

515-31
**DE ECOLOGISCHE TOESTAND
VAN HET EEMS-ESTUARIUM EN
MOGELIJKHEDEN VOOR HERSTEL**

**DER ÖKOLOGISCHE ZUSTAND DES
EMSÄSTUARS UND MÖGLICHKEITEN
DER SANIERUNG**





De ecologische toestand van het Eems-estuarium en mogelijkheden voor herstel

Der ökologische Zustand des Emsästuars und Möglichkeiten der Sanierung

Bos, D., Büttger, H., Esselink, P., Jager, Z., de Jonge, V., Kruckenberg, H., van Maren, B., & B. Schuchardt

Programma Naar Een Rijke Waddenzee
Altenburg & Wymenga, Leeuwarden/
Veenwouden, 2012

Samenvatting

Dit document is geschreven in opdracht van Programma naar een Rijke Waddenzee met in het achterhoofd het Integrale Management Plan dat momenteel in ontwikkeling is en dat gezamenlijk wordt opgesteld door Duitsland en Nederland.

In dit document kwalificeren wij het Eems-Dollard estuarium als een gedegrademd ecosysteem. Deze beoordeling is gebaseerd op de sterk kunstmatige morfologie, de hoge mate van troebelheid, langdurige zuurstofloze periodes in sommige zones en estuariene habitats, die in kwaliteit en kwantiteit beperkt zijn. Met dit document krijgen belanghebbenden en beleidsmakers een overzicht van de meest relevante kennis van het Eems-Dollard estuarium. U vindt hier de belangrijkste wegen beschreven die kunnen leiden tot herstel, met in het kort de gedachtegang daarachter.



An aerial photograph of a coastal landscape. In the foreground, a wide, shallow river or estuary flows from the bottom left towards the center. The water is a mix of light and dark blue-green. On the right bank, there is a large, rectangular building with a flat roof, possibly a farm or industrial structure. The surrounding land is divided into various colored patches of green, yellow, and brown, indicating different types of vegetation or land use. In the background, the land meets the sea, with some small islands or peninsulas visible. The sky is a pale, hazy blue.

Zusammenfassung

Dieses Dokument wurde im Auftrag von 'Programma naar een Rijke Waddenzee' vor dem Hintergrund des Integrierter Bewirtschaftungsplan (IBP) verfasst, der derzeit in Zusammenarbeit von Deutschland und den Niederlanden erstellt wird.

Das Dokument beschreibt das Emsästuar aufgrund schwerwiegender künstlicher Überformung, hohem Grad der Wassertrübung, langen Zeiträumen mit Sauerstoffmangel in bestimmten Zonen und verringerter Qualität und Quantität von Ästuarlebensräumen als ein degradiertes Ökosystem. Es ermöglicht Entscheidungsträgern und Politikern einen Überblick über die wichtigsten Erkenntnisse zum Emsästuar zu bekommen. Die wichtigsten Optionen für eine Sanierung des Systems werden im Folgenden mit einer Erläuterung vorgestellt.

Inhoudsopgave

1. Introductie	8
2. Structuur van een estuarium	10
3. Functioneren van het Eems ecosysteem en kennishiaten	14
3.1 Hydro- and Morphodynamica	14
3.2 Waterkwaliteit	26
3.3 Estuariene habitats	28
3.4 Estuariene soorten en het functioneren van het ecosysteem	30
3.5 Huidig & toekomstig onderzoek	44
4. Samenvatting van de ecologische beperkingen	46
4.1 Getijdenrivier	46
4.2 Middendeel en Dollard	46
4.3 Mondingsgebied	48
4.4 Algemene ecologische beperkingen	48
4.5 Richten op fundamentele problemen	48
5. Huidige mogelijkheden voor ecologisch herstel	50
5.1 Huidige mogelijkheden	50
5.2 Synthese	56
6. Literatuur	58
Dankwoord	63
Verklarende woordenlijst	64

1. Einleitung	9
2. Elemente des Ästuars	11
3. Funktion des Emsästuars und Wissenslücken	15
3.1 Hydro- und Morphodynamik	15
3.2 Wasserqualität	27
3.3 Ästuarlebensräume	29
3.4 Arten im Ästuar und Funktionsweise des Ökosystems	31
3.5 Aktuelle & zukünftige Forschung	45
4. Zusammenfassung ökologischer Probleme	47
4.1 Tidebeeinflusster Flussabschnitt (Flussästuar)	47
4.2 Mittleres Ästuar und Dollart	47
4.3 Äußeres Ästuar	49
4.4 Allgemeine ökologische Probleme	49
4.5 Blick auf die grundlegenden Probleme	49
5. Aktuelle Möglichkeiten zur Verbesserung der ökologischen Situation	51
5.1 Aktuelle Möglichkeiten	51
5.2 Synthese	57
6. Literatur	58
Danksagung	63
Glossar	65

1 Introductie

Er is op dit moment brede belangstelling voor de ecologische toestand van het Eems-Dollard estuarium, die al enkele decennia als 'alarterend' wordt beschouwd (de Jonge, 1983, 2000; van der Welle & Meire, 1999; Raad voor de Wadden, 2010).

Duitse en Nederlandse overheden zijn begonnen met het ontwikkelen van een Integraal Management Plan (IMP) voor het gebied. Mede in het licht van die ontwikkeling is toegang tot alle relevante wetenschappelijke bronnen van groot belang. Maar de beschikbare kennis is niet voor iedereen gemakkelijk toegankelijk, wat mede wordt veroorzaakt doordat een deel van de informatie in de grijze literatuur is gepubliceerd.

Het Nederlandse programma 'Naar een Rijke Waddenzee (PRW)' heeft een advies van de Raad voor de Wadden (2010) opgevolgd om een samenvattend document op te stellen dat de meest urgente problemen, de oorzaken daarvan en de mogelijkheden voor ecologisch herstel in de rivier de Eems en het bijbehorende estuarium bevat. Deze samenvatting biedt de mogelijkheid om de huidige kennis over het gebied weer te geven en deze informatie toegankelijk te maken voor belanghebbenden.

Het voorliggende document behandelt daarom de volgende vragen:

- Wat is er bekend over het functioneren van het Eems-Dollard estuarium?
- Wat zijn de belangrijkste ecologische problemen in het Eems-Dollard estuarium?
- Wat zijn de oorzaken?
- Wat zijn de meest haalbare mogelijkheden voor ecologisch herstel?
- Wat zijn essentiële hiaten in de kennis rond de oorzaken en de herstelmogelijkheden?

Gezien het doel: 'kennis samenvatten en toegankelijk maken voor een breder publiek', kunnen we niet te uitvoerig in gaan op alle feiten, processen en ontwikkelingen. Waar noodzakelijk refereren we naar oorspronkelijke bronnen of verwijzen we naar overzichtsartikelen waar de lezer meer details kan vinden.



Fig. 1 Kaart van het Eems-Dollard estuarium en de in de tekst gebruikte toponiemen. Voor het doel van dit document wordt een onderscheid gemaakt in vier verschillende regio's: mondingsgebied, middendeel, Dollard en de getijdenrivier.

Alle beschikbare digitale referenties kan iedereen vinden op de internetsite (www.rijkwaddenzee.nl).

STUDIEGEBIED

Het Eems-Dollard estuarium beslaat geografisch het gebied van Borkum tot de stuw bij Herbrum (zie figuur 1). Vanuit een hydrodynamisch en hydrologisch oogpunt is het gebied echter groter en omvat het ook de delta (zeewaarts van de eilanden), de zijrivieren van de Eems en de rivier de Eems (stroomopwaarts van de stuw bij Herbrum). In dit document onderscheiden we vier verschillende regio's: het mondingsgebied, het middendeel, de Dollard en de getijdenrivier (die loopt van Knock tot aan de stuw bij Herbrum).

Overzichtsstudies die het Eems-Dollard estuarium beschrijven of de structuur en het functioneren ervan bespreken zijn: Stratingh & Venema (1855), Gerritsen (1952), Voorthuysen & Kuenen (1960), Wolf (1983), BOEDE publications (e.g. BOEDE 1985; Baretta & Ruardij 1988), Essink & Esselink (1998), van 't Hof (2006), de Leeuw (2006), de Jonge & Brauer (2006), Talke & de Swart (2006) en Schuttelaars et al. (2011). Artikelen die zich richten op mogelijkheden om de fysische condities van het Eems-Dollard estuarium te verbeteren zijn: Chernetsky et al. (2010) en Schuttelaars & de Jonge (geaccepteerd). Rapporten die zich richten op mogelijkheden om de ecologische status van het Eems-Dollard estuarium te verbeteren zijn: van der Welle & Meire (1999) en Schuchardt et al. (2009).

1 Einleitung

Aktuell gibt es ein großes und breit gefächertes Interesse am Umweltzustand des Emsästuars. Seit Jahrzehnten wird dieser Zustand als alarmierend beurteilt (de Jonge 1983, 2000, van der Welle & Meire 1999, Raad voor de Wadden 2010).

Deutsche und niederländische Behörden haben nun begonnen, für dieses Gebiet einen Integralen Managementplan (IMP) zu entwickeln. Unter diesen Voraussetzungen ist der Zugang zu allen relevanten wissenschaftlichen Informationen von größter Wichtigkeit. Dennoch bestehen große Unterschiede bezüglich der Zugänglichkeit zu den Informationsquellen. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass ein Teil der vorhandenen Informationen bisher nur in der sogenannten „grauen“ Literatur veröffentlicht wurde. Das niederländische Programm 'Naar een Rijke Waddenzee (PRW)' nahm dies zum Anlass, dem Vorschlag des Raad voor de Wadden (2010) folgend, eine Zusammenfassung der dringendsten Probleme sowie ihrer Gründe und den Möglichkeiten für eine Sanierung der Ems und ihres Ästuars zu erstellen. Diese Zusammenfassung bietet die Möglichkeit, den aktuellen Stand des Wissens darzustellen und

diese Informationen den verschiedenen Entscheidungsträgern zugänglich zu machen. Aus diesem Grund behandelt diese Veröffentlichung die folgenden Fragen:

- Was ist über die Funktion des Emsästuars bekannt?
- Was sind die größten ökologischen Probleme im Emsästuar?
- Was sind ihre Ursachen?
- Was sind die am besten realisierbaren Möglichkeiten für eine ökologische Sanierung?
- Was sind die grundlegendsten Wissenslücken die Ursachen und die Sanierungsoptionen betreffend?

Um das Ziel zu erreichen, die Informationen einem breiten Publikum zugänglich zu machen, können wir keine vollständig Beschreibung aller Fakten, Prozesse und Entwicklungen geben. Wo es möglich ist, verweisen wir auf Originalquellen oder Reviews, in denen der Leser weitere Detailinformationen finden kann. Alle verfügbaren elektronischen Referenzen sind gespeichert und im Internet unter www.rijkwaddenzee.nl abrufbar.

UNTERSUCHUNGSGEBIET

Geographisch erstreckt sich das Emsästuar von Borkum bis zum Stauwerk bei Herbrum (Abb.1). Aus hydraulischer und hydrologischer Perspektive gehören das seewärts der Barriereinseln liegende Tidedelta, die Nebenflüsse und der Fluss stromaufwärts des Stauwerkes ebenfalls dazu. Für die Verwendung in dieser Veröffentlichung unterscheiden wir vier separate Regionen: das äußere Ästuar, das mittlere Ästuar, den Dollart und den tideabhängigen Flussabschnitt (etwa von der Knock bis zum Sperrwerk Herbrum).

Veröffentlichungen, die die Struktur und Funktionsweise des Emsästuars beschreiben, diskutieren oder zusammenfassen sind z.B. Stratingh & Venema (1855), Gerritsen (1952), Voorthuysen & Kuenen (1960), Wolf (1983), BOEDE Publikationen (z.B. BOEDE 1985, Baretta & Ruardij 1988), Essink & Esselink (1998), van 't Hof (2006), de Leeuw (2006), de Jonge & Brauer (2006), Talke & de Swart (2006) und Schuttelaars et al. (2011). Zu den Veröffentlichungen, die die Perspektiven der Verbesserung der physikalischen Rahmenbedingungen beschreiben, gehören Chernetsky et al. (2010) und Schuttelaars & de Jonge (in prep.), solche, die die Perspektiven der Verbesserung des ökologischen Zustandes beschreiben, sind von der Welle & Meire (1999) und Schuchardt et al. (2009).



Abb. 1 Karte des Emsästuars mit topographischen Bezeichnungen wie im Text verwendet. Zur Verwendung in dieser Veröffentlichung unterscheiden wir vier Regionen: äußeres Ästuar, mittleres Ästuar, Dollart und tidebeeinflusster Flussabschnitt.

2 Structuur van een estuarium

Fairbridge (1980) definieert een estuarium als “een instroom van de zee in een riviermonding tot waar het getij invloed heeft, gewoonlijk onderverdeeld in drie sectoren (a) een marien of laag gelegen estuarium die een vrije verbinding heeft met de open oceaan; (b) een middendeel, dat wordt blootgesteld aan sterke vermenging van zeewater en zoetwater; en (c) een hoger gelegen of fluviatiel estuarium, dat gekarakteriseerd is door zoetwater maar dat onder invloed staat van het dagelijkse getijderitme”. De onderverdeling van het estuariene systeem in drie regionen is van belang voor de ecologie.

Gedetailleerde beschrijvingen van de structuur en het functioneren van estuaria worden gegeven door verschillende standaardwerken, zoals Belgrano et al. (2005), Dyer (1997), Levinton (2001) en McLusky & Elliott (2004). In deze sectie wordt meer algemene informatie weergegeven.

Estuaria worden gekarakteriseerd door gradiënten in zoet- en zoutwater. Diversiteit in habitats doet zich voor door combinaties van verschillende waterlichamen en getijdengebieden die verschillen in zoutgehalte, stroomsnelheid (en turbulentie) en hoogteligging. Deze combinaties creëren verschillende leefomstandigheden, in zones met verschillende zoutgraad (bijvoorbeeld zandbanken en droogvallende platen op verschillende hoogtes, ondiepe en diepe wateren en kwelders). In estuaria stroomt het water oscillerend in en uit het systeem door één enkel zeegat. Onder natuurlijke omstandigheden stroomt het water door duidelijk herkenbare vloed- en ebgeulen. Er zijn ter plaatse typische afgeleide stroompatronen te herkennen, die onder invloed staan van een combinatie van oscillerende eb- en vloedbewegingen en lokale morfologie (de Jonge 1992) en die in belangrijke mate bijdragen aan het mengen van zoet- en zoutwater (de Swart et al. 1997). Vooral de variatie in de

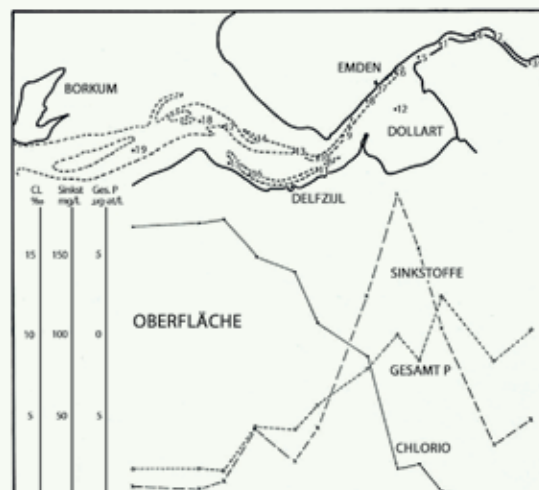


Fig. 2 De ligging van het troebelheidsmaximum in het Eems-Dollard estuarium bijna 60 jaar geleden (Postma 1960). Waarnemingen werden verricht aan het oppervlak en de ligging van de vaste meetpunten (stations) is weergegeven met cijfers in de figuur. De hoeveelheid zwevende deeltjes in de waterkolom ('sinkstoffe') en de hoeveelheid chloride ('chlorid') en het totale fosfaat gehalte (de som van de opgeloste fracte en de fractie verbonden aan zwevende deeltjes; 'gesamt p') zijn weergegeven.

hoeveelheid naar zee stromend zoetwater is bepalend voor het mengen van zoet- en zoutwater of de verdeling van water en opgeloste deeltjes (Helder & Ruurdij, 1982).

