsedimente (Klei). Feinmaterial organischer Provenienz war weniger vorhanden als heute. Durch die Sedimentation entstand hier ein Binnendelta, dessen Morphologie sich immer wieder wandelte. Auch weiter stromabwärts veränderte der Strom immer wieder seinen Lauf. Es entstanden und vergingen Sände, Inseln und Nebenelben. Seit etwa dem Jahre 1000 haben die Bewohner der Elbregion Deiche gebaut, seit dem 12. Jahrhundert besteht eine durchgehende Deichlinie an beiden Ufern der Elbe. Das dahinter liegende geschützte Land wurde entwässert und unter den Pflug genommen. Dadurch kam es zu Setzungen des Bodens, wodurch die Entwässerung immer schwieriger wurde (Paluska 1992). Die Deiche, immer wieder bei Fluten durchbrochen, wodurch Kolke (oder Bracks) entstanden, wurden danach neu und besser wieder hergestellt. Dabei veränderte sich zunächst schleichend, dann mit Beginn der Industrialisierung durch rigorose Eindeichungs- und Vordeichungsmaßnahmen und die Einleitung großer ungeklärter Abwässermengen der stark angewachsenen Stadt Hamburg rasch der ökologische Zustand der Region. (ARGE Elbe 1984).

Wenn ich hier vom natürlichen Zustand spreche, meine ich den Zustand der Elblandschaft vor der Industrialisierung um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Da es keine brauchbaren Daten über die Algenvegetation Hamburgs vor der Industrialisierung gibt, muß man zur Beurteilung der damaligen Algenvegetation und ihrer Gewässer auf alte Aufzeichnungen über Stromregulierungen, Fischbestände und historische Karten ausweichen und von diesen aus auf die Algenvegetation zurückschließen. Die folgende historische Karte von 1790 (Abb. 21) zeigt den Zustand von Marsch und Geest nach der Verkoppelung, d.h. der Zusammenlegung von landwirtschaftlichen Flächen zu größeren Parzellen zum Zwecke der Ertragssteigerung, die im damals dänischen Schleswig-Holstein seit 1776 stattfand und vor der Industrialisierung. Beschränken wir uns auf das Urstromtal. Die Elbe ist als stark verzweigtes Gewässer erkennbar. Sie teilt sich oberhalb Hamburgs in Norderelbe und Süderelbe, die sich unterhalb Hamburgs wieder vereinigen. Hinzu kommen mehrere Nebenelben wie Dove Elbe, Gose Elbe, Köhlbrand, Alte Süderelbe. Dazwischen liegen zahlreiche Inseln und Sände, meist als Werder bezeichnet. Die größeren von ihnen wie Billwerder, Ochsenwerder, Altenwerder, Wilhelmsburg und Neuhof sind jeweils von einem Ringdeich umgeben. Sie werden entwässert durch Gräben (Sielgräben sowie Beetgräben), die wiederum in größere Hauptsammelgräben, die Wetteren münden. Von dort wird das Wasser zu den Sielen, d.h. den Deichschleusen geleitet und kann bei Niedrigwasser in die Elbe gelangen. Auch die Flutung der Wetteren mit Elbwasser ist bei Bedarf möglich. Durch Sackungen des Bodens wird diese Entwässerung immer schwieriger. Die Gräben und Wetteren sind wertvolle, eutrophe Biotope, auch für Algen (vgl. Heckman 1981).



Abb.21: Vahrendorf'sche Karte der Elbe bei Hamburg von 1790 mit Nebelnelben, Werdern und kleinen Inseln.
Quelle: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg.

