



VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER ÖKOLOGISCHEN SITUATION DER INNEREN ÄSTUARE VON EIDER, ELBE, WESER UND EMS: WAS HAT SICH NACH 20 JAHREN VERÄNDERT?

Bastian Schuchardt¹, Jörg Scholle¹, Sandra Schulze¹, Tim Bildstein¹

¹ Bioconsult Schuchardt & Scholle GbR

Abstract

The current ecological situation of the inner estuaries of Eider, Elbe, Weser and Ems is described using the following indicators: tidal range, forland area, oxygen concentration in the water column and heavy metal concentration in sediments. The current situation is compared with the situation 20 years ago and with a historical reference situation. All estuaries are still subject to heavy stress as they were already 20 years ago. However, comparing the current situation with the situation 20 years ago different developments became evident. On the one hand, improvements can be noted in the heavy metal burden and the oxygen content in Weser and Elbe. On the other hand, there is a dramatic deterioration of the oxygen situation in the inner Ems estuary. An increase in the tidal range and destruction of foreland still takes place in the estuaries, but on a limited scale. Future prospects also appear to be contradictory; integrated management plans should be formulated.

1 Einleitung

Die inneren Ästuare von Eider, Elbe, Weser und Ems formen einen Lebensraum ganz eigener Prägung, der vor allem durch den Salzgradienten und den Tidehub gekennzeichnet ist. Sie unterliegen trotz ihrer ökologischen Besonderheit einem starken Nutzungsdruck, der in allen Gewässern zu deutlichen Veränderungen von Struktur und Funktion geführt hat. Die einzelnen Nutzungen (vor allem Schifffahrt, Hochwasserschutz, Landwirtschaft, Abwassereinleitung) waren und sind dabei in den vier Ästuaren unterschiedlich stark wirksam (SCHUCHARDT et al. 1999), wie dies von LOTZE et al. (2006) auch bei einem Vergleich von 12 Ästuaren und Küstenmeeren weltweit gezeigt werden konnte.

1993 haben wir eine vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der tidebeeinflussten Flussunterläufe Norddeutschlands anhand der Parameter Morphologie, Vordeichsfläche, Sauerstoffkonzentration und Schwermetallbelastung veröffentlicht (SCHUCHARDT et al. 1993). Bei dieser Gegenüberstellung charakteristischer, die ökologische Situation prägender abiotischer Parameter sind sowohl die deutlichen Beeinträchtigungen der ökologischen Systeme verglichen mit einem historischen Referenzzustand als auch die unterschiedliche Situation in den verschiedenen Ästuaren deutlich geworden. Die Analyse basierte auf vorliegenden relativ heterogenen Daten, die überwiegend aus den Jahren 1983-88 stammten.

Seitdem, also etwa in den vergangenen 20 Jahren, haben sich die Randbedingungen in den Ästuaren in einigen Aspekten deutlich weiter verändert:

- die Ästuare von Elbe, Weser und Ems sind weiter vertieft worden
- weitere Hafen- und Industrieansiedlungsprojekte sind realisiert worden
- die Unterhaltungsbaggermengen sind z.T. deutlich gestiegen
- es sind umfangreiche naturschutzfachliche Kompensationsmaßnahmen realisiert worden
- Stoffeinträge durch Oberlieger und Direkteinleiter sind reduziert worden

- auch die inneren Ästuarie sind, v.a. im Rahmen der Umsetzung der FFH-Richtlinie der EU, großräumig unter Naturschutz gestellt worden.

Um die Konsequenzen dieser weiteren Veränderungen für die ökologische Situation der inneren Ästuarie auch vor dem Hintergrund der EU-WRRL, die die Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. Potentials bis 2015 erwartet aufzuzeigen, haben wir in der vorliegenden Arbeit den gleichen bzw. nur geringfügig modifizierten Bewertungsansatz nach ca. 20 Jahren noch einmal auf die vier Ästuarie angewendet.

2 Untersuchungsgebiete: die inneren Ästuarie

Die inneren Ästuarie (zur Definition s. FAIRBRIDGE 1980) von Eider, Elbe, Weser und Ems, also der Abschnitte zwischen den heute überall vorhandenen Tidewehren als obere Grenze der Gezeiten und dem Übergang vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter als untere Grenze, sind als Lebensräume wesentlich durch den Salzgradienten und den Tidehub charakterisiert.

Während der ästuarine Salzgradient vor allem zu einer longitudinalen Zonierung von Arten und Lebensgemeinschaften führt, prägt der Tidehub wesentlich auch die laterale Abfolge (SCHUCHARDT et al. 1999).

Die inneren Abschnitte der 4 Ästuarie sind von den anthropogenen Veränderungen deutlich stärker betroffen als die äußeren Abschnitte seewärts des Übergangs vom relativ schmalen Flussschlauch zum weiten Mündungstrichter, die meist als Teil des Wattenmeeres verstanden werden. In allen 4 Ästuarie fällt dieser Übergang in etwa mit dem Beginn des Mesohalinikums zusammen; die inneren Ästuarie schließen also den Bereich der ästuarientypischen Trübungszone und des steilen Salinitätsgradienten zumindest z.T. mit ein.

Die vier Ästuarie unterscheiden sich nicht nur durch ihre Größe und ihren Oberwasserzufluss, sondern auch durch die Höhe und den longitudinalen Gradienten des Tidehubs (s.u. und SCHUCHARDT 1995).

Alle 4 Ästuarie sind durch wasserbauliche Maßnahmen in ihrer Morphologie und Hydrodynamik deutlich verändert worden. Einen Überblick über die Maßnahmen bis 1990 geben SCHUCHARDT et al. (1993). Seitdem ist es an der Unter- und Außenelbe und der Außenweser zu einer Vertiefung auf SKN -14,5 bzw. 14,0 m gekommen; weitere Ausbauten, auch in der Unterweser, befinden sich derzeit im Genehmigungsverfahren. Mehrere Ausbauten hat es in der Unterems gegeben, um die für die Überführung größer werdenden Werftneubauten erforderlichen Fahrwassertiefen herzustellen s. KUZ et al. 1995); zusätzlich ist bei Gandersum ein bedarfsweise zu schließendes Sperrwerk errichtet worden (DE JONGE 2007). An der Eider sind in den vergangenen 20 Jahren keine größeren Maßnahmen durchgeführt worden.