De mengzone wordt gekarakteriseerd door relatief troebel water met een bijbehorende slechte doordringbaarheid voor licht. Een gedeelte van deze zone wordt de Maximale Troebelheids Zone (MTZ), of het Estuariene Turbiditeits Maximum (ETM) genoemd. De omvang en de locatie van de MTZ hangt onder andere af van de lokale morfologie, de karakteristieken van de getijdengolf, de waterdiepte en de uitstroom van zoetwater. Het troebelheidsmaximum in het Eems-Dollard estuarium in de jaren vijftig (Postma 1960) is gebruikt als klassiek schoolvoorbeeld door McLusky (1981, zie figuur 2). Opvallend is de scherpe (maar lage) piek in de gehalten aan zwevende stof vlakbij Emden en de sterke afname in zoutconcentratie stroomopwaarts. In elke zone langs de zoutgradiënt bevindt zich een specifieke gemeenschap van organismen bestaande uit marine-, brakwater- en zoetwatersoorten. Het macrozoöbenthos in estuaria wordt, bijvoorbeeld, gekarakteriseerd door relatief weinig soorten, die in aantallen zeer algemeen kunnen zijn (McLusky 1981).

2 Elemente des Ästuars

Fairbridge (1980) definiert ein Ästuar als „einen Einschnitt des Meeres, der in ein Flusstal bis zur oberen Grenze des Tidehubs herein reicht. Gewöhnlich ist es in drei Abschnitte unterteilt: (a) das marine oder äußere Ästuar im Übergang zum Ozean; (b) das mittlere Ästuar mit starker Vermischung von Salz- und Süßwasser; und (c) das obere oder Flussästuar, das von Süßwasser dominiert ist, aber täglich dem Tideinfluss ausgesetzt ist“. Die Unterteilung des Flussmündungssystems in diese drei Regionen ist aus ökologischer Sicht von Bedeutung.

Detaillierte Beschreibungen der Struktur und Funktionsweise von Ästuaren befinden sich in verschiedenen Fachbüchern wie z.B. Belgrano et al. (2005), Dyer (1997), Levinton (2001) und McLusky & Elliott (2004). Dieser Teilabschnitt beabsichtigt nur auf allgemeiner Ebene zu informieren.

Ästuar sind charakterisiert durch Süß- und Salzwassergradienten. Die vorhandene Diversität der Lebensräume wird durch die Kombination verschiedener Wasserkörper und Tidegebiete, die in ihrer Salinität, Strömungsgeschwindigkeit (oder Verwirbelung) und ihrem Höhengniveau variieren, bedingt. Diese Kombinationen führen zur Ausbildung verschiedener Habitate in verschiedenen Salinitätszonen (z.B. Sandwatten und Schlickwatten in verschiedenen Höhen, Flach- und Tiefwasserbereiche und Salzwiesen). In tidebeeinflussten Ästuaren strömt das Wasser in oszillierender Weise ein und aus. Unter natürlichen Bedingungen fließt das Wasser durch klar abgegrenzte Flut- und Ebbkanäle. Der Einfluss der oszillierenden Tideströmungen und der lokaler Morphologie führt zu einer typisch ausgeprägten Restströmung (de Jonge 1992), die zu einer signifikanten tidalen Durchmischung führt (de Swart et al. 1997). Variationen der Süßwasserablaufmenge beeinflusst die tidale Vermischung oder Verteilung von Wasser und Schwebstoffen (Helder & Ruardij 1982).

Die Mischzone ist charakterisiert durch trübes Wasser und die dazugehörige geringe Lichtdurchdringung. Ein Teil dieses Bereiches wird als maximale Trübungszone (MTZ) oder Trübungsmaximum des Ästuars (ETM) bezeichnet. Die Ausdehnung und Lokalisierung der MTZ hängt unter anderem von der lokalen Morphologie, der Ausprägung der Tidewelle, der Wassertiefe und dem Zulaufmenge von Süßwasser ab. Das Trübungsmaximum im Emsästuar in den 1950er Jahren (Postma 1960) wurde als typisches Lehrbuchbeispiel von McLusky (1981, s. Abb. 2) verwendet. Man achte auf die deutliche (wenn auch auf niedrigem Niveau) Spitze der Sinkstoffkonzentration bei Emden und auf die starke Abnahme des Salzgehaltes flussaufwärts.

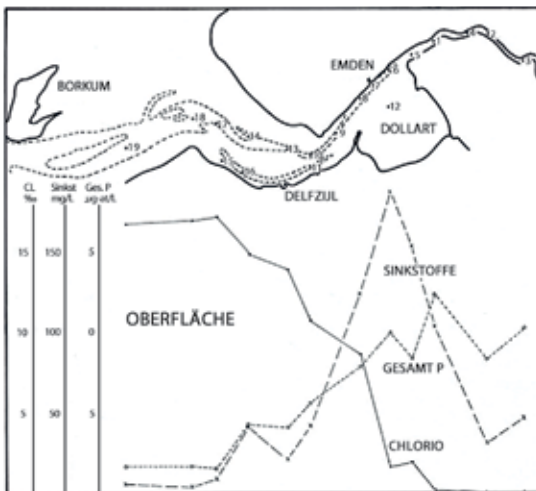
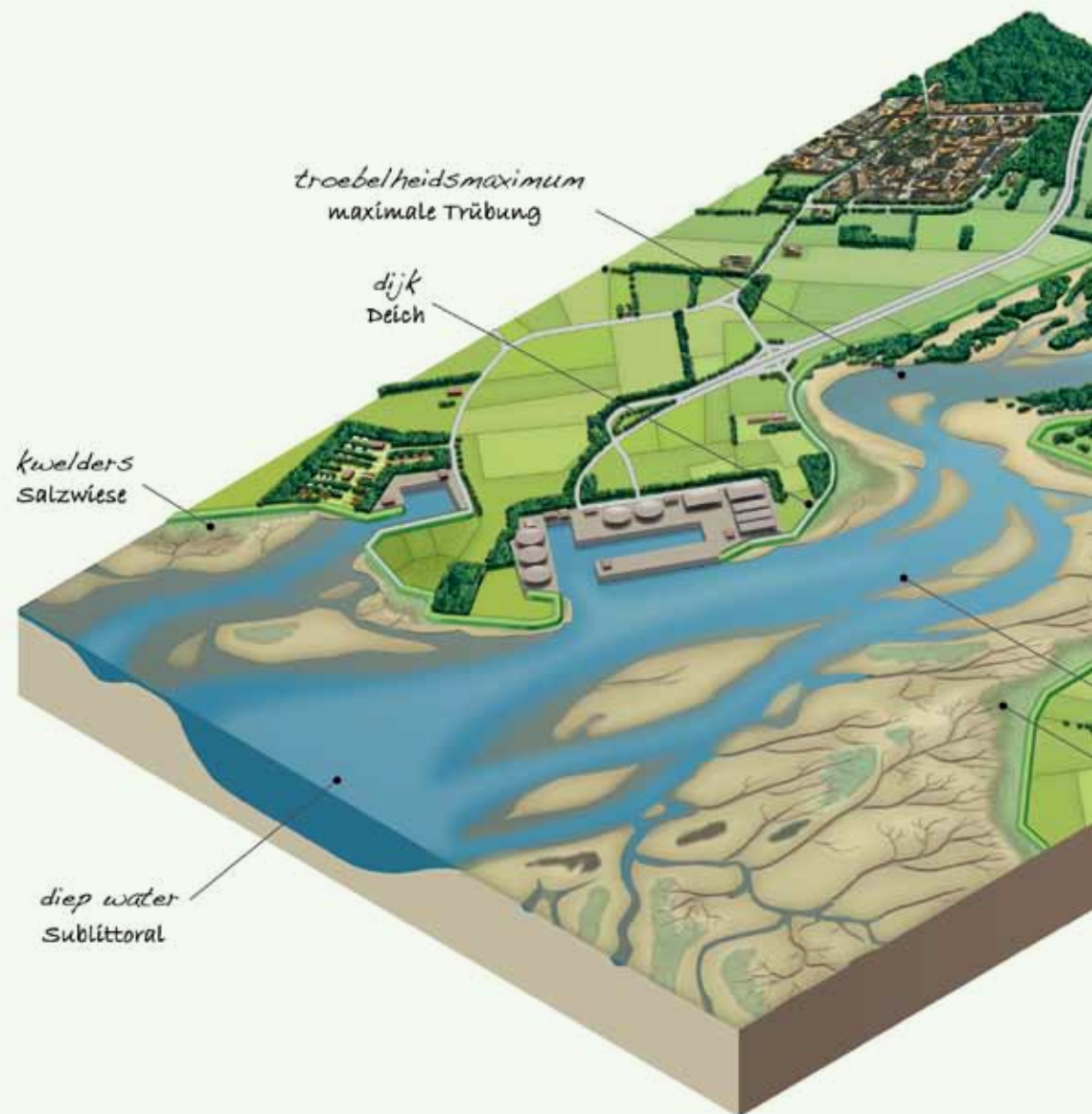


Abb. 2 Trübungsmaximum im Emsästuar, Niederlande, vor etwa 60 Jahren (Postma 1960). Beobachtungen an der Oberfläche des Ästuars wurden an den in der Karte markierten Stationen gemacht. Die Konzentration des gelösten Materials wird in der Grafik ebenso gezeigt wie die Salinität (als Chloridgehalt) und Gesamtphosphorgehalt (Summe aus dem partikulären und dem gelösten Anteil).

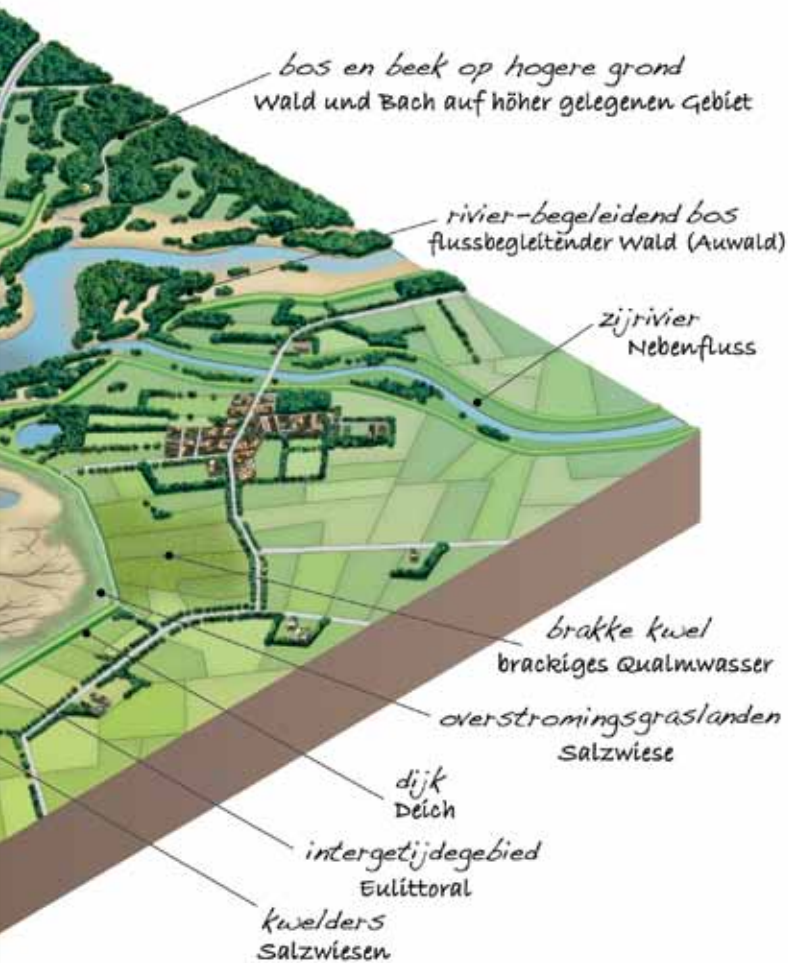
De hoge productiviteit van een estuarium is te danken aan de rijke voedselvoorziening, als gevolg van de import van aan deeltjes gebonden organische stof afkomstig uit zee, de rivier en van de lokale primaire productie die wordt gevoed door voedingstoffen afkomstig uit rivieren en ander zoetwaterbronnen (Postma, 1954, de Jonge & Postma 1974).



Box 1 Een hypothetisch estuarium: karakteristieke elementen van estuaria zijn de rivier, met de zijrivieren en meanders, een ondergelopen riviervallei (het estuarium sensu stricto) in vrije verbinding met open zee, en de habitats in verschillende saliniteitszones. Er is een grote diversiteit in deze habitats, veroorzaakt door combinaties van verschillende waterlichamen en getijdegebieden met variatie in zoutgehalte, stroomsnelheid en hoogteligging. Op veel plaatsen beïnvloedt de mens estuaria door inpoldering, infrastructuur, vaarwegverdieping, baggeren etc. Er bestaan parallellen tussen de problemen in het Eems-Dollard estuarium en andere grote estuaria in NW Europa en er is veel te leren van vergelijkingen hiertussen. In dit document is de aan andere estuaria ontleende kennis impliciet meegenomen.

Jede Zone entlang des Salinitätsgradienten ist durch eine spezifische Lebensgemeinschaft besetzt, die sich aus einer Mischung von Meeres-, Brackwasser- und Süßwasserarten zusammensetzt. Beispielsweise ist die Makrozoobenthosgemeinschaft in Ästuaren im Allgemeinen durch relativ wenige Arten charakterisiert, die auf Individuenebene in großen Zahlen vorkommen können (McLusky 1981).