2.8. Was war im Referenzzustand im Detail anders als heute?

1. Die Wassertiefe der Tideelbe war sicherlich geringer als heute. Sie lag nach Abschätzungen der ARGE Elbe zwischen 2 und 5 Metern. Das läßt sich auch aus der Tatsache erkennen, daß noch im 19. Jahrhundert ankommende Schiffe wegen der geringen Fahrwassertiefe der Elbe bei Blankenese geleichtert mußten, um in den Hamburger Hafen zu gelangen.
2. Die Sichttiefe im Referenzzustand wird mit kleiner als 1 Meter angenommen.
3. Der Quotient aus Sichttiefe und Gesamttiefe war für die planktischen und benthischen Algen jedenfalls viel günstiger als heute und erlaubte zumindestens in den ausgedehnten Flachwasserzonen eine positive Nettophotosynthese bis zum Gewässergrund (die Kompensationsebene = Untergrenze der euphotischen Zone entspricht nach Sommer [1994] etwa dem Dreifachen der Sichttiefe, vgl. auch Grobbelar 1985 zitiert nach Fast 1993).
4. Der Tidenhub lag im Referenzzustand nach den Abschätzungen der ARGE Elbe unter 2 Meter.
5. Die Nährstoffkonzentrationen dürften geringer gewesen sein als heute. Folgende Konzentrationen von Nährstoffen werden für den Referenzzustand angenommen (ARGE Elbe, Steckbrief 20 [Subtyp Tideelbe] Entwurf, 2006a):
 - Ammonium < 0,1mg/l N,
 - Nitratwerte < 1mg/l N,
 - Gesamt-N < 2mg/l N (im Jahre 2000 bei Strom-km 600: 3,2mg/l N)
 - Orthophosphat < 0,01mg/l P
 - Gesamtphosphat-Werte < 0,05mg/l P (im Jahre 2000 bei Strom-km 600: 0,29mg/l P)
6. Trophie und Saprobie waren im Referenzzustand deutlich geringer als heute.

Zusammenfassend ist anzunehmen, daß die Tideelbe im Referenzzustand ein hydrologisch und biologisch hochdynamisches, stark verästeltes, relativ flaches Gewässer war, gesäumt von ausgedehnten Röhrichtbeständen in der limnischen Zone und von Auenwäldern.

7. Die Vielfalt an Algenbiotopen und damit wahrscheinlich auch die Anzahl der vorhandenen Taxa waren wohl damals höher als in der Gegenwart, wobei das Mikrophytobenthos einen deutlich größeren Anteil an der Gesamtbiomasse und Gesamtproduktion der Algen gehabt haben dürfte. Ausgeprägte Sauerstofflöcher wie in der Gegenwart dürfte es im Referenzstadium nicht gegeben haben.

8. Die Zusammensetzung der Algenvegetation nach Klassen war, so muß man annehmen, so wie heute: Kieselalgen dominierten, gefolgt von den Grünalgen.

9. Das Röhricht wurde wahrscheinlich ebenso wie heute von unten nach oben dominiert von *Schoenoplectus tabernaemontani* (= Salz-Teichsimse), *Bolboschoenus maritimus* (= Gewöhnliche Strandsimse) und *Phragmites australis* (= Gewöhnliches Schilf).

2.9. Wie wird die Tideelbe in Zukunft aussehen?

Die Beantwortung dieser Frage hängt davon ab, ob die geplante weitere Vertiefung der Fahrrinne und die damit zusammenhängenden Maßnahmen tatsächlich ausgeführt werden oder nicht und ob es im Falle der Fahrrinnenvertiefung umfangreiche Ausgleichsmaßnahmen geben wird oder nicht. Hierüber tobt gegenwärtig ein heftiger Streit zwischen der Politik und Wirtschaft einerseits und Naturschützern, Ökologen, Elbfischern und Bauern andererseits. Es rentiert sich hierzu einen Blick in das Internet zu werfen. Die Angelegenheit wird dadurch kompliziert, daß gleichzeitig Forderungen der EU auf dem Tisch liegen, das ökologische Potential der Elbe zu verbessern. Zu beachten ist auch die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie - (FHH) der EU. Fast die gesamte Aue der Tideelbe ist, nachdem die Richtlinie verabschiedet war, dem Naturschutznetzwerk Natura 2000 zugeschlagen worden, was bei einem Ausbau der Wasserstraße Tideelbe zu berücksichtigen ist. Des weiteren wird die Einhaltung von Landschafts- und Naturschutzgesetzen von der Öffentlichkeit gefordert. Die Verwirklichung der Absicht von Bund und angrenzenden Bundesländern, die Fahrrinne der Tideelbe auf -16,5m KN zu vertiefen, um den gestiegenen Anforderungen der Containerschifffahrt hinsichtlich des Tiefganges der Schiffe gerecht zu werden und um gegenüber dem Hafen Rotterdam konkurrenzfähig zu bleiben, dürfte für eine verstärkte Erosion der Ufer sorgen, die Gefahr von Sturmfluten erhöhen und zu noch stärkeren Sauerstoffdefiziten im Sommer führen als bisher. Die folgende Folie der Wassergütestelle Elbe zeigt ein Profil durch die Tideelbe zur Zeit eines Sauerstoffloches und den Einfluß verschiedener bereits durchgeführter oder geplanter Maßnahmen auf den Sauerstoffhaushalt der Tideelbe (Abb. 22). Diese Auflistung halte ich für unvollständig.