Der naturschutzrechtliche Status ist in den vier Ästuarie in den vergangenen 20 Jahren deutlich erweitert worden. Vor 20 Jahren waren es v.a. die äußeren Ästuarie, die durch die Ausweisung der Wattenmeer-Nationalparke großflächig (mit Ausnahme der Fahrrinnen der Großschifffahrt) unter Schutz standen. In den vergangenen Jahren ist v.a. im Rahmen der Umsetzung der FFH-Richtlinie der EU die Ausweisung von Schutzgebieten auch in den inneren Abschnitten der 4 Ästuarie großflächig erfolgt.

3 Methodik

Es wird hier ein einfaches Bewertungskonzept angewendet, mit dem wir die ökologische Situation bereits vor ca. 20 Jahren bewertet hatten. Es greift auf wenige ausgewählte Indikatoren für den Systemzustand zurück, die zum einen zentrale Aspekte der Biotopstruktur bzw. ökosystemarer Funktionen beschreiben und zum anderen auch unmittelbar den anthropogenen Einfluss indizieren. Wesentliches Kriterium musste aus pragmatischen Gründen jedoch auch die Datenverfügbarkeit sein (s. SCHUCHARDT et al. 1993).

Folgende Parameter werden vergleichend und bezogen auf eine historische Referenzsituation bewertet:

- Tidehub
- Größe der Vordeichsflächen
- Sommerliche Sauerstoffkonzentration im Wasser
- Schwermetallbelastung der Sedimente

Diese heterogene Parameter-Struktur war seinerzeit auch Ausdruck des Anspruchs, sowohl die Wasserqualität als auch die Gewässerstruktur in die Betrachtung einzubeziehen. Biologische Komponenten haben wir seinerzeit nicht berücksichtigt, da die Datenlage zu schmal war. Aktuell wird im Rahmen der Umsetzung der EU-WRRL an Monitoring- und Bewertungskonzepten gearbeitet, so dass in Zukunft auch die Berücksichtigung der biologischen Komponenten möglich sein wird.

Der Vergleich erfolgt soweit möglich anhand quantitativer Angaben zu den einzelnen Indikatoren; z.T. sind jedoch auch nur qualitative Aussagen möglich. Dabei wird zum einen die Status quo-Situation jedes einzelnen Ästuars mit einem definierten historischen Referenzzustand, zum anderen die Status quo-Situation der 4 Ästuarie untereinander verglichen. Als Bezugspunkt wird die Zeit um 1880 herangezogen (s. SCHUCHARDT et al. 1993).

Zur Bewertung der Gewässermorphologie haben wir in der ersten Arbeit Veränderungen von Sohllagen und Querschnitten herangezogen; in der vorliegenden Arbeit nutzen wir stattdessen den Tidehub, da dieser einen sehr guten integrativen Indikator für die anthropogene Beeinflussung der Gewässermorphologie und ihre ökologischen Konsequenzen darstellt (SCHUCHARDT 1995).

4 Ergebnisse

4.1 Veränderungen des Tidehubs

Indikator Tidehub

Die aus der Nordsee in die Flussmündungen einlaufende Tidewelle ist das namensgebende (aestus = Gezeit) Charakteristikum des Ästuars. Sie kann für einen bestimmten Ort durch die Pegelstände bei Tidehochwasser (Thw) und bei Tideniedrigwasser (Tnw) beschrieben werden. Die Differenz ist der Tidehub (Thb). Die aktuellen Höhen der periodisch wiederkehrenden Pegelstände unterliegen einer größeren Zahl von aperiodischen Einflussgrößen (meteorologische Größen, Oberwasser). Um langfristige Veränderungen zu beschreiben ist es deshalb sinnvoll, auf die entsprechenden Mittelwerte (MThw, MTnw, MThb) zurückzugreifen. Dazu liegen für viele Pegel langfristige Datenreihen vor, die in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern zusammengestellt werden.

Durch die morphologische Dämpfung (Sohlleibung, Stromspaltungen etc.) kommt es natürlicherweise zu einem stromauf zunehmenden Energieverlust des aus der Nordsee kommenden Tidesignals. Folge ist ein stromauf abnehmender Tidehub. Ausbaumaßnahmen reduzieren diese Dämpfung und führen, wie es von wasserbaulicher Seite auch gewollt ist, zu einem Anstieg des Tidehubs (HARTEN 1979). Dabei ist die Veränderung des Tidehubs stromauf ausgeprägter als im Mündungsbereich (z. B. BUSCH et al. 1984). Die Ausbaumaßnahmen umfassen nicht nur die Verbreiterung und Vertiefung der eigentlichen Fahrrinne, sondern auch deren Festlegung durch Leitdämme, Buhnen und die Verfüllung von Nebenarmen und damit die Konzentration der Stromkraft auf das Fahrwasser, wie es bereits im Rahmen des ersten Ausbaus Ende des 19. Jahrhunderts von Franzius für die Unterweser formuliert und umgesetzt worden ist.

Die wasserbaulich bedingten Veränderungen der Tideparameter in den vergangenen 120 Jahren sind dabei deutlich stärker als die durch Veränderungen des aus der Nordsee einlaufenden Tidesignals (SIEFERT 1982) oder die durch Oberwasser-Schwankungen zu erklärenden (SIEFERT & JENSEN 1993). Eine Korrektur der Veränderungen der Tideparameter in den Flussmündungen um die (relativ gerin-

gen) langfristigen Veränderungen des Tidesignals aus der Nordsee wird deshalb im Rahmen dieses Vergleichs nicht durchgeführt. Der Einfluss von Schwankungen des Oberwassers auf den Tidehub wird durch die Bildung von übergreifenden 5-Jahres-Mitteln reduziert (s. Abb. 1). Da die anthropogenen Veränderungen des Tidehubs im Ästuar-Längsschnitt jeweils unterschiedlich stark sind werden hier Pegel verglichen, die im Bereich der maximalen Tidehubveränderung liegen.

Die Veränderung des Tidehubs stellt einen Indikator für Veränderungen der Gewässermorphologie v. a. durch Ausbauten und Küstenschutz dar. Relevant ist er auch für Veränderungen der Ausdehnung und Ausprägung von Lebensräumen wie Watten.