Die hohe Produktivität eines Ästuars ist ein Effekt des reichen Nahrungsangebotes durch den Import von partikulärem organischem Material aus dem Meer, dem Fluss und der lokalen Primärproduktion, die durch den Eintrag von Nährstoffen aus den Flussläufen und anderen Süßwasserquellen genährt wird (Postma 1954, de Jonge & Postma 1974).



Kasten 1 Schematische Darstellung eines Ästuars: Charakteristische Elemente eines Ästuars sind der Fluss, mit seinen Verzweigungen und Mäandern, die Deltamündung (das Ästuar im weiteren Sinne) mit offener Verbindung zum Meer und die Habitats in den verschiedenen Salinitätszonen. In diesen Habitats ist durch die Kombination verschiedener Wasserkörper und Gezeitenzonen mit unterschiedlicher Salinität, Fließgeschwindigkeit und Höhenlage eine große Diversität vorhanden. Ästuare werden vielerorts durch menschlichen Einfluss wie Landgewinnung, Infrastruktur, Fahrwasservertiefung, Baggerarbeiten etc. verändert. Es gibt Parallelen zwischen den Problemen des Emsästuars und anderen großen Ästuaren in NW-Europa. In dieser Veröffentlichung wurde das Wissen aus anderen Ästuaren implizit berücksichtigt.

3 Functioneren van het Eems ecosysteem en kennishiaten

Om alle relevante aspecten van het Eems-ecosysteem te beschrijven volgen we de structuur van Deneudt et al. (2010); deze werd eerder gebruikt om een monitoringplan voor het estuarium van de Schelde te ontwikkelen. We onderscheiden vier thema's. Twee hiervan (morphodynamica en waterkwaliteit) beschrijven de basis van het systeem. De andere twee thema's spitsen zich toe op leefgebieden en de soorten die leven in deze habitats. In de volgende sectie wordt behandeld welke gegevens beschikbaar zijn in relatie tot deze thema's, wat de belangrijkste trends zijn en, indien aanwezig, wat de grootste problemen zijn.

3.1 HYDRO- AND MORPHODYNAMICA

De morfologie van elk estuarium is direct verbonden met de hydrodynamica en het ecologisch functioneren, maar is ook verbonden met veiligheidsaspecten en de waarde voor gebruik door mensen. Een cruciaal kenmerk van estuaria is sedimenttransport dat via water gaat. Het relatieve belang van sedimenttransportprocessen varieert binnen het systeem. Menselijk ingrijpen in het Eems-Dollard estuarium heeft het sedimenttransportproces (zand en slik) in de tijd beïnvloed. Daarom introduceren we eerst de morfologie van het systeem, inclusief een overzicht van de belangrijkste door de mens veroorzaakte invloeden, en geven we vervolgens een overzicht van de belangrijkste sedimenttransportprocessen.

MORFOLOGIE

De morfologische geschiedenis en de meer recente ontwikkelingen van het Eems-Dollard estuarium zijn globaal beschreven door Gerritsen (1952) en van der Welle & Meire (1999). Meer in detail vindt men een overzicht bij Talke & de Swart (2006) en Herrling & Niemeyer (2006). Het gehele huidige stroomgebied is gedefinieerd en gekarakteriseerd in NLWKN (2010) en in het Kader Richtlijn Water (KRW)-beheerplan voor het Eems-stroomgebied (Geschäftsstelle Ems 2010). Om het estuarium te kunnen begrijpen vanuit een hydromorfologisch oogpunt dient men zich te realiseren dat sedimenttransport in verschillende delen van het estuarium door verschillende processen wordt gedomineerd.



3 Funktion des Emsästuars und Wissenslücken

Um alle relevanten Aspekte des Ökosystems der Ems zu beschreiben, folgen wir der Struktur von Deneudt et al. (2010), die für einen Monitoringplan des Scheldeästuars genutzt wurde. Vier Bereiche werden unterschieden: Morphodynamik und Wasserqualität beschreiben die Basis des Systems, die anderen beiden beschäftigen sich mit den Habitaten und den Arten, die in diesen Habitaten leben. In den folgenden Abschnitten werden wir beschreiben, welche Daten bezüglich der vier Bereiche verfügbar sind, welche die wesentlichen Trends sind und wenn vorhanden, welche die grundlegenden Probleme sind.



3.1 HYDRO- UND MORPHODYNAMIK

Die Morphologie jedes Ästuars hängt direkt mit der hydrodynamischen und ökologischen Funktionsweise zusammen aber auch mit den Sicherheitsaspekten und dem Wert für die menschliche Nutzung. Ein entscheidendes Charakteristikum von Ästuaren ist der wasserabhängige Sedimenttransport. Die jeweilige Bedeutung der sedimentären Transportprozesse verändert sich innerhalb des Systems. Starker anthropogener Einfluss im Emsästuar hat die Transportprozesse des Sediments (Sand und Schlick) im Laufe der Zeit verändert. Daher stellen wir die Morphologie des Systems, einschließlich eines Überblicks über die wichtigsten anthropogenen Einflüsse, vor und geben eine Übersicht der dominanten Sedimenttransportvorgänge.

MORPHOLOGIE

Die morphologische Vergangenheit und die aktuellen Entwicklungen des Emsästuars wurden von Gerritsen (1952) und van der Welle & Meire (1999) beschrieben und weiter in die Tiefe gehend von Talke & de Swart (2006) und Herling & Niemeyer (2006) behandelt. Das derzeitige Einzugsgebiet als Ganzes ist definiert und charakterisiert in NLWKN (2010) und im Managementplan für das Emseinzugsgebiet innerhalb der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; Geschäftsstelle Ems 2010). Um das Ästuar aus hydromorphologischer Sicht zu verstehen, ist es wichtig, zu beachten, dass der Sedimenttransport in unterschiedlichen Teilen des Ästuars von verschiedenen Prozessen gelenkt wird.

Der äußere und mittlere Teil des Ästuars und der Dollart (*siehe Abb. 1*) sind stark von Wellen und Tiden beeinflusst. Insgesamt beinhalten diese Regionen im Durchschnitt 50 % Wattflächen (Eulitoral) (Boede 1985), die anderen 50 % gehören zum Sublitoral. Der Schlickgehalt des Bodens, 1990 untersucht (McLaren et al. 1998), wächst von wenigen Prozenten in den sandigen äußeren Bereichen bis auf über 75 % nahe und in der Dollartbucht (der Abschnitt südlich des Geiseleitdamms) und dem Flussästuar. Die Dollartbucht besteht aus ausgedehnten Schlickwattflächen (80 % der Fläche bedeckend). Das Gebiet wird von zwei großen Tiderinnen unterteilt. Die Wattflächen und Rinnen im Dollart vergrößerten sich vermutlich bis 1984, seitdem aber wachsen und erodieren sie abwechselnd (Esselink et al. 2011).

Het mondingsgebied, het middendeel en de Dollard (zie figuur 1) staan onder sterke invloed van golven en getijden. Gezamenlijk bestaan deze regio's voor 50% uit wadplaten (BOEDE, 1985). De overige 50% is sublittoraal. Het slibgehalte van de bodem, geïnventariseerd in 1990 (McLaren et al. 1998), neemt toe van enkele procenten in het zandige mondingsgebied tot meer dan 75% bij en in de Dollard (het gedeelte ten zuiden van de Geiseleitdamm) en de getijdenrivier. De Dollard bestaat uit grootschalige wadplaten (die 80% van het gebied bestrijken). Het gebied wordt doorsneden door twee grote geulen. De wadplaten en de geulen in de Dollard vertoonden waarschijnlijk opslibbing tot 1984, maar vertonen sinds die tijd afwisselend erosie en opslibbing (Esselink et al. 2011). De getijdenrivier is de zone tussen Knock (de entree van het 'Emder Fahrwasser') en de stuw bij Herbrum (zie figuur 1). Deze zone omvat het 'Emder Fahrwasser' dat gescheiden is van de Dollard door de Geiseleitdamm. De sedimentsamenstelling in de getijdenrivier is in de jaren '90 verschoven van voornamelijk zand naar voornamelijk slib (BfG 2008).

Herrling & Niemeyer (2006) geven een volledig overzicht van de door de mens veroorzaakte veranderingen in de morfologie van het Eems-Dollard estuarium. Grote veranderingen in de getijdenrivier hadden betrekking op het verkorten van de rivierlengte en -breedte en een toename in de waterdiepte. Het verkorten van de rivier werd veroorzaakt door de stuw bij Herbrum (1899) en door het kanaliseren, waardoor meanders werden afgesloten. De rivier werd minder breed doordat de vaarweg gedwongen werd binnen harde grenzen (dijken en leidammen) voor de kustverdediging en agrarische doeleinden (sluizen). De waterdiepte in het kanaal nam stapsgewijs toe door baggerwerkzaamheden, vooral uitgevoerd tussen 1985 en 1995 (zie tabel 1). Bij Gandersum werd een stormvloedkering gebouwd voor kustverdediging en voor maritieme doelen in 2001 - 2002. De Geiseleitdamm was oorspronkelijk gebouwd tussen 1930 en 1935, maar werd verlengd tot een 12 km lange dam van 1958 tot 1961. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden tussen de Noordzeekustzone en de haven van Emden vinden voortdurend plaats. Incidentele baggerwerkzaamheden in de getijdenrivier tot aan Papenburg zijn nodig zodra nieuwe schepen van de Meyer-scheepswerf naar zee moeten.

Tab. 1 Historische reconstructie van de stapsgewijze verdieping van de Eems ten behoeve van de scheepvaart stroomopwaarts van Emden. De waardes verwijzen naar de diepte onder gemiddeld hoogwater (Mean High Water- MHW; bron: WWF 2006).

Periode	Ingreep
1958/ 1961	aanleg van de Geiseleitdamm waardoor het 'Emder Fahrwasser' dieper werd
1984/1985	5.7 m verdieping tbv Meyer Scheepswerf (verdieping tbv 'Homeric')
1991	6.3 m verdieping tbv Meyer Scheepswerf (verdieping tbv 'Zenith')
1993	6.8 m verdieping tbv Meyer Scheepswerf
1994/1995	7.3 m verdieping tbv Meyer Scheepswerf (verdieping tbv 'Oriana')
2001	Eems-stormvloedkering ('Ems Sperrwerk') – gereed in 2002

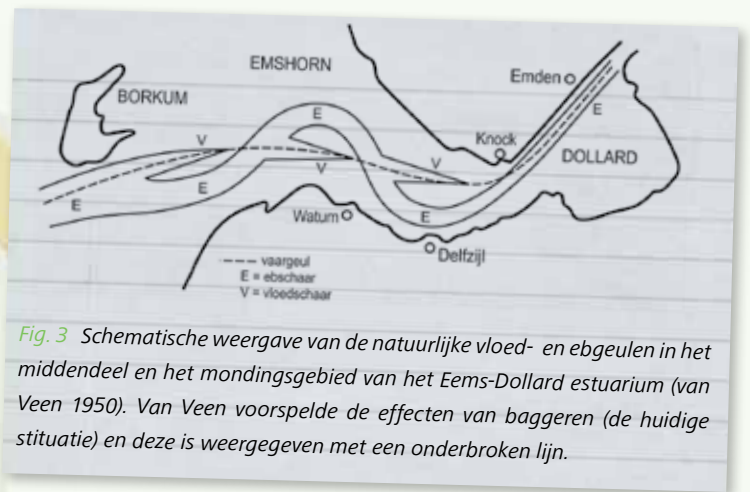


Fig. 3 Schematische weergave van de natuurlijke vloed- en ebgeulen in het middendeel en het mondingsgebied van het Eems-Dollard estuarium (van Van Veen 1950). Van Veen voorspelde de effecten van baggeren (de huidige situatie) en deze is weergegeven met een onderbroken lijn.

In het mondingsbied en in het middendeel kunnen de algemene veranderingen gekarakteriseerd worden als een stapsgewijze verwijdering van ondiepten in de vaarweg naar de Nederlandse en Duitse havens (gestart in 1898), waarbij de originele geulen, die recht werden getrokken, veranderden in de hoofdvaarweg (zie figuren 3 en 4). De ebgeul 'Bocht van Watum', oorspronkelijk de hoofdvaarweg, ontwikkelde zich tot een secundaire vaarweg met drempels aan beide einden (Herrling & Niemeijer 2008), zoals eerder voorspeld door van Veen (1950). Deze ontwikkelingen begonnen

Tab. 1 Zusammenstellung der stufenweisen Vertiefung der Tideems für die Schifffahrt oberhalb von Emden. Die Werte beziehen sich auf die Tiefe unter dem mittleren Tidehochwasser (MTHW; WWF 2006).

Zeitraum	Eingriff
1958/ 1961	Bau des Geiseleitdammes führte zu Vertiefung des Emder Fahrwassers
1984/1985	5,7 m Vertiefung zugunsten Meyer-Werft ('Homeric-Vertiefung')
1991	6,3 m Vertiefung zugunsten Meyer-Werft ('Zenith-Vertiefung')
1993	6,8 m Vertiefung zugunsten Meyer-Werft
1994/1995	7,3 m Vertiefung zugunsten Meyer-Werft ('Oriana-Vertiefung')
2001	Bau des Emssperrwerkes – fertig gestellt 2002

Das innere oder Flussästuar ist die Region zwischen Knock (Anfang des Emder Fahrwassers) und dem Sperrwerk bei Herbrum (s. Abb. 1), einschließlich dem Emder Fahrwasser, welches vom Dollart durch den Geiseleitdamm getrennt wird. Die Sedimentzusammensetzung im Flussästuar (Haupttrinne) hat sich von überwiegend sandig zu hauptsächlich schlickig verändert (BfG 2008).

Herrling & Niemeier (2006) geben einen vollständigen Überblick der anthropogenen Veränderungen der Morphologie des Emsästuars. Die hauptsächlichen Veränderungen im Flussästuar sind die Verringerung der Flusslänge und -breite und ein Zuwachs der Rinnentiefe. Die Verkürzung der Flusslänge wurde durch das Sperrwerk bei Herbrum (1899) und durch das Abschneiden von Flussmäandern verursacht. Die Breite wurde durch den Bau starrer Grenzen zum Küstenschutz (Deiche und Wellenbrecher) und zu landwirtschaftlichen Zwecken (Schopfwerke) eingeengt. Die Flusstiefe hat sich durch stufenweise Baggerarbeiten vergrößert (s. Tab. 1), am intensivsten zwischen 1985 und 1995. Bei Gandersum wurde zum Küstenschutz und aus Schifffahrtsgründen 2001-2002 ein Sturmflutwehr gebaut. Der Geiseleitdamm wurde erstmals zwischen 1930 und 1935 errichtet und 1958 bis 1961 zu einem

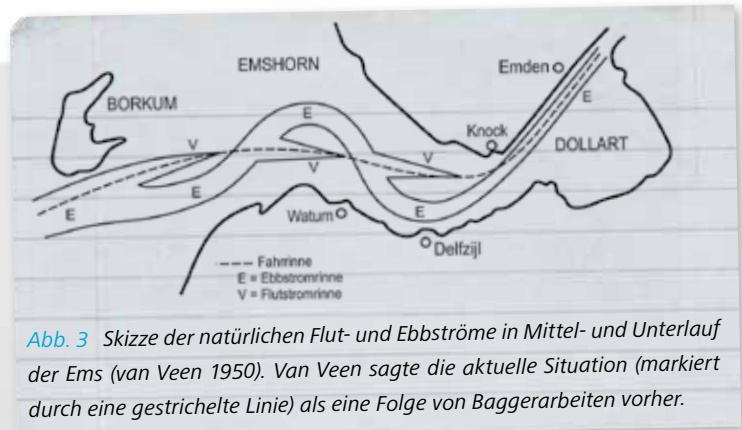


Abb. 3 Skizze der natürlichen Flut- und Ebbströme in Mittel- und Unterlauf der Ems (van Veen 1950). Van Veen sagte die aktuelle Situation (markiert durch eine gestrichelte Linie) als eine Folge von Baggerarbeiten vorher.