Positiv auf den Sauerstoffhaushalt und auf eine Verringerung des sommerlichen Sauerstoffdefizites wirkten sich aus (grüne Pfeile nach oben)

1. der Ausbau des Hamburger Klärwerkes (Nummer 1)
2. die Verringerung der Vorbelastung aus der ehemaligen DDR zu Beginn der 1990er Jahre (Nummer 4)

Negativ wirkten sich aus (rote Pfeile nach unten):

1. die Abdämmung der Haseldorfer Binnenelbe (Nummer 2)
2. die Fahrrinnenanpassung von -13,5 auf -15,5m KN (Nummer 6)
3. die teilweise Zuschüttung des Mühlenberger Loches (Nummer 7)
4. die teilweise oder vollständige Zuschüttung von Hafenbecken (Nummer 3)
5. der Anstieg der Sekundärverschmutzung seit den 1990er Jahren (Nummer 5)

In dieser rückwärtsgerichteten Aufstellung sind die Algen nur einmal erwähnt und zwar im negativen Zusammenhang, nämlich mit der Sekundärverschmutzung.

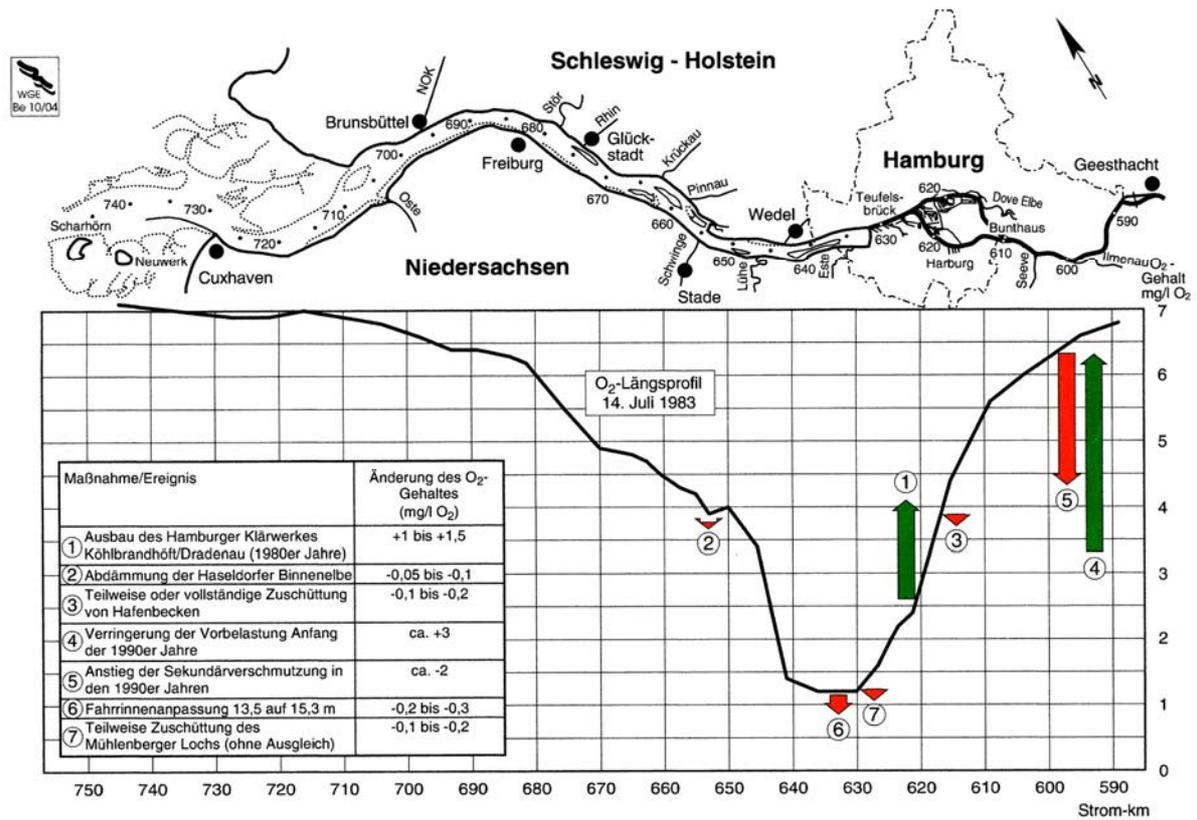


Abb.22: Abschätzung des Einflusses verschiedener Maßnahmen auf den Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. Quelle: ARGE Elbe (2004).