Untereider

In der Eider ist der Tidehub von ca. 2,4 m am Pegel Tönning zum Ende des letzten Jahrhunderts auf heute 2,7 gestiegen. Am Friedrichstadt beträgt der mittlere Tidehub heute 2,3 m. In der Zwischenzeit sind jedoch Veränderungen auf 3,4 m und 1,6 m erfolgt: nach der Errichtung des Tidewehrs Nordfeld (1936) ist es über 10 Jahre zu einer deutlichen Erhöhung des Tidehubs gekommen, da das MTnw stark absank (WIELAND 1992). Von 1944-70 jedoch reduzierte sich der Tidehub von ca. 3,4 auf 1,6 m als Folge des verstärkten Sandeintriebs von unterstrom. Der heutige Tidehub an den Pegeln Friedrichstadt und Tönning ist Resultat der gezielten Flutdrosselung durch das Sturmflutsperrwerk Vollerwiek (WIELAND 1992) und deshalb ist die relativ geringe Veränderung des Tidehubs um wenige Dezimeter bezogen auf die Situation um die Jahrhundertwende kein Indikator für eine wenig veränderte hydraulische (und ökologische) Situation.

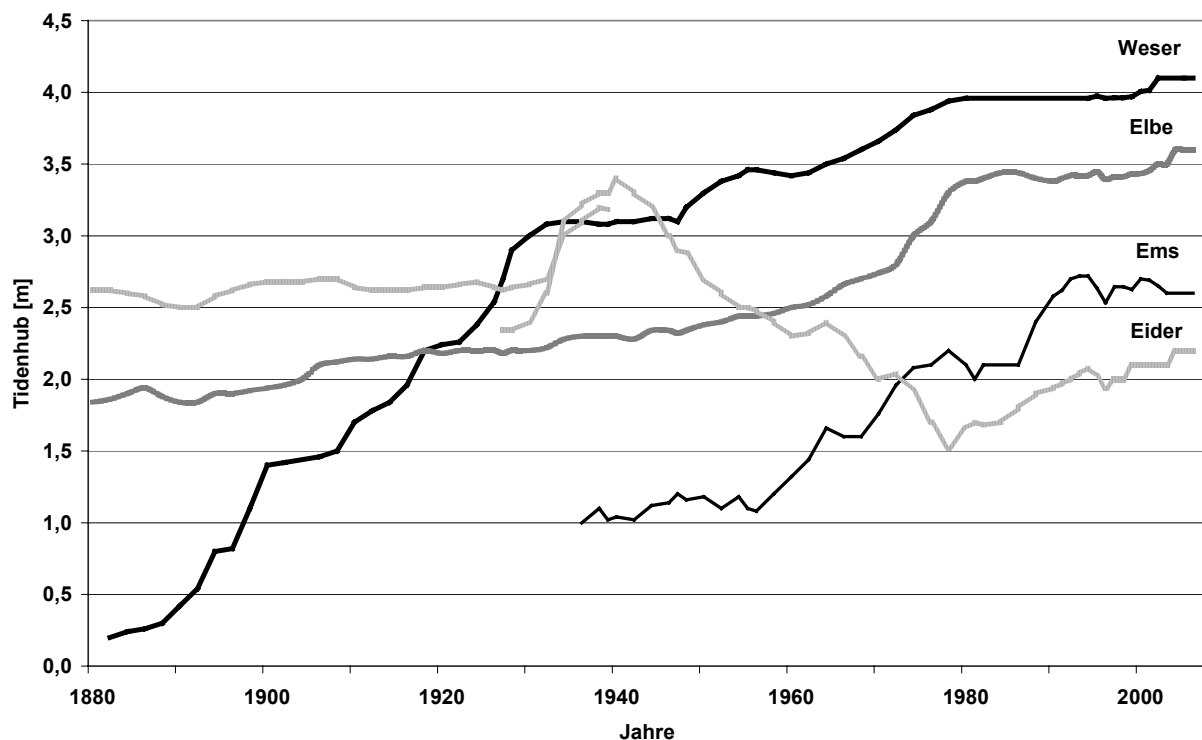


Abb. 1: Veränderungen des Tidehubs in Eider (Pegel Tönning und Pegel Friedrichstadt), Elbe (Pegel Hamburg St. Pauli), Weser (Pegel Bremen Oslebshausen) und Ems (Pegel Herbrum). Daten aus SCHUCHARDT et al. (1993) aktualisiert nach den Gewässerkundlichen Jahrbüchern und Angaben des BSH. Dargestellt sind 5-jährige, übergreifende Mittel.

Unterweser

In der Unterweser hat sich der Tidehub in den vergangenen fast 130 Jahren in Bremen von 0,2 auf 4,1 m erhöht, also um den Faktor 20!. Der Anstieg des Tidehubs war während der ersten drei Ausbauten zwischen 1890 und 1930 am steilsten (s. Abb. 1), durch die die Morphologie der Unterweser sehr stark verändert worden war (BUSCH et al. 1984). Nach ca. 1930 setzte sich der Anstieg des Tidehubs durch weitere Ausbauten fort, verlief jedoch weniger steil. Auch der (derzeit noch) letzte Ausbau der Unterweser von 1973-77 hat, verglichen mit den ersten Vertiefungen, zu einem weniger steilen Anstieg geführt. Allerdings fiel er deutlich höher aus, als im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens prognostiziert worden war (WETZEL 1987). Durch den Ausbau der Außenweser 1999 auf SKN -14,0 m und weitere Maßnahmen wie die Verfüllung von Hafenbecken hat sich der Tidehub weiter relativ schwach erhöht (Abb. 1); die Erhöhung entsprach überwiegend der im Genehmigungsverfahren prognostizierten (LANGE 2004).

Unterems

In der Ems ist der Tidehub in Papenburg von ca. 1,4 m um die Jahrhundertwende über 3,1 m in den 1980er Jahren auf heute 3,5 m gestiegen, also um den Faktor 2,5 (am Tidewehr Herbrum, s. Abb. 1, ist der Anstieg etwas geringer). Anders als in der Weser war der zeitliche Verlauf (Abb. 1). Als Folge kleinerer Maßnahmen (Durchstiche) stieg der Tidehub bei Papenburg auf ca. 1,7 m bis etwa 1935. Ein deutlicher Anstieg begann erst um 1955, nachdem mit umfangreicher Unterhaltungsbaggerung begonnen worden war. Dieser steile Anstieg des Tidehubs (Abb. 1) setzte sich bis 1975 fort und stagniert dann mit der reduzierten Unterhaltungsbaggerung (ARNTZ et al. 1992). Eine zweite Phase mit steilem Anstieg wird dann für 1985 bis ca. 1995 deutlich, in der der Ausbau auf 5,7 m und die Anpassung an wachsende Schiffsneubau-Größen in Papenburg erfolgte. Verändert wird der Tidehub heute temporär durch den Aufstau der Unterems durch eine entsprechende Steuerung des Sturmflut- und Stauwehrs Gandersum, wenn für die Überführung von Schiffsneubauten der Wasserspiegel angehoben wird (DE JONGE 2007).