12 km langen Leitdamm ausgebaut. Andauernde Unterhaltsbaggerarbeiten sind zwischen der Küstenzone und dem Hafen von Emden nötig; gelegentliches Baggern im tidebeeinflussten Flussabschnitt bis Papenburg ist erforderlich, wenn neue Schiffsbauten von der Meyerwerft zur Nordsee überführt werden müssen.

Im äußeren und mittleren Ästuar können die allgemeinen Veränderungen durch die schrittweise Entfernung von Untiefen auf den Schifffahrtsstraßen zwischen den niederländischen und deutschen Häfen (beginnend 1898) beschrieben werden. Das führte zu einer Umwandlung der ursprünglichen Tide-rinnen, die begradigt wurden, in die Hauptwasserstraße (s. Abb. 3 und 4). Die Ebbrinne, Bocht van Watum', ursprünglich der Hauptschifffahrtsweg, entwickelte sich zu einer untergeordneten Rinne, die an beiden Enden versandete (Herrling & Niemeier 2008), wie von van Veen (1950) vorhergesagt. Diese Entwicklung begann bereits in den 1940er Jahren (Gerritsen 1952). Heutzutage konzentriert sich der Tidestrom auf die Haupttrinnen und hat an Stärke zugenommen (Herrling & Niemeier 2008). Um die Schifffahrtsstraßen zu unterhalten ist ununterbrochenes Baggern notwendig (de Jonge 1983 und 2000, Mulder 2004, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) 2001).

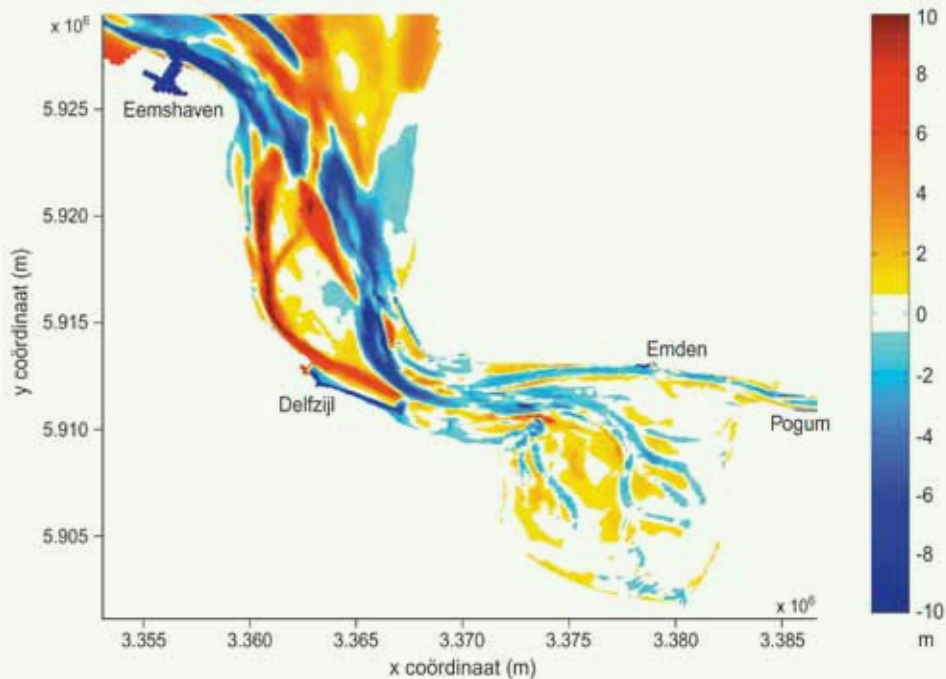


Fig. 4 Netto verdieping (blauw) en verondieping (rood) op grond van verschillen in het diepte profiel (bathymetrie) tussen 1937 en 2005 in het gebied tussen Pogum en Eemshaven (Herrling & Niemeijer, 2008). De huidige situatie is in essentie een één-geul systeem, waarbij de bevaarbare route de voormalige vloedgeul volgt.

in de jaren 1940 (Gerritsen, 1952). Tegenwoordig concentreren de getijstroom en zich in de hoofdvaarweg en zijn ze in sterkte toegenomen (Herrling & Niemeijer 2008). Voor onderhoud aan de vaarweg zijn continu onderhoudsbaggerwerkzaamheden noodzakelijk (de Jonge, 1983, 2000; Mulder, 2004; BfG- Bundesanstalt für Gewässerkunde 2001).

Samenvattend: het middendeel en het mondingsgebied zijn veranderd van een twee-geulensysteem (voor de jaren 1950) tot een in essentie één-geul-systeem tegenwoordig (figuur 4, Herrling & Niemeijer 2008). Er is een sterk verlies geweest van droogvallende platen en voorland (zie sectie 3.3). Sommige van deze veranderingen zijn al honderden jaren geleden in gang gezet, door indijking en inpolderingsactiviteiten langs de vastelandkust van de Waddenzee en in de Dollard, volgend op het ontstaan daarvan rond 1600 (Groenendijk & Bärenfänger 2008). Van recentere datum is de bodemdaling door gaswinning: deze bedraagt enkele decimeters in het deel van het estuarium in de buurt van Delfzijl (maximaal 25 cm tot 2009, NAM 2010). Sterke sedimentbewegingen (van hoofdzakelijk slib) compenseren grotendeels de effecten van de bodemdaling (Cleveringa 2008). De morfologische veranderingen (vooral in het mondingsgebied) zijn erg ingewikkeld en worden nog niet goed begrepen. Ze zijn deels veroorzaakt door mensen en deels van natuurlijke oorsprong. De veranderingen vinden in ruimte en tijd op een grote schaal plaats (Samu, 1979).

HYDRODYNAMICA EN SEDIMENTTRANSPORT IN DE GETIJDENRIVIER

Het getijverschil in de getijdenrivier is significant toegenomen en de getijdencurve heeft een meer asymmetrische vorm gekregen dan voorheen. Deze veranderingen in de hydraulische karakteristiek zijn beschreven door Talke & de Swart (2006) en van Maren (2010). De kennis van de fysica van de rivier de Eems is over de afgelopen jaren substantieel verbeterd door recent werk van Talke & de Swart (2009a,b), Chernetsky et al. (2010), Winterwerp (2010) en Schuttelaars et al. (2011). Eerst worden de waargenomen veranderingen in zowel de hydrodynamica als de sedimentconcentraties besproken. Vervolgens vatten we verklaringen voor de waargenomen verschijnselen samen, zoals die zijn te vinden in de bovengenoemde literatuur.

Er heeft een zeer sterke toename in de omvang van het getijverschil plaatsgevonden in de getijdenrivier stroomopwaarts van Emden (Herrling & Niemeijer, 2008). De ruimtelijke variatie in het getijverschil was in het verleden behoorlijk stabiel, met een piek dichtbij Emden tot aan 1940 (gemiddelde jaarlijkse range -MAR- circa 3 m) geleidelijk afnemend in de richting van Herbrum (<1 m). Sinds 1950 is er een toename in het getijverschil vanaf Emden. Het getijverschil piekt nu ter hoogte van Papenburg (met een MAR=3,5 m, terwijl het 1,7 m was in de jaren 1930, Herrling & Niemeijer 2008). Hoewel deels

Zusammengefasst haben sich die äußeren und mittleren Ästuarbereiche von einem Zwei-Rinnen-System vor 1950 im Wesentlichen zu einem Ein-Rinnen-System jetzt verändert (Abb. 4 Herrling & Niemeijer 2008). Im Laufe der Zeit gab es einen starken Verlust von Wattflächen und Bereichen der Spritzwasserzone (s. Abschnitt 3.3). Einige dieser Veränderungen begannen vor Jahrhunderten und sind die Folge von Eindeichungen und Landgewinnung an der Wattenmeerküste und im Dollart, infolge ihrer Gestaltung und Errichtung im 16. Jahrhundert (Groenendijk & Bärenfänger 2008). Neuerem Ursprungs ist die Bodenabsenkung durch den Gasabbau, die einen Umfang von mehreren Dezimetern in Teilen des Ästuars rund um Delfzijl angenommen hat (maximal 25 cm bis 2009, NAM 2010). Aber starke Sedimentbewegungen (hauptsächlich Schlick) kompensieren größtenteils den Effekt der Absenkungen (Cleveringa 2008). Die morphologischen Veränderungen (speziell im äußeren Ästuar) sind sehr komplex und noch nicht vollständig verstanden. Sie sind teilweise anthropogenen und teilweise natürlichem Ursprungs. Die Veränderungen verlaufen in einem großen räumlichen und zeitlichen Rahmen (Samu 1979).

HYDRODYNAMIK UND SEDIMENTTRANSPORT IM FLUSSÄSTUAR

Der Tidenhub im Flussästuar hat signifikant zugenommen und der Tidenverlauf wurde asymmetrischer als zuvor. Diese Veränderungen der hydraulischen Merkmale geben Talke & de Swart (2006) und van Maren (2010) wieder. Unser Verständnis der Physik in der Ems hat sich in den letzten Jahren bis zu den aktuellen Arbeiten von Talke & de Swart (2009a, b), Chernetsky et al. (2010), Winterwerp (2010) und Schuttelaars et al. (2011) grundsätzlich verbessert. Zunächst geben wir einen Überblick über die beobachteten Veränderungen sowohl bezüglich der Hydrodynamik als auch der Sedimentkonzentration und geben dann Erklärungen für die beobachteten Phänomene, die in der oben erwähnten Literatur vorgestellt werden.

Eine starke Zunahme des Tidehubs erfolgte im Flussästuar oberhalb von Emden (Herrling & Niemeijer 2008). Seit dem Jahr 1940 war die räumliche Variation im Tidenhub in etwa stabil mit einer Spitze nahe Emden (mittlerer Tidenhub (TH) etwa 3 m) und wurde dann allmählich Richtung Herbrum (< 1 m) kleiner.

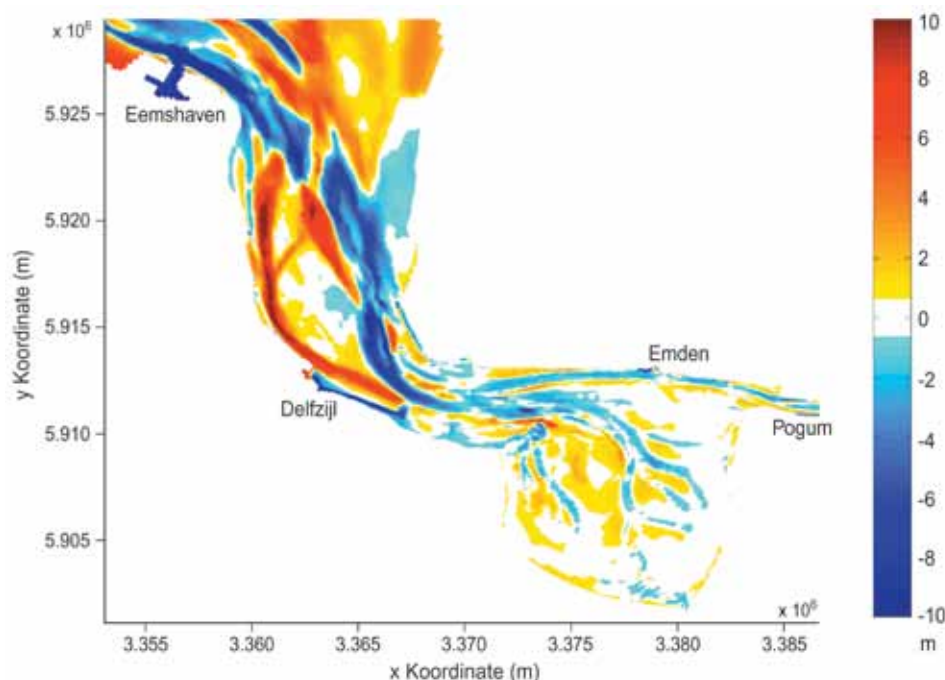


Abb. 4 Netto erosion (blau) und Netto ablagerung (rot) zwischen den bathymetrischen Untersuchungen 1937 und 2005 im Wasserkörper zwischen Pogum und Eemshaven (Herrling & Niemeijer 2008). Die aktuelle Situation ist im Wesentlichen ein Ein-Rinnen-System, in dem das Hauptfahrwasser den ehemaligen Flutkanälen folgt.

als gevolg van een toegenomen hoogwaterstand, wordt deze toename in getijverschil primair veroorzaakt door significant lagere laagwaterstanden (Herrling & Niemeyer, 2008). De toename in de gemiddelde hoogwaterstand heeft het gebied rond de getijdenrivier kwetsbaarder gemaakt voor stormvloeden (Herrling et al. 2001; Talke & de Swart 2006), terwijl de sterke afname in het gemiddelde laagwater en de toename in gemiddeld hoogwater een significante invloed hebben gehad op bijvoorbeeld de omvang en de verdeling van estuariene leefgebieden (van der Welle & Meire 1999; Herrling & Niemeyer 2006; Schuchardt & Scholle 2009) en hiermee waarschijnlijk ook op de biodiversiteit.