In einer gemeinsamen Studie vom Juni 2006 haben die Hamburg Port Authority (wie sich die Hafenverwaltung in Hamburg jetzt nennt) und die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, ein Strategiepapier für die Entwicklung der Tideelbe vorgelegt, von dem die Autoren glauben, daß bei dessen Umsetzung alle anstehenden Probleme langfristig in den Griff zu bekommen sind. Das Stichwort der Studie lautet: ganzheitliche Entwicklung der Tideelbe:

1. Der Mündungstrichter soll unterhalb Brunsbüttel durch geeignete Maßnahmen eingengt werden, um die von der See einkommende Tideenergie zu dämpfen und damit den Eintrag von Sedimenten sowie die Ufererosion zu verringern.
2. Das gegenwärtige Management der gebaggerten Sedimente muß gründlich neu durchdacht werden. Eine Umlagerung nur innerhalb des Hamburger Hafens oder das Schlickeggen wie bisher, ist keine dauerhafte sinnvolle Lösung. Die nachhaltige Verbringung in die Nordsee ist vielleicht eine bessere Möglichkeit.
3. Zwischen Glückstadt und Geesthacht soll neuer Flutraum für das Wasser der Elbe geschaffen werden, um den Tidenhub und gleichzeitig den Sedimenttransport mit dem Flutstrom zu dämpfen. Aufsedimentierte Hafenecken, Watt- und Vorlandflächen sollen zu Flachwassergebieten umgewandelt werden und abgedeichte Nebenelben wieder an den Hauptfluß angeschlossen werden. Die geplante Aufweitung des Flutraumes käme auch dem Hochwasserschutz zugute.

Ich persönlich gehe davon aus, daß aus wirtschaftlichen Gründen eine Vertiefung der Fahrrinne auf jeden Fall kommen wird, denn der Reichtum Hamburgs und seines Umlandes hängt mit sehr vielen Arbeitsplätzen an der Erreichbarkeit des Hafens auch für sehr große Containerschiffe. Dies umso mehr, als sich Hamburg nicht an der Planung eines Tiefwasserhafens in Wilhelmshaven beteiligt.

2.10. Wird die geplante Vertiefung der Fahrrinne und werden begleitende Maßnahmen die Algenvegetation positiv verändern und zu einer Verbesserung des „ökologischen Potentials“ der Tidelbe führen?

Ich möchte zunächst klarstellen, daß die Algenvegetation, entgegen ihrer realen Bedeutung, in der öffentlichen Diskussion um die Vertiefung der Tidelbe nur eine untergeordnete Rolle spielt. Trotzdem steht meine Frage, wie sich die Algenvegetation bei Verwirklichung der Ausbaupläne verhalten würde, weiterhin im Raume.

In einer vertieften Fahrrinne wird das Plankton noch schlechtere Lebensbedingungen finden als bisher und in Zukunft dürften weiterhin sommerliche, möglicherweise sogar tiefere Sauerstofflöcher auftreten (Kausch 1996, Hillmer 2005), selbst wenn es gelänge, das Lichtklima in der Tidelbe merklich zu verbessern und gleichzeitig den Gehalt des Wassers an Nährstoffen zu verringern. Es wird meines Erachtens kaum gelingen, die euphotische Tiefe der Tidelbe so weit zu vergrößern, daß künftig keine Sauerstofflöcher mehr auftreten. Eine Daumenregel (Grobelaar 1985 zitiert nach Fast 1993) besagt, daß der Quotient aus euphotischer Tiefe (gleich dreifache Sichttiefe, gleich Tiefe mit 1% des Oberflächenlichtes) und Gesamttiefe für eine positive Nettophotosynthese in der Wassersäule größer als 0,2 sein muß. Für eine 16,5m tiefe Fahrrinne der Tidelbe müßte die euphotische Tiefe dann etwa 3,3m betragen bei gegenwärtig nur 30-50cm Sichttiefe und hieraus abgeleitet nur 0,90-1,50m euphotische Tiefe. Ob gleichzeitig auch eine weitergehende Reduzierung der eingeleiteten Nährstoffe in die Elbe möglich wäre, ist angesichts der noch reichlich vorhandenen Depots in Sedimenten und angrenzenden terrestrischen Flächen zweifelhaft. Für das Phytoplankton sehe ich deshalb keine Chance, zu der von der EU geforderten Verbesserung des „ökologischen Potentials“ beizutragen.