Untereibe

In der Elbe ist der Tidehub am Pegel Hamburg-St. Pauli von 1,9 auf 3,6 m angestiegen, also um den Faktor 1,9 und damit etwas weniger stark als in der Ems. Der zeitliche Verlauf zeigt eine langsame, aber relativ kontinuierliche Zunahme ab etwa 1900 bis etwa 1960 und dann einen deutlich steileren Anstieg bis etwa 1980, also während der Vertiefungen auf SKN -11, -12 und -13,5 m. Der Ausbau auf SKN -14,5 m in 1999 führte zu einer weiteren, relativ geringen Erhöhung, die überwiegend schwächer als die im Genehmigungsverfahren prognostizierte war (STROTMANN 2004). Einen Überblick über die verschiedenen Ausbaumaßnahmen gibt aktuell HOCHFELD (2007).

4.2 Reduzierung der Vordeichsfläche

Indikator Vordeichsfläche

Das Vorland, also die zwischen Landesschutzdeich und der Linie des mittleren Tidehochwassers liegenden Flächen, stellt als Aue durch die aperiodisch auftretenden Überflutungen bei höher auflaufenden Flut- bis Sturmflutwasserständen einen bedeutsamen Teillebensraum der Ästuarie dar. Dies spiegelt sich nicht nur im Vorkommen spezifischer Biotoptypen, sondern auch in der zwischenzeitlich erfolgten großflächigen Ausweisung als FFH- bzw. EU-Vogelschutzgebiete wider. Die Vorlandflächen stellen insgesamt die vergleichsweise kleinen Reste der ursprünglich entlang der Ästuarie sehr großflächigen Aue dar, die durch die Errichtung einer geschlossenen Deichlinie seit ca. 1200 dem direkten Einfluss der Ästuarie entzogen worden sind. Die aktuelle Nutzung und Ausprägung des Vorlandes ist unterschiedlich.

Die Reduzierung der Vordeichsflächen stellt einen Indikator für einen Lebensraumverlust v.a. durch Küstenschutz, Landwirtschaft, Industrie- und Siedlungsentwicklung und Ausbauten dar. Relevant ist er auch für Veränderungen der Sturmflut- und Schwebstoffdynamik sowie die Kapazität zur Nährstoffrückhaltung.

Untereider

Der Deichbau in der Eiderniederung begann etwa um 1500; erst zum Ende des 19. Jahrhunderts war die Deichlinie geschlossen. Seitdem sind die Deichlinien nur noch wenig verändert worden. In Teilbereichen ist ein Zuwachs an Vordeichsflächen Folge des starken Sandeintriebs (s.o.) beobachtet. Ein Vergleich der topographischen Karten von 1889 und 1977 zeigt, dass die Vordeichsflächen zwischen Tönning und Nordfeld (Tidewehr) sich nicht wesentlich verändert haben. Anders sieht es im Bereich stromab von Tönning aus (also unterhalb unseres Betrachtungsraumes): hier ist durch die Errichtung des Eidersperrwerks zu Lasten von Wattflächen zu einer starken Zunahme von Vorland gekommen.

Untereibe

Zwischen 1896/1905 und 1981/82 ist die Fläche der Vordeichsmarschen am Nordufer der Untereibe zwischen Altona und Brunsbüttel um ca. 52% und am Südufer zwischen Elbrücken und Cuxhaven um ca. 75% (insgesamt ca. 66%) verringert worden (ARGE ELBE 2004). Wesentliche Ursache waren die umfangreichen Vordeichungen, die nach der schweren Sturmflut von 1962 durchgeführt wurden. In diesem Zusammenhang sind auch an allen Nebenflüssen Sturmflutsperrwerke errichtet worden; meist verbunden mit Vorverlegungen der Deichlinie. Bei diesen Vordeichungen nach 1962 wurden nicht nur große Teile der Vordeichsflächen mit ihren Graben- und Prielsystemen dem Tideeinfluss entzogen, sondern auch verschiedene Nebengewässer (bekanntestes Beispiel ist die Haseldorfer Binnenelbe). In den vergangenen Jahren sind im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen mehrere Sommerdeiche geöffnet worden, so dass auf den verbliebenen Vordeichsflächen örtlich die Vernetzung mit der Elbe wieder verbessert worden ist. Aktuell werden im Rahmen des „Tide-Elbe-Konzepts“ großräumige Rückdeichungen diskutiert (HOCHFELD 2007).

Unterweser

Zwischen 1887 und 1975 ist die Fläche zwischen den Winterdeichen von 133 auf 78 km² verringert worden; der Verlust an Vordeichsfläche hat ca. 50% betragen (SCHUCHARDT et al. 1993). Für die Röhrichtflächen eines Abschnitts des westlichen Ufers der Unterweser haben HEINRICH & MÜHLNER (1980) die Verluste zwischen 1922 und 1979 mit 46% quantifiziert.

Ursachen der Verluste waren Verkürzungen der Deichlinie, Abtrennung und Verfüllung von Nebenarmen, Industrieansiedlungen und in den 1970er Jahren Verlegung von Deichlinien im Zusammenhang mit der Errichtung von Sperrwerken an den Nebenflüssen. Der Anstieg des MThw hat dagegen nicht zu einem weiteren Rückgang der Röhrichtflächen beigetragen, wie für den Zeitraum zwischen 1950 und 2002 ermittelt worden ist (STEEGE et al. 2005). Aktuell werden für die Erweiterung des Hafens Brake Vordeichsflächen in Anspruch genommen. Auf der Luneplate bei Bremerhaven soll im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen ein Polder hinter dem Winterdeich dagegen steuerbar für die Tide geöffnet werden; Öffnungen von Sommerdeichen und die Entwicklung von Tidepoldern haben an mehreren Stellen stattgefunden; weitere sind in Vorbereitung.