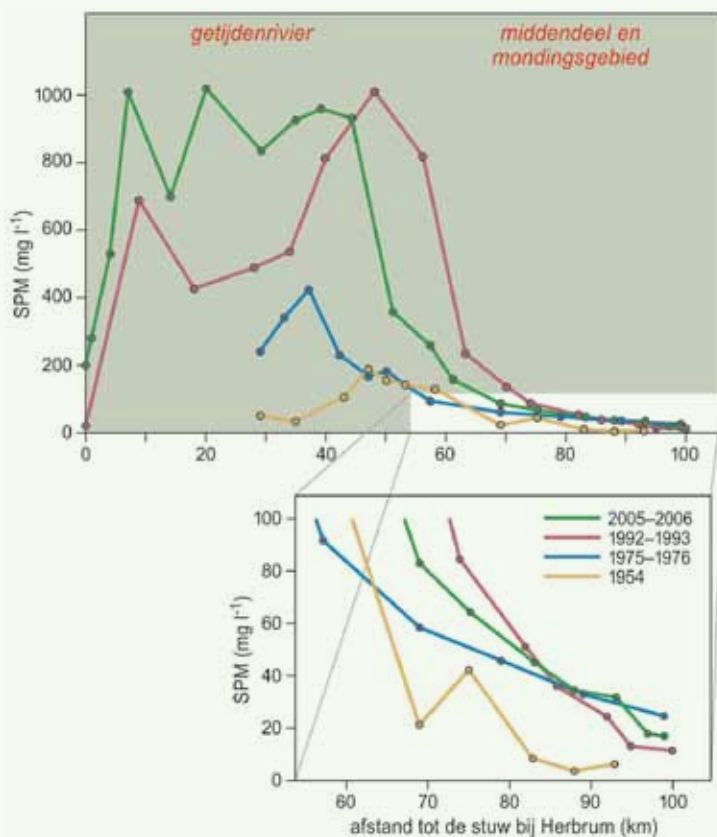


Fig. 5 Het verloop van de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid zwevende deeltjes in de waterkolom (SPM) tussen Herbrum and Borkum (bovenste figuur) en in detail tussen Emden and Borkum (inzet). Verschillende lijnen zijn gegeven voor de jaren 1954 (Postma 1960), 1975–1976 (de Jonge 1983), 1992–1993 (metingen door van Beusekom & de Jonge) en 2005–2006 (metingen door de Jonge). Artikel in voorbereiding door de Jonge et al. De figuur geeft weer dat de concentratie aan zwevende deeltjes en de omvang van de maximale troebelheidszone zijn toegenomen. Het zwaartepunt van de maximale troebelheidszone heeft zich stroomopwaarts verplaatst.

Er zijn geen directe waarnemingen aan de veranderingen in stroomsnelheden beschikbaar. Herrling & Niemeyer (2008) gebruikten diepteprofielen van 1937 en 2005 voor een beter begrip van de veranderingen in de hydrodynamica. Hun studie suggereert dat de vloedstroomsnelheid in deze periode verdubbelde (en de ebstroomsnelheid gelijk bleef), terwijl in 1937 de eb- en vloedstroomsnelheden zeer vergelijkbaar waren. Dit werd veroorzaakt door een toename van het getijverschil en een toename in de asymmetrie van de getijdecurve. De troebelheid van de getijdenrivier nam dramatisch toe over de afgelopen decaden (zie figuur 5). Het Eems-Dollard estuarium was oorspronkelijk een lichttroebel estuarium, met een troebelheidspiek nabij het wateroppervlak van ca. 150 mg zwevende deeltjes (SPM) per liter, gelokaliseerd op de overgangszone van zout- naar zoetwater (Postma 1960). Tegenwoordig worden concentraties aan zwevende deeltjes gemeten van enkele grammen per liter. De meest duidelijke toename vond plaats in de periode 1980-90, volgend op een stapsgewijze toename van de waterdiepte in de rivier de Eems tussen Emden en Papenburg. Vloeibaar slib ('fluid mud') werd in de jaren 1990 ontdekt (Bezirksregierung Weser-Ems, 1998; Jager 1999; Schrottke & Bartholomä 2008). Eerst incidenteel en daarna permanent. Het komt alleen voor in de getijdenrivier. De oorzaak achter het verschijnen van vloeibaar slib is niet geheel duidelijk. Men is het echter wel eens dat de vloeibare slib-afzettingen zorgen voor een afname van de ruwheid van de bodem en dat vervolgens de getijden hierdoor significant worden beïnvloed. De terugkoppeling tussen de getijde-asymmetrie en het sedimenttransport is echter ingewikkeld en er zijn diverse verklaringen gegeven voor de toename van de troebelheid. Overzichten en analyses vanuit verschillende gezichtspunten geven Talke & de Swart (2006), Winterwerp (2010) en Schuttelaars et al. (2011).



Seit 1950 entwickelte sich eine Zunahme des Tidenhubs von Emden aufwärts. Der Tidenhub erreicht nun seinen Spitzenwert in Papenburg (mit TH = 3,5 m, der früher in den 1930er Jahren 1,7m betrug; Herrling & Niemeijer 2008). Obwohl dies zum Teil eine Folge höherer Hochwasser ist, ist diese Zunahme des Tidenhubs vorrangig ein Ergebnis der signifikant geringeren Niedrigwasserstände (Herrling & Niemeijer 2008). Die Zunahme der mittleren Hochwasserstände hat den inneren Teil des Emsästuars empfindlicher gegenüber Sturmfluten gemacht (Herrling et al. 2001; Talke & de Swart 2006), während der starke Rückgang des mittleren Niedrigwasserstandes und die Zunahme des Hochwasserstandes einen signifikanten Einfluss z.B. auf die Größe und Verteilung von Ästuarlebensräumen (van der Welle & Meire 1999; Herrling & Niemeijer 2006; Schuchardt & Scholle 2009) und vermutlich auf die Biodiversität haben (Schuchardt 1995).

Direkte Beobachtungen zu den Änderungen der Fließgeschwindigkeit stehen uns nicht zur Verfügung. Herrling & Niemeijer (2008) verwendeten die Bathymetrie von 1937 und 2005 um die Veränderungen in der Hydrodynamik zu verstehen. Ihre Untersuchung ergab, dass die Flutstromgeschwindigkeit sich in dieser Zeit verdoppelt hat (während die Ebbstromgeschwindigkeit dies nicht tat). Die Geschwindigkeiten von Ebbe und Flut waren 1937 etwa gleich. Die Veränderung ergibt sich aus der Zunahme der Tidenamplitude und aus der zunehmenden Asymmetrie der Tiden.

Die Trübung im Flussästuar hat in den vergangenen Jahrzehnten dramatisch zugenommen (s. Abb. 5). Das Emsästuar war früher ein mäßig getrübbtes Tideästuar, mit einer Trübungsspitze nahe der Wasseroberfläche von etwa 150 mg gelöstem Material (SPM) pro Liter, angesiedelt im Übergang vom Salz zum Süßwasser (Postma 1960). Heute sind Konzentrationen

von mehreren Gramm SPM je Liter dokumentiert. Die am deutlichsten sichtbare Zunahme fand in der Zeit von 1980 bis 1990 statt, als Folge der schrittweisen Zunahme der Wassertiefe zwischen Emden und Papenburg. Flüssiger Schlick („fluidmud“) wurde in den 1990er Jahren entdeckt (Bezirksregierung Weser-Ems, 1998; Jager 1999; Schrottke & Bartholomä 2008): zunächst gelegentlich und später dauerhaft. Dieses Phänomen trat nur im Flussästuar auf. Der Grund für das Auftreten von flüssigem Schlick ist bislang nicht geklärt. Jedenfalls gibt es die Erkenntnis, dass die Flüssig-Schlickablagerungen sehr stark die Bodenrauheit vermindern und dass die Tiden danach eindeutig vom Flüssig-Schlick beeinflusst werden. Die Resonanz zwischen

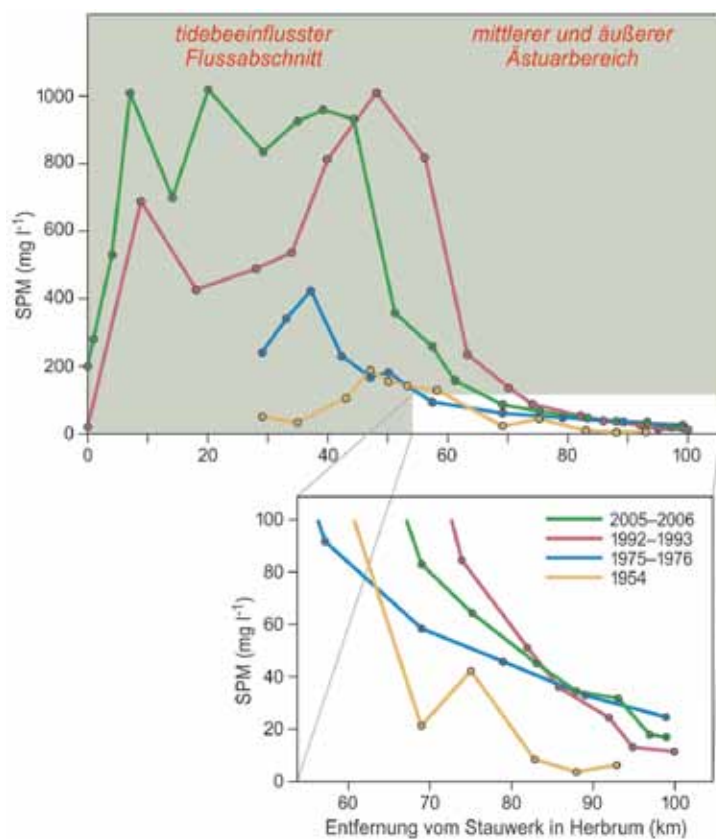


Abb. 5 Jahresmittelwerte der Schwebstoffe (SPM) als Funktion der Entfernung vom Stauwerk in Herbrum. Die Linien zeigen die Werte für die Jahre 1954 (Postma 1960), 1975-1976 (de Jonge 1983), 1992-1993 (Messungen von van Beusekom & de Jonge) und 2005-2006 (Messungen von de Jonge) für das Gebiet zwischen Herbrum und Borkum (oberes Diagramm) und im Detail für das Gebiet zwischen Emden und Borkum (unteres Diagramm). Veröffentlichung in Vorbereitung von de Jonge et al. Die Abbildung zeigt die Zunahme der Schwebstoffkonzentration sowie die Ausdehnung der maximalen Trübungszone (MTZ). Das Zentrum der MTZ hat sich flussaufwärts verlagert.

Hoe precies de getijdenrivier veranderde van de oorspronkelijke situatie in de huidige troebele toestand is onbekend. Verschillende mechanismen kunnen resulteren in een toegenomen sedimenttransport stroomopwaarts. Uit de gegevens in figuur 5 blijkt dat de overheersende processen van transport en afzetting van het slib in de getijdenrivier veranderd zijn in de loop der tijd. Chernetsky et al. (2010) laten zien dat het zeer aannemelijk is dat het stroomopwaarts transport door getijdeasymmetrie en dichtheidsstroming in balans was met het stroomafwaartse transport door de rivier, voordat de verdiepingen plaatsvonden. De hoogste mate van troebelheid vond in de jaren 1950 plaats aan het front van de zoutwaterinstroom (zie figuur 2). Vlak voordat de belangrijkste vaargeulverdiepingen aanvingen, midden jaren 1980, was de rivierbedding waarschijnlijk nog steeds hoofdzakelijk zandig (BfG 2008). Het huidige stroomopwaartse sedimenttransport wordt waarschijnlijk gedomineerd door getijdeasymmetrie in de stroomsnelheden, zo is de tegenwoordige zienswijze, mede gebaseerd op het werk van Chernetsky et al. (2010). Wanneer deze veranderingen precies plaatsvonden is nog steeds erg onduidelijk maar het is onderwerp van studie. Winterwerp (2011) beargumenteerde dat het eerder genoemde proces verder versterkt wordt door asymmetrie in de grootte van slib klontjes (en daarmee op de bezinksnelheid), die ook afhankelijk is van de stroomsnelheden.

Daarbij speelt een sedimentgedreven dichtheidsstroming een rol (Talke et al. 2009), dat het sediment verder in stroomopwaartse richting kan verplaatsen. Tegenwoordig wordt het systeem gekarakteriseerd door vloeibare sliblagen van twee (of meer) meters dik op de bodem, met een concentratie van meer dan 10 g/l (Talke et al. 2009a). Deze vloeibare sliblagen verplaatsen zich stroomop- en stroomafwaarts met het tij (Talke et al, 2009a). Ook verplaatsen de vloeibare sliblagen zich binnen seizoenen; daarbij treedt stroomafwaartse verplaatsing op in perioden van piekafwatering van de rivier (van Leussen 1994). Processen zoals 'settling lag' en 'scour lag', ideeën geopperd door van Straaten & Kuenen (1957) en Postma (1961), dragen ook bij aan een netto stroomopwaarts transport.

In combinatie met de effecten van de vaargeulverdieping, zoals hierboven omschreven, heeft ook de exacte locatie van de stuw bij Herbrum een sterke invloed op het systeem (Schuttelaars et al. 2011; Schuttelaars & de Jonge, geaccepteerd); de actuele lengte, diepte en hydraulische ruwheid van de getijdenrivier zijn van dien aard dat 'resonantie' optreedt, wat in sterke mate bijdraagt aan versterking van de getijdegolf over de rivier. Een recent door Chernetsky et al. (2010) en Schuttelaars et al. (2011) ontwikkeld ideaal-model voor deze situatie laat zien dat deze resonantie belangrijke gevolgen kan hebben voor zowel de ligging, als de omvang van de maximale troebelheids zone (MTZ).



dem asymmetrischen Tidenverlauf und dem Sedimenttransport ist komplex und daher gibt es verschiedene Erklärungen für die Zunahme der Wassertrübung. Zusammenfassungen und Analysen von verschiedenen Standpunkten aus geben Talke & de Swart (2006), Winterwerp (2010) und Schuttelaars et al. (2011).

Wie genau sich das Flussästuar von der ursprünglichen Situation zu dem derzeitigen Trübungszustand entwickelte, ist unbekannt. Mehrere Mechanismen können zu einem stärkeren Sedimenttransport flussaufwärts geführt haben. Abb. 5 zeigt deutlich, dass sich die vorherrschenden Schlicktransport- und Ablagerungsprozesse im Flussästuar im Laufe der Zeit verändert haben. Chernetsky et al. (2010) zeigt, dass es wahrscheinlich ist, dass vor den Vertiefungen der flussaufwärtige Transport durch Tideasymmetrie und Gravitationsumlauf den flussabwärtigen Transport durch den Stromabfluss ausglich. Die stärkste Trübung fand in den 1950er Jahren im Bereich der Salzwasserdurchmischung ein (s. Abb. 2). Vor dem Beginn der Hauptvertiefungen in den 1980er Jahren war das Flussbett vermutlich noch vorwiegend sandig (BfG 2008). Wann die Veränderungen auftraten, ist noch absolut unklar und wird untersucht. Zurzeit wird, basierend auf der Arbeit von Chernetsky et al. (2010), der flussaufwärtige Sedimenttransport sehr wahrscheinlich durch die Tidenasymmetrie der Stromgeschwindigkeit beherrscht. Winterwerp (2011) argumentiert weiter, dass der oben erwähnte Prozess weiter durch eine Asymmetrie der Größe von

Schlick-Flocken (und damit die Sinkgeschwindigkeit) verstärkt wird, die ebenfalls von der Strömungsgeschwindigkeit abhängt.