Etwas günstiger sieht es für die benthischen Algen aus. Zwar halte ich eine wirklich großzügige Schaffung neuer Fluträume zwischen Glückstadt und Geesthacht für politisch nicht durchsetzbar. Es dürfte bei Alibiaktionen bleiben. Trotzdem ist der Ansatz, neuen Flutraum zu schaffen, im Hinblick auf die Algenvegetation positiv zu bewerten. Die Schaffung neuer Flachwasserbereiche und die Öffnung abgedämmter Nebelbecken würden für benthische Algen auf jeden Fall neue Biotope ergeben, die in Form einer Sukzession besiedelt werden könnten. Das könnte in diesen flachen Randbereichen zu einer ökologisch diverseren benthischen Algenflora führen, als sie es bisher ist und eine begrenzte Verbesserung des „ökologischen Potentials“ nach sich ziehen.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

2.11. Danksagung

Ich danke der Wassergütestelle Elbe (Herrn Dipl.-Biol. T. Gaumert) für die Überlassung der Abbildungen 1, 20 und 22 und Herrn Dr. Burkhard Becker für die Formatierung des Manuskripts.

3. Ausgewählte Literatur:

Vorbemerkung: Da der vorliegenden Ausarbeitung ein mündlicher Vortrag zugrunde liegt, und keine Publikation im strengen Sinne beabsichtigt ist, gibt es weder ein Kapitel Material und Methoden, noch eine Zusammenfassung, noch eine ausführliche Literaturliste. Es sind nur ausgewählte Publikationen aufgeführt.

Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) (1984): Gewässerökologische Studie der Elbe von Schnackenburg bis zur See.

Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) (2004): Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Texte/O2HaushTide.pdf>

Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) (2004a): Gewässergütebericht der Elbe. <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Bericht/04Guetebericht.pdf>

Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) (2006): EG-Wasserrahmenrichtlinie. Konzept zur Überwachung des Zustandes der Gewässer. Bearbeitungsgebiet Tideelbstrom (C-Ebene). Entwurf.
http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Berichte/Konz_Moni_TELStrom.pdf

Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) (2006a): EG-Wasserrahmenrichtlinie. Konzept zur Überwachung des Zustandes der Gewässer. Bearbeitungsgebiet Tideelbstrom (C-Ebene). Steckbrief Typ 20 (Subtyp Tideelbe): Sandgeprägter, tidebeeinflusster Strom des Tieflandes. Entwurf.
<http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Berichte/SteckbrTyp20Entw.pdf>

Fast, T. (1993): Zur Dynamik von Biomasse und Primärproduktion des Phytoplanktons im Elbe-Ästuar. - Dissertation Fachbereich Biologie Univ. Hamburg.

Gätje, C. (1992): Artenzusammensetzung, Biomasse und Primärproduktion des Mikrophytobenthos des Elbe-Ästuars. - Dissertation Fachbereich Biologie Univ. Hamburg.

Geißler, U. & Kies L. (2003): Artendiversität und Veränderungen in der Algenflora zweier städtischer Ballungsgebiete Deutschlands: Berlin und Hamburg. - Nova Hedwigia, Beiheft **126**, 777pp. (mit Zitaten weiterer Dissertationen, Diplomarbeiten und Staatsexamensarbeiten aus Hamburg zum Thema Elbe, die im Text, aber nicht in der Literaturliste erwähnt sind).

Gutowski, A., Foerster J. & Hofmann G. (2005): Untersuchungen der benthischen Mikro- und Makroalgen in der Tide-Elbe auf Eignung zur Beurteilung des Gewässers gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie. Auftraggeber ARGE Elbe, Wassergütestelle Elbe.
http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Berichte/Phytoplankton_TEL.pdf

Hamburg Port Authority und Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2006): Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg. [fhh.hamburg.de/stad/Aktuell/behoerden/wirtschaft-arbeit/broschueren/konzept-tideelbe-pdf, property= source.pdf](http://fhh.hamburg.de/stad/Aktuell/behoerden/wirtschaft-arbeit/broschueren/konzept-tideelbe-pdf,property=source.pdf).

Heckman, C.W. (1981): Ecology of orchard draining ditches along the freshwater section of the Elbe Estuary. - Arch. Hydrobiol./Suppl. **43** (Untersuch. Elbe-Aestuar): 347-486.

Heckman, C.W. (1985): The development of vertical migration patterns in the sediments of estuaries as a strategy for algae to resist drift with tidal currents – Int. Revue ges. Hydrobiol. **70**: 151-164.