Unterems

In der Unterems lassen sich bzgl. des Verlustes von Vordeichsflächen 2 Abschnitte unterscheiden. Während im Abschnitt stromab von Papenburg die Vordeichsfläche kaum verändert worden ist, ist es stromauf von Papenburg durch den Deichbau 1966 zu deutlichen Verlusten gekommen. Die Vordeichsfläche (vor dem Winterdeich, also inklusive Sommerpolder) ist um ca. 70 % verkleinert wor-

den. Bezogen auf die gesamte Vordeichsfläche bedeutet dies einen Rückgang von ca. 33% (SCHUCHARDT et al. 1993). In jüngerer Zeit sind kleinere Flächen u.a. durch die Errichtung des Emssperrwerks in Anspruch genommen worden. Eine aktuelle Bilanzierung im Rahmen des Interreg-Projekts HARBASINS von HERRLING & NIEMEYER (2007) hat für den Abschnitt zwischen Papenburg und Pogum für den Zeitraum 1898 bis 2005 einen Verlust von supratidalen Lebensräumen von ca. 20 % ergeben.

4.3 Sommerliche Sauerstoffkonzentration im Wasser

Indikator Sauerstoffkonzentration

Die sommerliche Sauerstoff-Konzentration im Wasser stellt einen Indikator für die Belastung mit sauerstoffzehrenden Substanzen und Eutrophierung v.a. durch direkte und diffuse Einleitungen, Baggergutumlagerung und v.a. auch Veränderungen der Gewässermorphologie dar und ist ein ökologischer Schlüsselfaktor, der für die Struktur der Biozönose entscheidend ist. Für die inneren Ästuar sind Sauerstoffmangelsituation, die deutlich über die natürlicherweise zu erwartenden hinausgehen (FLÜGGE et al. 1989), dokumentiert. Während die Einleitung sauerstoffzehrender Substanzen v.a. in den 1980er Jahren durch den Ausbau von Kläranlagen deutlich reduziert worden ist, ist der Aspekt der „Sekundärverschmutzung“, also den Eintrags von Phytoplankton aus den Mittelläufen und das Absterben im Tidebereich relevanter geworden, wo die Vertiefungen eine positive Netto-Primärproduktion erschweren (SCHUCHARDT & SCHIRMER 1991; ARGE ELBE 2004).

Untereider

In der Untereider sind für die 1960er Jahre sommerliche Sauerstoff-Sättigungen von 55-90% dokumentiert (KÜHL & MANN 1971). Nach dem Ausbau der Kläranlage der Stadt Tönning sind in den 1980er Jahren bis heute Sättigungen unter 70% kaum aufgetreten (allerdings geringe Datenlage, da nur Einzelmessungen; Daten: LANU Kiel).

Untereibe

Die Sauerstoff-Konzentrationen in der Untereibe sind seit den 1950er Jahren sehr gut dokumentiert (www.arge-elbe.de). Im oberen Bereich der Untereibe können die Sauerstoff-Konzentrationen im Sommer stark vermindert sein. In den 1980er Jahren wurden über größere Strecken Konzentrationen von unter 3 und auch unter 1mg/l gemessen; seit den 1990er Jahren waren Konzentrationen unter 3 mg/l räumlich und zeitlich deutlich reduziert (ARGE ELBE 2004). Entlastend wirkte v.a. die reduzierte Primärverschmutzung durch den Ausbau der Kläranlagen in Hamburg und nach der Wiedervereinigung in der Ober- und Mittelreibe; belastend wirkten die reduzierte toxische Hemmung der planktischen Primärproduktion in der Mittelreibe und die dadurch vermehrte Sekundärverschmutzung in der Untereibe und weitere Maßnahmen wie die Verfüllung des Mühlenberger Lochs und, dies ist allerdings strittig, der weitere Ausbau der Untereibe (s. ARGE ELBE 2004; NEUMANN 2004). Aktuell scheint es nicht sicher, wie sich die dokumentierte Verbesserung der Sauerstoff-Konzentrationen weiter entwickelt.

Unterweser

Auch in der Unterweser wurden vor ca. 1985 ausgedehnte Sauerstoff-Mangelsituationen mit Konzentrationen unter 2 mg/l dokumentiert; seit 1985 (Ausbau der Kläranlage Bremen), sind die Mangelsituationen deutlich reduziert (SCHUCHARDT et al. 1989; GRABEMANN et al. 1990). Dies hat sich in den 1990er Jahren und danach nicht deutlich verändert (GRABEMANN et al. 2005); Sauerstoff-Konzentrationen unter 4 mg/l treten kaum auf.

Unterems

Die Sauerstoff-Konzentrationen in der Unterems haben sich seit Mitte der 1980er Jahre deutlich verändert; durch den Aufbau eines umfangreichen Messnetzes ist diese Veränderung auch gut belegt. ENGEL (2007) zeigt die deutliche räumliche und zeitliche Ausdehnung der sommerlichen Sauerstoff-Defizite im Bereich Leer. Auch die Intensität der Defizite hat zugenommen: die Minima haben sich in den vergangenen 20 Jahren von ca. 6 auf unter 2 mg/l verstärkt. Auch SCHÖL et al. (2007) zeigen für die Messstationen Papenburg, Leerort und Terborg, dass es zu einer deutlichen Verschlechterung der Sauerstoffsituation im Ems-Ästuar gekommen ist. So treten seit Mitte der neunziger Jahre vermehrt Sauerstoffgehalte unter 4 mg/l auf; auch Konzentrationen unter 1 mg/l werden gemessen. Als wesentliche Ursachen sind die extreme Zunahme der Schwebstoff-Konzentrationen v.a. als Folge der starken Vertiefungen der inneren Ems für Schiffsüberführungen und die intensive Baggergutumlagerung identifiziert worden (SCHÖL et al. 2007; DE JONGE 2007).

4.4 Schwermetallbelastung der Sedimente

Indikator Schwermetalle

Die Schwermetallbelastung der Sedimente stellt einen Indikator für die Schadstoffeinträge in das Gewässer v. a. durch direkte und diffuse Einleitungen dar. Als Stichworte für die mit erhöhten Konzentrationen verbundenen ökologischen Probleme seien hier nur die Stichworte Toxizität, Akkumulation und Persistenz genannt. In allen Gewässern zeigen sich gegenüber dem geochemischen Background erhöhte Konzentrationen; in den Ästuaren sind stromab abnehmende Konzentrationen charakteristisch, die wesentlich das Produkt der Vermischung von höher belasteten flussbürtigen und geringer belasteten marinen Sedimenten reflektieren (ACKERMANN 1998).