Zusätzlich spielt der sedimentbedingte gravitative Transport eine Rolle (Talke et al. 2009), der das Sediment weiter in flussaufwärtige Richtung verteilt. Heute ist das System geprägt von flüssigen Schlickschichten von 2 Metern Dicke oder nahe dem Grund, mit einer Konzentration von mehr als 10g/l (Talke et al. 2009a). Diese flüssige Schlickschicht wandert mit den Tiden flussauf und flussab (Talke et al. 2009a) aber auch saisonal mit dem flussabwärtigen Spülen der flüssigen Schlickschichten während der höchsten Flusswasserstände (van Leussen 1994). Prozesse wie die Verlagerung des Absetzens und Ausspülens des Sediments, nach Ideen von Straaten & Kuenen (1957) und Postma (1961), tragen ebenfalls zum flussaufwärtigen Nettotransport bei.

In Kombination mit den Vertiefungseffekten, wie oben beschrieben, nimmt auch die Lage des Sperrwerkes bei Herbrum starken Einfluss auf das System (Schuttelaars et al. 2011; Schuttelaars & de Jonge, in prep.). Die aktuelle Länge, Tiefe und hydraulische Rauheit des Flussästuars bewirken das Auftreten einer ‚Resonanz‘, die stark zu einer Vergrößerung der Tidewelle im Fluss beiträgt. Ein aktuell von Chernetsky et al. (2010) und Schuttelaars et al. (2011) entwickeltes Modell für diese Situation zeigt, dass diese Resonanz möglicherweise wichtige Folgen für die Lage als auch für die Ausdehnung der Zone mit der stärksten Trübung (MTZ) hat.



HYDRODYNAMICA EN SEDIMENTTRANSPORT IN HET MIDDENDEEL EN HET MONDINGSGBIED

Processen van sedimenttransport in het middendeel en het mondingsgebied maar ook in de Dollard zijn afhankelijk van golven, getijden, dichtheidsstroming, bioturbatie en biostabilisatie (de Jonge 1995, de Jonge & van Beusekom 1995, Kornman en de Deckere, 1998), maar ook van ingrepen door mensen zoals baggerwerkzaamheden (de Jonge 1983) en het storten van sediment. De wind heeft in het mondingsgebied en in de Dollard een duidelijk effect op de balans van erosie-sedimentatie en hiermee op de verdeling van zwevende deeltjes in de waterkolom (de Jonge 1995). De combinatie van deze processen leidt tot verschillen in de gemiddelde waarde van de sedimentconcentraties en tot duidelijke variatie in sedimentconcentraties in relatie tot de getijdencyclus, de springtij-doodtij-cyclus en de seizoenscyclus (Habermann 2006). In het middendeel en het mondingsgebied is de troebelheid toegenomen tussen 1954 en 2008 (zie figuur 5). Deze bevindingen worden ondersteund door monitoringsgegevens van Rijkswaterstaat (figuur 6) en observaties van geselecteerde meetstations door van Maren (2010); Esselink

et al. (2011) en Merkelbach & Eysink (2001). Merkelbach en Eysink (2001) schatten een toename van 30-60 mg/l voor zes meetstations van het Oost-Friesche Gaatje tot Groote Gat Noord. Dit is een sterke toename ten opzichte van de gemiddelde concentratie van 100mg/l bij Delfzijl. Sinds 1991 worden metingen op deze stations uitgevoerd op identieke momenten in relatie tot de getijdencyclus; data van deze meetstations zijn weergegeven in figuur 6. De onderliggende processen die deze toename in sedimentconcentratie veroorzaken worden nu nog niet goed begrepen. De heersende opvatting is echter dat de hierboven genoemde effecten van mensenwerk, die resulteerden in grotere getijdenvolumes en sterkere getijde-asymmetrie, het meest belangrijk zijn.

Tussen 1992 en 2009 is gemiddeld 0.7 miljoen m³ per jaar aan baggermateriaal gestort in de Dollard (Esselink et al. 2011): dit kan ook tot hogere sedimentconcentraties leiden. De hoeveelheden zijn echter laag in vergelijking met het longitudinale en laterale bruto sedimenttransport in het gebied (de Jonge 1995; Mulder & Mijwaard 1997; Esselink et al. 2011).

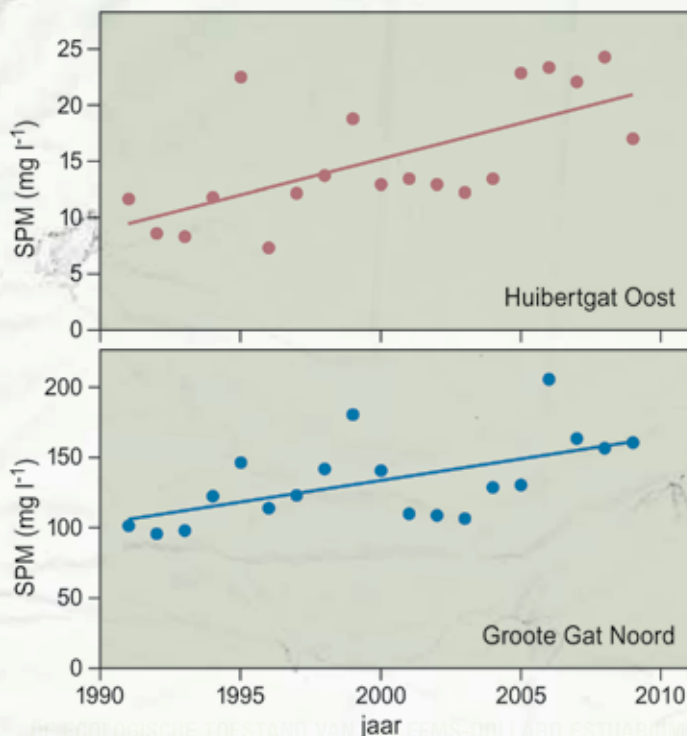


Fig. 6 De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid zwevende deeltjes in de waterkolom (SPM) bij Borkum (Huibertgat Oost) en in het noordelijke deel van de Dollard (Groote Gat Noord) als een functie van de tijd (in jaren) monitoringsgegevens (DONAR) Rijkswaterstaat, 1991-2009.

HYDRODYNAMIK UND SEDIMENTTRANSPORT IM ÄUßEREN UND MITTLEREN ÄSTUAR

Die Vorgänge des Sedimenttransports im mittleren und äußeren Ästuar sowie im Dollart hängen von Wellen, Tiden, gravitativer Zirkulation, Bioturbation und Biostabilisierung (de Jonge 1995, de Jonge & van Beusekom 1995, Kornman & de Deckere 1998) ebenso ab wie von anthropogenen Prozessen wie z. B. Baggerarbeiten (de Jonge 1983) und Verklappung. Für das äußere Ästuar und den Dollart hat der Faktor Wind einen ausgeprägten Einfluss auf das Gleichgewicht von Erosion und Sedimentation und damit auf die Schwebstoffverteilung in der Wassersäule (de Jonge 1995). Die Kombination all dieser Prozesse führt zu einer deutlichen Variation der Sedimentkonzentration im Verlauf von Tide-, Spring- und Nipptiden- und saisonalen Zyklen (Habermann 2006) und zu Unterschieden im Mittelwert der Schwebstoffkonzentration.

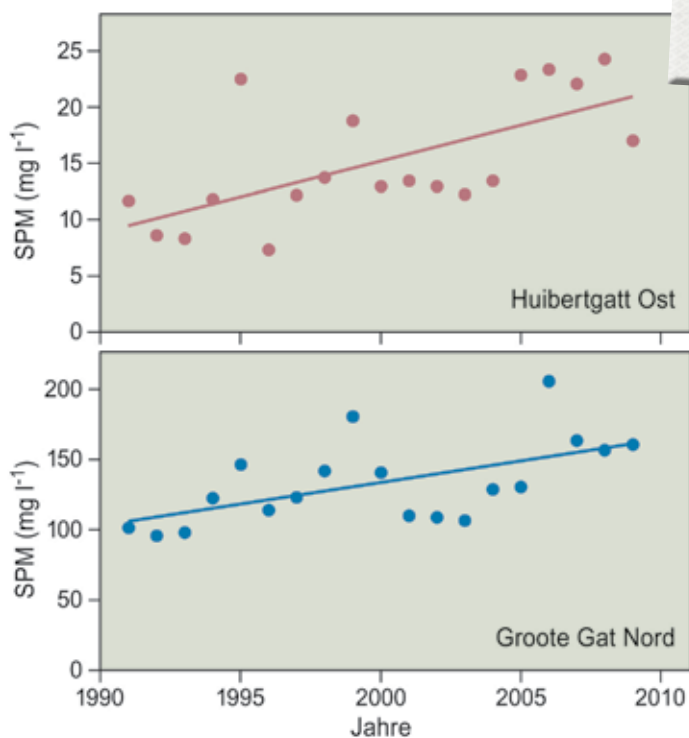


Abb. 6 Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration (SPM) bei Borkum (Huibertgat Ost) und im nördlichen Teil des Dollarts (Groote Gat Nord), Monitoringdaten (DONAR) Rijkswaterstaat aus den Jahren 1991-2009. Die Jahresmittelwerte basieren auf monatlichen Probenahmen zu einem standardisierten Zeitpunkt im Tidenzyklus. Berechnungen von de Jonge.



Die Trübung im mittleren und äußeren Ästuar hat in den Jahren 1954 bis 2008 zugenommen (s. Abb. 5). Diese Erkenntnisse werden von den Monitoringergebnissen des Rijkswaterstaat (Abb. 6) gestützt als auch durch Untersuchungen an ausgewählten Stationen von van Maren (2010), Esselink et al. (2011) und Merkelbach & Eysink (2001). Merkelbach & Eysink (2001) schätzen eine Zunahme von 30 bis 60 mg/l über sechs Stationen vom Oost-Friesche Gaatje bis zum Groote Gat Noord. In Hinblick auf die mittlere Konzentration von 100 mg/l bei Delfzijl ist das sehr viel. Seit 1991 wurden Messungen an diesen Stationen immer zur selben Zeit im Verhältnis zum Tidenstand durchgeführt. Daten von zweien der Stationen sind in Abb. 6 dargestellt. Die Gründe für die oben erwähnte Zunahme der Sedimentkonzentration sind bis jetzt noch nicht vollständig geklärt. Jedoch ist die allgemeine Meinung, dass die oben geschilderten anthropogenen Effekte, die zu größeren Tidevolumen und stärkerer Asymmetrie der Tiden geführt haben, die wichtigsten sind.

Von 1992 bis 2009 wurden durchschnittlich 0,7 Millionen Kubikmeter Baggermaterial pro Jahr im Dollart verklappt (Esselink et al. 2011), was ebenfalls zu einer höheren Sedimentkonzentration beigetragen haben mag. Die Mengen sind jedenfalls gering verglichen mit der Rate des Gesamtsedimenttransports aus verschiedenen Richtungen in dem Gebiet (de Jonge 1995; Mulder & Mijwaard 1997; Esselink et al. 2011).

3.2 WATERKWALITEIT

Relevante parameters die volgens nationale en internationale standaarden de waterkwaliteit bepalen zijn: zuurstofgehalte, saliniteit, nutriënten, organische materiaal, licht, temperatuur en giftige stoffen (Deneudt et al. 2010). Elk van deze parameters is van belang voor het functioneren van een ecosysteem. Licht en nutriënten zijn essentiële bronnen voor algengroei, temperatuur is een algemene parameter die de snelheid van processen bepaalt, saliniteit speelt een belangrijke rol als determinant voor het voorkomen van soorten, giftige stoffen hebben een negatieve invloed op het functioneren van een ecosysteem en organisch materiaal vormt substraat waarin aerobe bacteriën kunnen leven. Zuurstofgehalten kunnen significant afnemen als de mate van zuurstofopname lager is dan die van de zuurstofconsumptie door deze bacteriën. De monitoring van deze parameters is omschreven in NLWKN (2010; RWS (2009) en besproken in Bakker et al. (2009); Becker & Dittmann (2009); van Beusekom et al. (2009) en Schuchardt & Scholle (2009). Volgens de criteria van de Kader Richtlijn Water (KRW) was de kwaliteit van het water in 2009 in de getijdenrivier 'slecht' en in de rest van het estuarium 'matig' (NLWKN 2010).

De toename aan zwevende deeltjes in de getijdenrivier heeft het doorzicht dramatisch beïnvloed. Dit is vooral zo in de zone met zoetwater, waar normaliter de concentratie zwevende deeltjes relatief laag en de primaire productie per eenheid oppervlakte hoog was (Schuchardt & Schirmer 1991). De veranderende concentratie aan zwevende deeltjes (SPM) verder stroomafwaarts in het mondingsgebied moet echter ook de voedselbeschikbaarheid voor het gehele estuarium negatief beïnvloed hebben (dit wordt besproken in sectie 3.4 over primaire productie). De toename van de concentratie zwevende deeltjes beïnvloedt, los van de effecten op de primaire productie, ook organismen hoger in de voedselketen, bijvoorbeeld omdat het filtratieapparaat van schelpdieren, of de kieuwen van vissen, geblokkeerd kunnen raken, of omdat het doorzicht afneemt.

De minimale zuurstofconcentratie is tussen Papenburg en Leer afgenomen van 8 mg/l in 1980 (van der Welle & Meire 1999) tot 0 mg/l sinds begin van de jaren 2000 (figuur 7). Daarnaast heeft het zuurstoftekort in het gebied zich uitgebreid in ruimte en tijd (zie figuur 7 en Engels 2007). Dit verslechtert de leefomstandigheden van veel organismen (zie onder).

Wat metalen en macronutriënten (stikstof en fosfaat) betreft is de toevoer vanuit de rivier kwantitatief het belangrijkste. Voor aan deeltjes gebonden fosfaat is er ook een grote toevoer vanuit de Noordzee (25%, van Beusekom & de Jonge 1998). De aanvoer van metalen, stikstof en fosfaat naar het Eems-Dollard estuarium is significant afgenomen gedurende de afgelopen decaden, maar concentraties zijn nog steeds boven het natuurlijke achtergrondniveau. De aanvoer van gevaarlijke stoffen via het rivierwater is ook sterk afgenomen. Daarentegen zijn de concentraties, die gemeten zijn in organismen waarin ze accumuleren, nog steeds relatief hoog. Vooral bij Delfzijl. Zo zijn de gehalten aan PCB's en DDT in Mossels en eieren van vogels, zoals sterns en Scholeksters, nog steeds relatief hoog. Meerdere studies geven aan dat meer aandacht nodig is voor de ecotoxicologische effecten van nieuwe chemicaliën ('emerging compounds') en combinaties van stoffen (Bakker et al. 2009; ten Hallers, 2006).