Hillmer, A.(2005): Welche Tiefe ist verträglich?
<http://www.abendblatt.de/daten/2005/03/17/4111058>

Humann, K. (1996): Der Einfluß des Mikrophytobenthos auf die Sedimentstabilität und die Schwebstoffbildung aus Sedimenten im Elbe-Ästuar. - Dissertation Fachbereich Biologie Univ. Hamburg.

Kausch, H. (1996): Fahrwasservertiefungen ohne Grenzen? – In: Lozán, J.L. & Kausch, H.: Warnsignale aus Flüssen und Ästuare. - Parey Buchverlag Berlin: 162-168.

Kausch, H. & Peitsch, A. (1992): Das Zooplankton und seine Verteilung im Elbe-Ästuar. - In: Kausch, H. (Hrsg.): Die Unterelbe. Natürlicher Zustand und Veränderungen durch den Menschen - ZMK Hamburg, Bericht Nr. **19**:169-189.

Kies, L., Neugebohrn, L., Braker, H., Fast, T., Gätje, C. und Seelig, A. (1992): Primärproduzenten und Primärproduktion im Elbe-Ästuar: (1992). – In: Kausch, H. (Hrsg.): Die Unterelbe. Natürlicher Zustand und Veränderungen durch den Menschen - ZMK Hamburg, Bericht Nr. **19**:137-168.

Knauth, H.-D. & Schröder, F. (1992): Nährstoffbelastung und Stoffkreisläufe in der Tide-Elbe. – In: Kausch, H. (Hrsg.): Die Unterelbe. Natürlicher Zustand und Veränderungen durch den Menschen - ZMK Hamburg, Bericht Nr. **19**:73-101.

Köpcke, B. (2002): Die Bedeutung der Nebelelben und Flachwasserbereiche für den Populationserhalt von *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880) (Copepoda; Crustacea) in der Tide-Elbe. – Dissertation Fachbereich Biologie Univ. Hamburg.

Krieg, H.T., Eller, T. & Kies, L. (1988): Verbreitung und Ökologie der *Vaucheria*-Arten (Triphophyceae) des Elbe-Ästuars und der angrenzenden Küste. - Helgoländer Meeresuntersuch. **42**: 613-636.

Paluska, A. (1992): Geographie und geologische Vorgeschichte der norddeutschen Ästuare, erläutert am Beispiel der Elbe. - In: Kausch, H. (Hrsg.): Die Unterelbe. Natürlicher Zustand und Veränderungen durch den Menschen - ZMK Hamburg, Bericht Nr. **19**:1-32.

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1.

Riedel-Lorjé, J.C., Agatha, S., Holst, H., Köpcke, B., Krieg, H. J. & Zimmermann, H. (1998): Kleinlebewesen in der Tide-Elbe. Eine Literaturstudie über Benthos, Aufwuchs, Aggregate und Plankton von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis in die Gegenwart. Berichte der ARGE-Elbe.

Schubert, R., Schellnhuber, H.J., Buchmann, N., Epiney, A., Griebhammer, R., Kulessa, M., Messner, D., Rahmstorf, S. und Schmidt, J. (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung. Globale Umweltveränderungen, Sondergutachten. http://wbgu.de/wbgu_sn2006.pdf

Schulz-Steinert, M.G. & Kies, L. (1996): Biomass and primary production of algal mats produced by *Vaucheria compacta* (Xanthophyceae) in the Elbe estuary (Germany). – Arch. Hydrobiol./Suppl. **116** (Untersuch. Elbe-Aestuar 7): 159-174.

Sommer, U. (1994): Planktologie.- Springer Verlag Berlin etc.

Sonderaufgabenbereich Tideelbe der ARGE Elbe der Länder Hamburg – Niedersachsen – Schleswig-Holstein mit Wassergütestelle Elbe (2004): Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Koordinierungsraum Tideelbe (Entwurf).
www.arge-elbe.de/wge/Download/Berichte/Tideelbe.pdf

Wolfstein, K. (1996): Untersuchungen zur Bedeutung des Phytoplanktons als Bestandteil der Schwebstoffe für das Ökosystem Tide-Elbe. - Dissertation Fachbereich Biologie Univ. Hamburg.

Wolfstein, K. & Kies, L. (1999): Composition of suspended particulate matter in the Elbe estuary: implications for biological and transportation processes. - Deutsche Hydrogr. Z. **51**: 453-463.