Die Zusammenstellung der Schwermetallkonzentrationen aus den 1980er Jahren (SCHUCHARDT et al. 1993) zeigt für die verschiedenen Ästuar- und die einzelnen Schwermetalle deutliche Unterschiede in der Überschreitung der natürlichen Hintergrundwerte. In der Untereider betragen die Überschreitungen Faktor 2-3; in der Untereibe Faktor 3-30, in der Unterwese Faktor 8-40 und in der Unterems Faktor 2-3.

Seit etwa dem Ende der 1980er Jahre ist es v.a. in Elbe und Weser aber auch in der Ems in der Folge verstärkter Anstrengungen im Gewässerschutz zu einer deutlichen Reduzierung der Schwermetallbelastung sowohl in den Schwebstoffen als auch (abgeschwächt) in den Sedimenten gekommen (STEFFEN & RISCHENBIETER 1998; BAKKER et al. 2005; die Daten werden hier aus Raumgründen nicht wiedergegeben). Die Reduzierung war in der Elbe noch deutlicher als in der Weser, v.a. als Folge der Wiedervereinigung. Dies hat auch zu einer deutlichen Reduzierung der Schwermetall-Einträge in die Nordsee, z.T. um den Faktor 3, geführt (BAKKER et al. 2005).

5 Vergleichende Bewertung

Die Situation für die 4 Indikatoren in den 4 Ästuaren hatten wir in den 1980er Jahren mit einem einfachen 5-stufigen Bewertungsansatz als Abweichung von der historischen Referenzsituation bewertet (SCHUCHARDT et al. 1993). Die Einschätzungen sind in Tab. 1 wiederholt (Abweichungen gibt es durch den Wechsel des Indikators für die Morphologie von Querschnitten zum Tidehub (s.o.)). Tab. 1 gibt ebenfalls die Einschätzungen der aktuellen Situation 20 Jahre später wieder, die wir auf der Grundlage der in Kap. 4 skizzierten aktuellen Daten- und Literaturlage getroffen haben. Der sich dadurch ergebende Vergleich der ökologischen Situation der 4 Ästuar- über die letzten 20 Jahre macht deutlich, dass die von uns zum Ende der 1980er Jahre identifizierten Problemfelder (verglichen mit

einer historischen Referenzsituation) grundsätzlich die Gleichen geblieben sind, dass aber für die einzelnen Indikatoren in den verschiedenen Ästuaren unterschiedliche Entwicklungen stattgefunden haben:

Tidehub:

- 1880-1987: massiver Anstieg des Tidehubs in den inneren Ästuaren von Elbe, Weser und Ems v.a. durch Ausbauten;
- 1987-2007: Fortsetzung des Anstieg des Tidehubs, allerdings deutlich abgeschwächt;
- keine Veränderung bei der Zustandsbewertung.

Größe der Vordeichsfläche:

- 1887-1987: starke Verluste an Vordeichsflächen, v.a. an der Unterelbe durch Vordeichungen;
- 1987-2007: weitere, relativ schwache Verluste, v.a. durch Hafenerweiterungen etc.; parallel Funktionsveränderung (ökologische Aufwertung) durch Öffnung von Sommerpoldern
- keine Veränderung bei der Zustandsbewertung.

Sommerliche Sauerstoff-Konzentrationen im Wasser:

- 1887-1987: starke Defizite an der Unterelbe; etwas schwächer an der Unterweser;
- 1987-2007: Entstehung sehr starker Defizite an der Unterems, leicht abgeschwächte Defizite an Weser und Elbe
- um 2 Stufen verschlechterte Zustandsbewertung für die Unterems v.a. als Folge der Vertiefungen; um eine Stufe verbesserte Bewertung für Weser und Elbe; keine Veränderung der Bewertung für die Untereider.

Schwermetallbelastung der Sedimente:

- 1887-1987: starke bis sehr starke Erhöhung gegenüber natürlichen Hintergrundwerten in allen Ästuaren; v.a. in Elbe und Weser;
- 1987-2007: weniger starke bis starke Erhöhung, also deutliche Reduzierung der Belastung;
- um 2 Stufen für die Weser und um eine Stufe für Ems und Elbe verbesserte Zustandsbewertung v.a. als Folge vermehrter Anstrengungen im Gewässerschutz.

Für die 4 hier verglichenen, insgesamt stark überformten inneren Ästuar von Eider, Elbe, Weser und Ems (die im System der Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL) vorläufig auch als „erheblich veränderte Wasserkörper“ klassifiziert sind) lässt die vergleichende Bewertung für die Umweltsituation unterschiedliche Entwicklungen für die vergangenen 2 Dekaden deutlich werden.

In den als Großschifffahrtswegen genutzten Ästuaren Elbe und Weser wurde und wird die morphologische Deformation durch weitere Ausbaumaßnahmen fortgesetzt; der Tidehub hat sich in der Folge weiter, wenn auch relativ schwächer, verstärkt. Das gilt auch, allerdings in deutlich stärkerem Maße, für das Emsästuar als Folge mehrerer Vertiefungen, um größere Schiffseinheiten zur Küste überführen zu können. Neben den Konsequenzen für die Lebensräume Wattflächen und Flachwasserzonen ist besonders der Aspekt der Zunahme des flutstromorientierten Sedimenttransportes oberhalb der Trübungszone (SOHRMANN 2006, DE JONGE 2007) von Bedeutung. Vermehrter Unterhaltungsaufwand und verstärkte Trübung können die Konsequenzen sein, die, parallel zu weiteren Ausbau-Planungen, Überlegungen zu umfangreichen Gegenmaßnahmen aktuell werden lassen (u.a. HOCHFELD 2007).

Diese schließen für einzelne Aspekte wie Wiederherstellung von Flutraum an Konzepte der Umweltverbände (CLAUS 1998) an.

Indikator	Eider bis 1987	Eider 1987- 2007	Elbe bis 1987	Elbe 1987 - 2007	Weser bis 1987	Weser 1987 - 2007	Ems bis 1987	Ems 1987 - 2007
Tidehub	gering	gering	stark	stark	sehr stark	sehr stark	stark	stark
Vordeichs- fläche	keine	keine	sehr stark	sehr stark	stark	stark	weniger stark	weniger stark
Sauerstoff- defizit	gering	gering	sehr stark	stark	stark	weniger stark	weniger stark	sehr stark
Schwer- metalle	weniger stark	weniger stark	sehr stark	stark	sehr stark	weniger stark	stark	weniger stark

Tab. 1: Übersicht über die Bewertungen für die 4 Indikatoren in den 4 Ästuaren bezogen auf die historische Referenzsituation. Die jeweils stärkste Verformung ist fett gedruckt. Bewertungsstufen: keine; gering; weniger stark; stark; sehr stark.