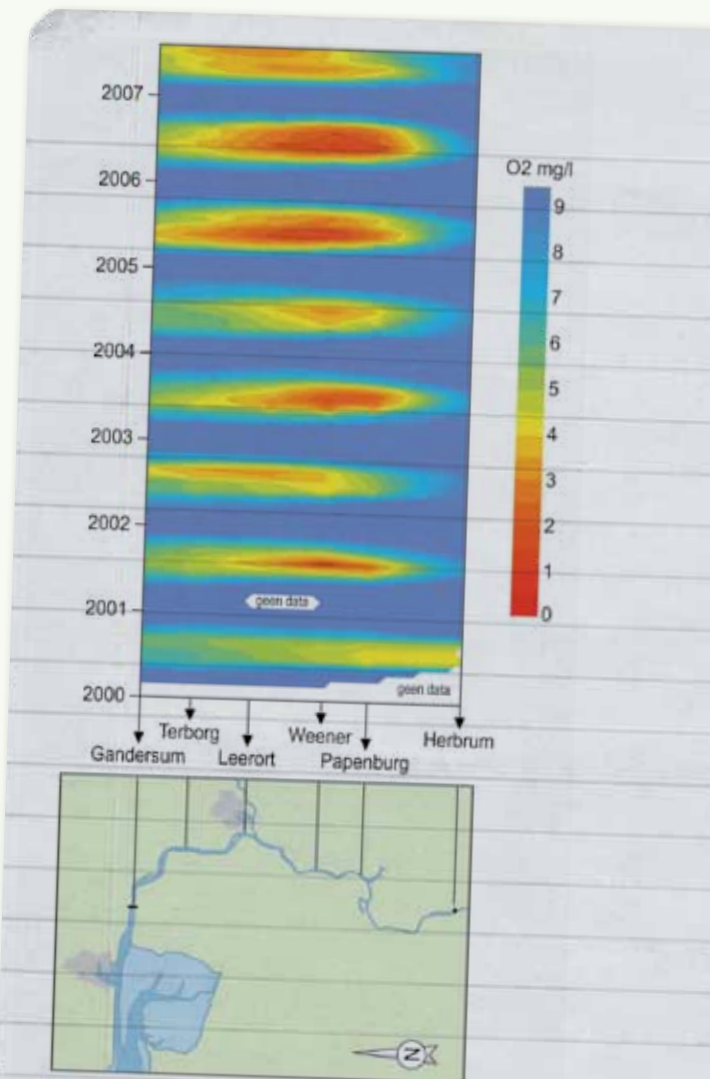


Fig. 7 Ruimte-tijd weergave van het zuurstof gehalte in het Eems-Dollard estuarium tussen Herbrum en Gandersum 2000-2007 (Harbasins project WP2, gebaseerd op gegevens van NLWKN Aurich).

3.2 WASSERQUALITÄT

Gemäß den nationalen und internationalen Standards sind die wichtigen Parameter für die Wasserqualität: Sauerstoffkonzentration, Salinität, Nährstoffgehalt, organische Fracht, Licht, Temperatur und toxische Substanzen (Deneudt et al. 2010). Jeder dieser Faktoren ist für die Funktionsweise des Ökosystems von Bedeutung. Licht und Nährstoffe sind essentielle Voraussetzungen für das Algenwachstum, die Temperatur ist ein genereller Parameter, der die Prozessraten beeinflusst, die Salinität spielt eine Rolle als Grenzbedingung für die Artenzusammensetzung, toxische Substanzen beeinflussen die Struktur und Funktionsweise des Ökosystems negativ und organische Fracht bildet ein Substrat als Lebensgrundlage für aerobe Bakterien. Die Sauerstoffkonzentration kann signifikant sinken, wenn die Sauerstoffanreicherung geringer als der Sauerstoffverbrauch durch diese Bakterien ist, was zu einer Sauerstoffkonzentration führt, die für die meisten Organismen zu gering ist. Die Überwachung der Parameter ist in NLWKN (2010) und RWS (2009) beschrieben und in Bakker et al. (2009), Becker & Dittmann (2009), van Beusekom et al. (2009) und Schuchardt & Scholle (2009) wiedergegeben. Nach den Standards der WRRL wurde 2009 die Wasserqualität im Flussästuar als „schlecht“ und im übrigen Ästuar mit „mäßig“ bewertet (NLWKN 2010).

Die Zunahme der Schwebstoffe im Flussästuar hat dramatisch die Lichtdurchflutung verändert, speziell im Süßwasserbereich wo die Konzentration des gelösten Materials relativ gering ist und folglich die Primärproduktion pro Flächeneinheit groß ist (Schuchardt & Schirmer 1991). Jedenfalls müssen die veränderten Schwebstoffbedingungen weiter flussabwärts im äußeren Ästuarbereich auch das Nahrungsangebot im gesamten Ökosystem signifikant verringert haben (wie in Kap. 3.4 beschrieben wird). Neben der Beeinflussung der Primärproduktion betrifft die Zunahme der Schwebstoffe möglicherweise Organismen die in der Nahrungskette auf höherer Stufe stehen direkt, z.B. durch Verstopfung der Filterapparate von Mollusken oder der Kiemen von Fischen oder durch Verminderung der Sicht.

Der minimale Sauerstoffgehalt hat sich zwischen Papenburg und Leer von 8 mg/l im Jahr 1980 (van der Welle & Meire (1999) bis auf 0 mg/l seit den frühen 2000er Jahren verringert (Abb. 7). Darüber hinaus hat sich der Sauerstoffmangel in diesem Abschnitt seitdem weiter räumlich und zeitlich intensiviert (s. Abb. 7 und Engels 2007). Das wirkt sich negativ auf die Lebensbedingungen für viele Arten der Flora und Fauna aus (s. u.).

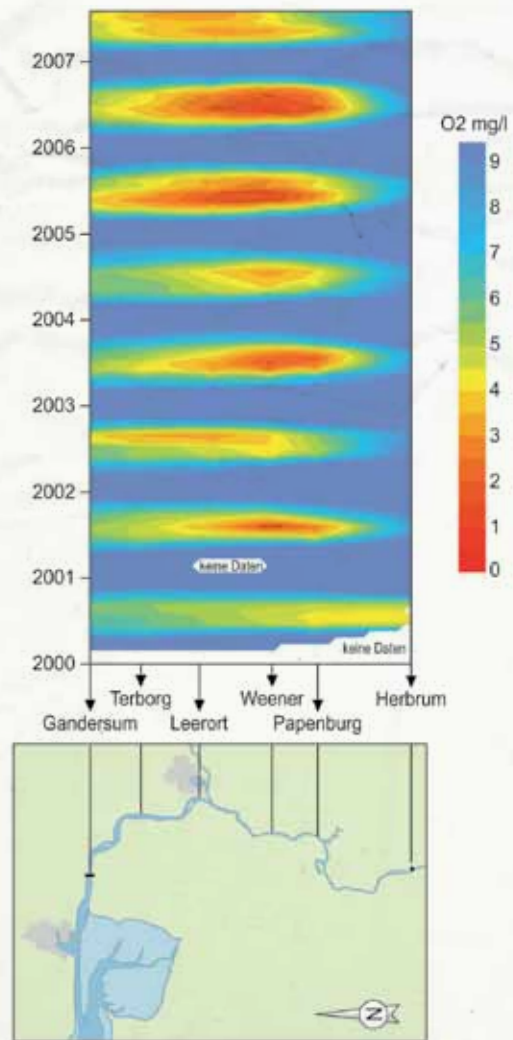


Abb. 7 Räumlich-zeitliche Darstellung der Sauerstoffkonzentration im Emsästuar 2000-2007 zwischen Herbrum und Gandersum (HARBASINS Projekt WP2, basierend auf Daten des NLWKN, Aurich).

Für Metalle und Makronährstoffe (Stickstoff und Phosphor) ist der Eintrag über den Fluss mengenmäßig am bedeutsamsten. Für partikulären Phosphor gibt es einen signifikanten Eintrag aus der Nordsee (25%, van Beusekom & de Jonge 1998). Der Eintrag von Metallen, Stickstoff und Phosphor in das Emsästuar reduzierte sich signifikant in den letzten Jahrzehnten, aber die Konzentrationen liegen immer noch über dem natürlichen Grundwert. Der Eintrag von giftigen Substanzen über den Flusslauf hat ebenfalls stark nachgelassen. Dennoch ist die in Organismen gemessene Konzentration (z.B. PCB und DDT in Miesmuscheln und Vogeleiern z. B. von Seeschwalben und Austernfischern) noch relativ hoch, besonders in der Umgebung von Delfzijl. Mehrere Studien weisen darauf hin, dass eine höhere Aufmerksamkeit neu entstehenden Verbindungen (neue Arten von Chemikalien) und ökotoxikologischen Effekten von Mixturen verschiedener Substanzen gewidmet werden muss (Bakker et al. 2009, ten Hallers 2006).

3.3 ESTUARIENE HABITATS

Estuarine leefgebieden verschaffen de ruimte aan gemeenschappen of organismen om te leven en zich voort te planten. Er is vaak een sterk verband tussen de waterkwaliteit (vorige sectie) en de dieren en planten (volgende sectie) die leven in deze habitats. Flora en fauna dragen daarnaast ook bij aan het vormgeven van deze habitats. Sommige vormen grote structuren (Mossels en Japanse oesters) of creëren bescherming (zeegrasvelden), terwijl andere een stabiliserende (benthische diatomeeën) of een destabiliserende werking (Kokkels, *Corophium* spp, Garnalen) op het sediment hebben.

Relevante habitats zijn: diepwater, ondiep water, droogvallende platen, rietvelden, rivierbos en hoger gelegen delen die beïnvloed worden door zout-, brak- en zoetwater. Er bestaan verschillende gradiënten, deels ten gevolge van natuurlijke dynamiek. Estuarine habitats worden in beide landen vastgelegd als ecotopen (Bouma et al. 2005; IBL 2009; Wijsman and Verhage 2004), maar er bestaan ook afzonderlijke monitoringsprogramma's voor vegetatie (Esselink et al. 2009), Zeegras (Adolph 2010; van der Graaf et al. 2009a) en Mosselbanken (Wadden Sea Nationaal Park 'Lower Saxony'; Imares). Daarnaast is er dringend behoefte om de functie van deze habitats te bepalen, afzonderlijk en in samenhang met elkaar (de Jonge et al. 2003, de Jonge 2007, de Jonge et al. geaccepteerd) en met de bijbehorende relevante randvoorwaarden en menselijke activiteiten.

Herrling & Niemeijer (2006), De Jong (2006) en Claus (1998) geven informatie waaruit blijkt hoe het gebied van de getijdenrivier is veranderd. In totaal 35% van de droogvallende platen, 42% van de ondiep waterzone en 37% aan voorlandgebieden ging verloren tussen 1900 and 1990 (met enkele verschillen van inzicht tussen bovengenoemde auteurs). De omvang van het habitatverlies is vergelijkbaar met het verlies in het estuarium van de Weser en Elbe (Schuchardt et al. 2007). Los van de verliezen door inpoldering en kustverdediging, is de hoofdoorzaak de vaarwegverdieping voor maritieme doeleinden en het storten van sediment, waarbij ondiepe zones opgevuld werden. Voor het mondingsgebied en het midden-deel is tot 1924 verlies opgetreden in droogvallende platen en voorlandgebieden, voornamelijk door inpoldering. Dit proces begon al rond 1600 na de formatie van de Dollard, volgend op een reeks aan stormvloedden.



3.3 ÄSTUARLEBENSÄRÄUME

Ästuarlebensräume bieten Lebensgemeinschaften den Raum zu leben und sich zu reproduzieren. Es existiert häufig eine enge Verbindung zwischen der Wasserqualität (vorheriger Abschnitt) und den Tieren und Pflanzen (folgender Abschnitt) die in diesen Ästuarlebensräumen leben. Es ist zu beachten, dass der größte Teil der Flora und Fauna auch zum Zustand des Habitats beitragen. Einige bilden massive Riffe (Miesmuscheln, Austern) oder bieten Schutz (Seegraswiesen), andere wiederum stabilisieren (benthische Diatomeen) oder destabilisieren (Herzmuscheln, Schlickkrebse, Krabben, Schollen) das Sediment.

Wichtige Lebensräume sind das Sublitoral, Flachwasserbereiche, Wattflächen, Salzwiesen, Schilfgürtel, Auwälder und Überflutungsflächen, die von See-, Brack und Süßwasser beeinflusst werden. Es gibt verschiedene Formen der Abstufungen bedingt durch die natürliche Dynamik. Die Ökotypen der Ästuarlebensräume sind (Bouma et al. 2005, IBL 2009, Wijsman und Verhage 2004) in beiden Ländern (NL und D) kartiert und es gibt außerdem weitere Monitoringprogramme für Vegetation (Esselink et al.

2009), Seegras (Adolph 2010, van der Graaf et al. 2009a) und Muschelbänke (Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer; Imares). Zusätzlich besteht eine dringende Notwendigkeit die Funktionsweisen dieser Habitats zu untersuchen sowohl jedes für sich als auch in Relation zueinander (de Jonge et al. 2003, de Jonge 2007, de Jonge et al. in prep.) sowie die relevanten Randbedingungen und menschlichen Aktivitäten.

Herrling & Niemeijer (2006), de Jong (2006) und Claus (1998) zeigen wie das Flussästuars der Ems zwischen 1900 und 1990 35% der Wattflächen, 42% der Flachwasserzonen und 37% der Vorlandgebiete verloren hat (mit Abweichungen zwischen den Autoren). Der Großteil der Verluste ist vergleichbar mit den Entwicklungen der Flussästuar von Weser und Elbe (Schuchardt et al. 2007). Neben Landnutzung und Küstenschutz sind die Gründe dafür im Wesentlichen Fahrwasservertiefungen und das Verklappen von Sediment, mit dem Flachwasserbereiche aufgefüllt werden. Im äußeren und mittleren Ästuar sind seit 1924 große Verluste von Wattflächen und Flächen der Spritzwasserzone (über MTHW) hauptsächlich durch Landnutzung erfolgt. Dieser Vorgang begann bereits im 17. Jahrhundert nach der Entstehung des Dollarts infolge eine Serie von Sturmfluten.



3.4 ESTUARIENE SOORTEN EN HET FUNCTIONEREN VAN HET ECOSYSTEEM

De belangrijkste groepen organismen in het voedselweb zijn: de algen en de andere primaire producenten, zoöplankton, hyperbenthos (krabben en garnalen), macrozoöbenthos, vissen, vogels en zoogdieren (Deneudt et al. 2010). De meerderheid van de omzettingen in het ecosysteem (Koolstof, energie, N, P) vindt plaats tussen organismen kleiner dan 1 mm die leven in de waterkolom maar ook in het sediment (e.g. bacteriën, algen, zoöplankton). Dit is de reden waarom de Jonge et al. (geaccepteerd) een beroep doen op de autoriteiten die verantwoordelijk zijn voor uitvoering van de EU richtlijnen, om deze complexiteit van het ecosysteem te erkennen, door ook de ontwikkeling van meer functionele indicatoren te stimuleren (zie boven).