Die Ausdehnung von Vordeichflächen hat sich in den Ästuaren in den vergangenen 20 Jahren nur relativ wenig weiter verändert; Grund ist v.a. der Verzicht auf weitere großräumige Vordeichungen wie sie v.a. an der Elbe in den 1970er Jahren erfolgten. Allerdings gibt es weitere Verluste v.a. durch Hafenausbauten und Industrieansiedlung; weitere sind geplant. Dem stehen örtliche ökologische Aufwertungen u.a. durch die Öffnung von Sommerdeichen gegenüber. Die großflächige Unterschutzstellung der Vordeichflächen und die steigende Erfordernis nach Flutraum und einem Mitwachsen der Vorlandflächen (auch vor dem Hintergrund des Klimawandels SCHUCHARDT & SCHIRMER 2005) werden hier zukünftig voraussichtlich vermehrt Maßnahmen wie Sommerdeichöffnungen und Deichrückverlegungen erfordern.

Die Bemühungen um einen verstärkten Gewässerschutz in den vergangenen Jahrzehnten zeigen sich auch in den inneren Ästuaren. Durch den Ausbau der Kläranlagen sind sauerstoffzehrende Prozesse reduziert worden; eine Entlastung ist für die Weser und abgeschwächt auch für die Elbe erkennbar, wo die Defizite gerade in den letzten Jahren noch stark waren. Eine deutliche Veränderung in der Gewässergüte (Indikator Sauerstoff) in den vergangenen 20 Jahren ist für das Emsästuar offensichtlich. V.a. als Folge der Vertiefungsmaßnahmen ist es zu einer dramatischen Akkumulation von Schwebstoffen und in der Folge zu massiven Sauerstoffmangelsituationen gekommen. Hier besteht noch deutlich stärker als in der Unterelbe akuter Sanierungsbedarf.

Bei den Schwermetallen als Indikator der Wasserqualität ist insgesamt eine Verbesserung der Belastungssituation aufgrund der verstärkten Bemühungen um den Gewässerschutz festzustellen.

6 Fazit

Die vergleichende Bewertung hat deutlich gemacht, dass neben einer Reihe von Verbesserungen weiterhin z.T. akuter Handlungsbedarf besteht. Dieser liegt u.E. v.a. in Maßnahmen zur Reduzierung der Sauerstoff-Defizite und des tidal pumping in Ems und Elbe, der Sicherung und Wiederherstellung von Nebenarmen mit ihren Flachwasserzonen sowie der Wiederherstellung von ästuartypischen Lebensräumen im Vorland aller Ästuar.

Dieser und weiterer Handlungsbedarf, die aufgrund der Globalisierung zunehmende ökonomische Bedeutung der Ästuar, die auch ökonomischen Konsequenzen eines intensivierten Stromauf-

Transports von partikulärem Material, die Umsetzung von EU-Richtlinien (WRRL, FFH) und die erforderliche Anpassung an den Klimawandel machen es sinnvoll und erforderlich, die zu erwartenden bzw. erforderlichen zukünftigen Maßnahmen und widersprüchlichen Perspektiven über ein integriertes Küstenzonenmanagement in Form integrierter Managementpläne aufeinander abzustimmen und dabei auch langfristige Konsequenzen aktueller Aktivitäten angemessen zu berücksichtigen.

Literatur

- Ackermann, F. (1998): Dynamik der Schwebstoffbelastung in feinkörnigen Sedimenten und Schwebstoffen im Tidebereich von Ems, Weser und Elbe. BfG-Bericht 1188, Koblenz, 63 S.
- ARGE Elbe (1984): Gewässerökologische Studie. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Elbe (ARGE ELBE), Hamburg, 28 S..
- ARGE Elbe (2004): Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Elbe (ARGE ELBE), Hamburg, 11 S..
- Arntz, W., C. Schadwinkel, C-P. Günther, H. Meinken (1994): Fischereibiologisch-fischereiwirtschaftliches Gutachten. Im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Emden (unveröff.).
- Bakker, J.F., M. v.d. Heuvel-Greve & D. Vethaak (2005): Natural Contaminants. In: Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystems 19, 2005, 86-100.
- Busch, D.; M. Schirmer; B. Schuchardt & P. Ullrich (1989): Historical changes of the River Weser. In: G. E. Petts; A. L. Roux & H. Möller (eds.) Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe. J. Wiley & Sons, Chichester, 297-321.
- Claus, B. (1998): Länderübergreifendes Schutzkonzept für die Ästuarie von Elbe, Weser und Ems. Studie des WWF und des BUND, 237 S.
- De Jonge, V. (2007) : Long term changes in the in turbidity gradient of the of Ems estuary and and its ecological consequences.- Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden (www.phys.uu.nl/~talke/Ems/).
- Engels, A. (2007): Seasonal and tidal variation of oxygen and salinity in the river Ems.- Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden (www.phys.uu.nl/~talke/Ems/).
- Fairbridge, R. W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: E. Olausson; I. Cato (eds.) Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. J. Wiley & Sons, Chichester, 1-35.
- Flügge, G.; T. Gaumert & M. Bergmann (1989): Gewässergütekriterien und Bewirtschaftungsmodelle für die Tideelbe.- Studie der Wassergütestelle Elbe im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 247 S..
- Grabemann, I., H. Kühle, B. Kunze, A. Müller & L.J.R. Neumann (1990): Studies on the Distribution of Oxygen and Nutrients in the Weser Estuary. In: W. Michaelis (ed.): Estuarine Water Quality Management.- Coastal and Estuarine Studies 36, Springer-Verlag, Berlin, 341-344.
- Grabemann, H.-J.; I. Grabemann & A. Müller (2005): Die Auswirkungen eines Klimawandels auf Hydrografie und Gewässergüte der Unterweser. In: B. Schuchardt; M. Schirmer (Hrsg.) Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweseregion. Springer-Verlag, Heidelberg, 59-77.
- Harten, H. (1979): Ausbaumaßnahmen in Tideästuarien der deutschen Nordseeküste und die Auswirkungen auf das Tidegeschehen. Die Küste 34, 150-158.
- Heinrich, T. & G. Mühlner (1980): Beurteilung der Röhrichtbestände an der Unterweser im Bereich des Landkreises Wesermarsch im Hinblick auf ihre Schutzwürdigkeit. Landkreis Wesermarsch, Amt für Landschaftspflege, unveröff..
- Herrling, G. & H. D. Niemeyer (2007): Long-term Areal Development of Habitats in the Ems-Dollard Estuary. HARBASINS Report (www.harbasins.org).
- Hochfeld, B. (2007): Zukunft Tideelbe. Seevögel 2007, 28, 1/2, 30-34.
- Kuz, D., W. Herr, B. Greuner & H. Bröring (1995): Bedarfsweise der Ems zwischen Papenburg und Emden. Hansa 132, 6, 53-69.
- Kühl, H. & H. Mann (1981): Main characteristics of the environment and zooplankton of Eider, Elbe, Weser and Ems. In: N. Dankers; H. Kühl; W.J. Wolff (eds.) Invertebrates of the Wadden Sea. Marine Zoology 4, 143-145.
- Lange, D.(2004): Auswirkungen auf Hydrologie und Morphologie. Vortrag auf dem Fachseminar „Der SKN - 14m-Ausbau der Außenweser und seine Auswirkungen auf die Umwelt“ am 20.4.2004 in Bremerhaven.

- Lotze, H. K., H. S. Lenihan, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R.G. Cooke, M. C. Kay, S. M. Kidwell, M. X. Kirby, C. H. Peterson, J. B. C. Jackson (2006) Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. *Science* 312, 1806-1809.
- Neumann, L.J.R (2004): Fachthema Weitere hydrologische Parameter.- Vortrag auf dem Kolloquium am 21.9.2004 in Hamburg: Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Ergebnisse der Beweissicherung (www.bs-elbe.de).
- Schöl, A.; C. Günster; W. Krings; V. Kirchesch, W. Rätz (2006): Zusammenhänge zwischen Sauerstoffhaushalt und Schwebstoffverteilung in der Unterems -Naturmessungen und Laboruntersuchungen. Vortrag auf dem Kolloquium der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg und der Bundesanstalt für Gewässerkunde „Erfahrungsaustausch zur Untersuchung und Einschätzung von Transportprozessen in Ästuaren und Wattgebieten und zum Sedimenttransport in Tidegewässern“ am 08.11.2006 in Hamburg (www.baw.de).
- Schöl, A.; C. Günster; W. Krings; V. Kirchesch, W. Rätz (2007): Interrelations between oxygen concentration and suspended particulate matter (SPM) distribution in the Ems Estuary. Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden (www.phys.uu.nl/~talke/Ems/).
- Schuchardt, B., M. Müller, M. Schirmer (1989): Veränderungen im Sauerstoff-Haushalt der Unterweser nach der Reduzierung kommunaler und industrieller Einleitungen. *Dt. Gewässerkundl. Mitt.* 33, 3/4, 98-103.
- Schuchardt, B. & M. Schirmer (1991): Phytoplankton maxima in two coastal plain estuaries. *Est. Coast. Shelf Sci.* 32, 187-206.
- Schuchardt, B., M. Schirmer & B. Jathe (1993): Vergleichende Bewertung des ökologischen Zustands der tidebeeinflussten Flussunterläufe Norddeutschlands. *Jb. Natursch. Landschaftspf.* 48, 137-152.
- Schuchardt, B. (1995): Die Veränderung des Tidehubs in den inneren Ästuaren von Eider, Elbe, Weser und Ems. Ein Indikator für die ökologische Verformung der Gewässer. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 27, 6, 211-217.
- Schuchardt, B.; M. Schirmer; G. Janssen; S. Nehring & H. Leuchs (1999): Estuaries and Brackish Waters. In: F. de Jong et al. (eds.) *Wadden Sea Quality Status Report.- Wadden Sea Ecosystem* 9, 175-186.
- Schuchardt, B. & M. Schirmer (2005) (Hrsg.): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweseregion.* Springer-Verlag, Heidelberg, 341 S..
- Siefert, W. (1982): Bemerkenswerte Veränderungen der Wasserstände in den deutschen Tideflüssen. *Die Küste* 37, 1-37.
- Siefert, W. & J. Janssen (1993): Fahrrinnenvertiefungen und Tidewasserstände in der Elbe. *Hansa* 130, 10, 119-125.
- Sohrman, A. (2006): Elbe Ästuar: Analyse Ist-Zustand und historische Zustände.- Vortrag auf dem Kolloquium der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg und der Bundesanstalt für Gewässerkunde „Erfahrungsaustausch zur Untersuchung und Einschätzung von Transportprozessen in Ästuaren und Wattgebieten und zum Sedimenttransport in Tidegewässern“ am 08.11.2006 in Hamburg (www.baw.de).
- Steege, V.; F. Brüning; U. Köhler-Loum; J.L. Ringot & T. Schikorre (2005): Die Ausdehnung der Ufervegetation an Unter- und Außenweser vor dem Hintergrund steigender Hochwasserstände – Luftbildinterpretationen über den Zeitraum 1950 –2002.- Tagungsbericht 2005 der DGL und SIL, 144-148.
- Strotmann, T. (2004): Fachthema Wasserstandsentwicklung. Entwicklung der Wasserstände in der Unter- und Außenelbe.- Vortrag auf dem Kolloquium am 21.9.2004 in Hamburg: Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Ergebnisse der Beweissicherung (www.bs-elbe.de).
- Steffen, D. & D. Rischbieter (1998): Trendbeobachtung über die Belastung von Gewässersedimenten mit Schwermetallen – Zeitraum 1986 bis 1996.- Niedersächsisches Landesamt für Ökologie Hildesheim. *Oberirdische Gewässer* 8/98, 88 S.
- Wetzel, V. (1987): Der Ausbau des Weserfahrwassers von 1921 bis heute. *Jb. Hafenbautechnische Gesellschaft* 42, 83-105.
- Wieland, P. (1992): Deichschutz und Binnenentwässerung im Eidergebiet. In: DVWK (Hrsg.) *Historischer Küstenschutz*, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 463-486.

Adressen

Dr. Bastian Schuchardt
 Dipl.-Biol. Sandra Schulze
 Dipl.-Geogr. Tim Bildstein

BioConsult Schuchardt & Scholle GbR
Reeder Bischoff Str. 54
28757 Bremen
Germany

E-mail: schuchardt@bioconsult.de; schulze@bioconsult.de ; bildstein@bioconsult.de

Dipl.-Biol. Jörg Scholle
BioConsult Schuchardt & Scholle GbR
Klenkendorf 5
27442 Gnarrenburg
Germany

E-mail: scholle@bioconsult.de