PRIMAIRE PRODUCTENTEN

Primaire productie wordt gegenereerd door algen die leven op de wadplaten (voornamelijk microphytobenthos; de rol van macroalgen en zeegras is verwaarloosbaar) en door algen in de waterkolom (phytoplankton). Een significant deel van het microphytobenthos (gemiddeld 20 – 25%) bereikt echter de waterkolom door natuurlijke opwervings-fenomenen (de Jonge 1995), waarmee deze algen bijdragen aan de primaire productie door phytoplankton. Primaire productie is de basis van het voedselweb en bepaalt in belangrijke mate het aantal consumenten op hogere trofische niveaus. De beschikbaarheid van nutriënten en de lichtomstandigheden onder water zijn sleutelfactoren die de primaire productie beïnvloeden.

Een overzicht van de beschikbare informatie, vooral gebaseerd op gegevens die verzameld zijn halverwege en aan het eind van de jaren 1970 voor het Eems-Dollard estuarium (middendeel en mondingsgebied), wordt gegeven door de Jonge & Brauer (2006). De fytoplanktonproductie varieert tijdens het jaar op een complexe manier, tengevolge van de bovengenoemde factoren. Rivierwater voert nutriënten aan en de Jonge & Essink (1991) vonden een sterk positieve correlatie tussen de gemiddeld jaarlijkse afvoer van zoetwater en de jaarlijkse primaire productie in het middendeel en het mondingsgebied. Het effect van de rivierwaterafvoer was het sterkst in het mondingsgebied, wat aangeeft dat de productie in het middendeel en de Dollard in het algemeen door licht wordt beperkt. Dit geldt niet voor de primaire producenten op de wadplaten, aangezien hier microfytobenthos het meest actief is ten tijde van de blootstelling bij laagwater.



Primaire productie vindt vooral plaats in het mondingsgebied. Dit is verklaarbaar door het grote oppervlak in het mondingsgebied dat beschikbaar is voor de groei van algen, in combinatie met de lagere troebelheid. De bijdrage van de primaire productie in de getijdenrivier aan het geheel is verwaarloosbaar (de Jonge & Brauer 2006), vanwege de geringe oppervlakte en de extreme troebelheid. Bedenk echter dat de primaire productie -per eenheid oppervlakte- hoog kan zijn in de zoetwater zone van minder verstoorde estuaria (Schuchardt & Schirmer 1991).



3.4 ARTEN IM ÄSTUAR UND FUNKTIONSWEISE DES ÖKOSYSTEMS

Die wichtigsten Gruppen der Organismen im Nahrungsnetz sind Algen und andere Primärproduzenten, Zooplankton, Hyperbenthos (Krabben und Krebse), Makrozoobenthos, Fische, Vögel und Säugetiere (Deneudt et al. 2010). Der Hauptstoffumsatz im Ökosystem (Kohlenstoff, Energie, Stickstoff, Phosphor) erfolgt durch Organismen die kleiner als 1 mm sind (z. B. Destruenten, Algen, Bakterien, Zooplankton) und sowohl im Wasser als auch im Sediment leben. Das ist auch der Grund, warum Jonge et al. (in prep) den Behörden, welche für die Umsetzung der EU Richtlinien verantwortlich sind, vorschlagen, die Komplexität der Ökosysteme zur Kenntnis zu nehmen und somit die Entwicklung möglichst funktioneller Indikatoren anzuregen.

PRIMÄRPRODUZENTEN

Die Primärproduktion wird durch Algen auf der Wattoberfläche (hauptsächlich Mikrophytobenthos, die Rolle von Makroalgen und Seegras ist vernachlässigbar) und von Algen in der Wassersäule (Phytoplankton) erzeugt. Allerdings geht ein großer Teil des Mikrophytobenthos (durchschnittlich 20-25 %) in die Wassersäule durch natürliche Aufschwemmungsvorgänge über (de Jonge

1995), wo die (vormals benthischen) Algen zur Primärproduktion des Phytoplanktons beitragen. Die Primärproduktion ist die Basis des Nahrungsnetzes und bestimmt in großem Ausmaß die Anzahl der Konsumenten auf einer höheren trophischen Stufe. Die Nährstoffverfügbarkeit und die Lichtverhältnisse unter Wasser sind die Schlüsselfaktoren, die die Primärproduktion beeinflussen.

Eine im Wesentlichen auf Daten der zweiten Hälfte der 1970er Jahre basierende Übersicht über die verfügbaren Informationen zum Emsästuar (mittleres und äußeres Ästuar) findet man bei de Jonge & Bauer (2006). Die Produktion des Phytoplanktons variiert als eine komplexe Funktion der oben beschriebenen Bedingungen und daher auch innerhalb des Jahres. Flusswasser enthält Nährstoffe und de Jonge & Essink (1991) fanden eine stark positive Korrelation zwischen dem Jahresmittelwert der abfließenden Süßwassermenge und der jährlichen Primärproduktion im mittleren und äußeren Ästuar. Der Einfluss von größeren Mengen zugeführten Süßwassers war im äußeren Ästuar am Stärksten, was zeigt, dass die Primärproduktion des mittleren Ästuars und des Dollarts im Wesentlichen durch den Lichtfaktor limitiert waren. Dies trifft nicht auf die Primärproduktion der Wattgebiete zu, da hier das Mikrophytobenthos am Produktivsten während der Freifallphase um Niedrigwasser ist.

Gegeven de veranderingen in troebelheid tussen 1954 en nu (vorige sectie) zijn de lichtomstandigheden verslechterd, vooral in de getijdenrivier. Direct bewijs voor effecten hiervan op de primaire productie is niet beschikbaar, omdat het niet is onderzocht. De Jonge en medewerkers hebben echter onderzocht wat de effecten zijn van klimaatverandering, baggerwerkzaamheden en rivierverbetering op de lichtomstandigheden (DeGroot & de Jonge, 1990; de Jonge & Brauer 2006; de Jonge, niet-gepubl.), in diverse studies gebaseerd op eerder genoemde historische metingen en de modellen van Baretta & Ruardij (1988). Zij concluderen dat er een groot effect is van onderhoudsbaggerwerkzaamheden en veranderingen in de morfologie van de rivier. De Jonge (niet-gepubl.) schatte het verlies in primaire productie tengevolge van baggeren en rivierverbetering in 2005-2006 op meer dan 60% (ten opzichte van onverstoorde referentie-omstandigheden). Vooral de afname het mondingsgebied was verantwoordelijk voor de totale afname in primaire productie van het gehele estuarium. Verwacht wordt dat de jaarlijkse primaire productie significant verhoogd kan worden als de lichtomstandigheden verbeteren (vooral in het middendeel en het mondingsgebied).

ZOOPLANKTON

Er zijn enkele publicaties over zooplankton in het Eems-Dollard estuarium van eind jaren 1980, bij elkaar gebracht en besproken in de Jonge & Brauer (2006). Een studie van de Jonge & van Beusekom (1992) toonde aan dat opgewerveld microphytobenthos onderdeel is van het voedsel voor zich snel ontwikkelende populaties van copepoden in de waterkolom vroeg in het voorjaar (maart en april). In deze periode is de concentratie van echt fytoplankton laag en vergelijkbaar met de hoeveelheid microphytobenthos in suspensie. Modelberekeningen door Baretta & Ruardij (1988) geven aan dat binnen het zoöplankton de rol van microzoöplankton veel belangrijker kan zijn dan de rol die copepoden spelen, hoewel de waargenomen microzoöplankton biomassa slechts lage waarden vertoont. Microzoöplankton was echter geen geïntegreerd deel van het project waarover Baretta & Ruardij (1988) rapporteerden! Aangezien zoöplankton een belangrijke schakel is tussen primaire productie en carnivoren hoger in de voedselketen, is er een duidelijk hiaat in de kennis over deze groep.



HYPERBENTHOS

Tot tien jaar geleden werden garnalen commercieel in het gehele estuarium bevestigd. De beschikbare informatie wijst op een redelijke populatieomvang voor de periode 1946-1965, met een toenemende trend in de aantallen die werden geoogst. Resultaten van systematisch onderzoek (Demersal Fish survey, DFS) lieten een afnemende dichtheid in het mondingsgebied, middendeel en in de Dollard zien in de periode 1970-2003 (van 't Hof 2006; Jager & Vorberg 2008). Er is geen duidelijk inzicht in de oorzaak achter deze afname (Jager & Vorberg, 2008). Van belang is dat de dichtheden van garnalen in dezelfde periode ook afnamen in de Ooster- en Westerschelde (van 't Hof 2006), terwijl de trend voor de gehele Waddenzee onduidelijk was (Tulp et al. 2008). Systematische informatie over krabben ontbreekt.



Der Hauptanteil der Primärproduktion erfolgt im äußeren Ästuar. Das erklärt sich durch die für das Algenwachstum verfügbare, ausgedehnte Fläche dieser Region in Kombination mit der geringen Wassertrübung. Der Beitrag des Flussästuars an der Gesamtproduktion kann vernachlässigt werden (de Jonge & Brauer 2006), da die Fläche begrenzt und die Trübung deutlich größer ist. Es ist dennoch möglich, dass die Primärproduktion in den Süßwasserbereichen von wenig veränderten Ästuaren pro Flächeneinheit hoch sein kann (Schuchardt & Schirmer 1991).

In Anbetracht der Veränderungen der Wassertrübung zwischen 1954 und heute (vorheriges Kapitel) haben sich die Lichtverhältnisse besonders im Flussästuar verschlechtert. Direkte Belege aus dem Feld zum Einfluss dieser Verschlechterung auf die Primärproduktion liegen nicht vor, da sie nicht untersucht worden sind. Dennoch erforschten de Jonge und Kollegen den Einfluss der Klimaänderung, Baggerarbeiten und Flussbegradigungen auf die Lichtverhältnisse in mehreren Studien (DeGroot & de Jonge 1990, de Jonge & Brauer 2006, de Jonge unveröff.), die auf den historischen Messungen und den Modellen von Baretta & Ruardij (1988) beruhen. Sie folgerten, dass der Einfluss der Baggerarbeiten zum Unterhalt des Fahr-

wassers und die Veränderung der Morphologie des Flusses groß sind. Im Verhältnis zu der unbeeinflussten Referenzsituation schätzte de Jonge (unveröff.) einen Verlust von mehr als 60 % der Primärproduktion für den Situation 2005-2006 aufgrund von Baggerarbeiten im Ästuar und Flussbegradigungen. Besonders der Rückgang im äußeren Ästuarbereich war für die Gesamtabnahme der Primärproduktion im ganzen Ästuar verantwortlich. Erwartet wird, dass die jährliche Primärproduktion besonders im äußeren und mittleren Ästuar unter verbesserten Lichtverhältnissen erheblich vergrößert werden kann.

ZOOPLANKTON

Die wenigen Veröffentlichungen über das Zooplankton im Ems-ästuar aus den späten 1980er Jahren sind in de Jonge & Brauer (2006) zusammengefasst. Eine Untersuchung von de Jonge & van Beusekom (1992) zeigt das aufgeschwemmte Mikrophytoplankton im Frühjahr (März und April) vermutlich entscheidend zur Nahrung der sich schnell entwickelnden Kopepodenpopulation in der Wassersäule beiträgt. In dieser Zeit ist die Konzentration von echtem Phytoplankton gering und vergleichbar mit der Menge des aufgeschwemmten Mikrophytobenthos. Modellberechnungen von Baretta & Ruardij (1988) zeigen, dass innerhalb des Zooplanktons die Rolle des Mikrozooplanktons vermutlich viel wichtiger ist als die der Kopepoden, obwohl die ermittelte Biomasse des Mikrozooplanktons nur geringe Werte aufweist. Mikrozooplankton war jedoch kein integrierter Teil des Projektes von dem Baretta & Ruardij (1988) berichteten. Obwohl das Zooplankton ein wichtiges Verbindungsglied zwischen Primärproduzenten und Karnivoren höherer trophischer Stufen ist, gibt es eine deutliche Wissenslücke in Bezug auf diese Gruppe.

EPIBENTHOS

Bis vor einem Jahrzehnt wurden Garnelen im gesamten Ästuar kommerziell gefischt. Die vorhandenen Daten berichten von ansehnlichen Fangmengen mit einem zunehmenden Trend in der Zeit von 1946-1965. Ergebnisse der Grundfischerfassung (DFS) deuten auf abnehmende Dichten in der Zeit von 1970 bis 2003 im äußeren und mittleren Ästuar und im Dollart hin (van 't Hof 2006, Jager & Vorberg 2008). Es gibt keine eindeutigen Hinweise auf die Gründe für den aktuellen Rückgang (Jager & Vorberg 2008). Es wurde beobachtet, dass die Garnelendichten in den Ästuaren von Oster- und Westerschelde ebenfalls in diesem Zeitraum abnahmen (van 't Hof 2006), der Trend im gesamten Wattenmeer allerdings war nicht eindeutig (Tulp et al. 2008). Systematische Information über Krebse fehlen.

MACROFYTEN

Zeegrasvelden van Groot zeegras (*Zostera marina*) worden gevonden in het mondingsgebied op De Hond-Paap (van der Graaf et al. 2009a; Adolph 2010). De aanwezigheid van solitaire planten werd hier voor het eerst vastgesteld in 1973 (Den Hartog & Polderman, 1975). Het voorkomen op De Hond-Paap werd bevestigd in 1988 en zeegras werd hier sindsdien regelmatig in kaart gebracht (Erftemeijer, 2005). Het door zeegras bedekte gebied nam in omvang toe tussen 1999 en 2004, tot een maximale bedekking van 275 ha. Na 2004 nam het areaal en de bedekking sterk in beide gebieden af. In 2007 en 2008 was het zeegras bijna verdwenen. Groot zeegras reproduceert voornamelijk met zaden en nauwelijks met behulp van wortelstokken. Hierdoor is het kwetsbaar en afhankelijk van de productie van voldoende zaad en succesvolle ontkieming in het daaropvolgende voorjaar (Erftemeijer, 2005). Klein Zeegras (*Z. noltii*) komt incidenteel voor langs de kust ten overzijde van De Hond-Paap in Duitsland. Een toename in zeegrasvelden van *Z. noltii* werd vastgesteld op de Randzel (ten zuiden van Borkum, van der Graaf et al. 2009a; Adolph 2010). Afgaand op van den Hoek et al. (1979) is het onwaarschijnlijk dat *Zostera* in het verleden ooit een belangrijkere rol heeft gespeeld in het Eems-Dollard estuarium, omdat het niet genoemd wordt door Stratingh & Venema (1855), en ook niet door Voorthuysen et al. (1960).

Het is niet duidelijk wat de afname van zeegras bij De Hond-Paap heeft veroorzaakt. Van der Graaf et al. (2009a) merkte op dat de eerdere toename van zeegras bij De Hond-Paap in de jaren 1990 samenviel met de toename in troebelheid tussen 1990 en 2000 (Merckelbach & Eysink, 2001). Daarnaast willen we vermelden dat het gebied waarbinnen de zeegrasvelden zich uitstrekten samenviel met het gebied met de sterkste bodemdaling ten gevolge van gaswinning. Hoewel de bijdrage van zeegras aan de primaire productie in het Eems-Dollard estuarium onbelangrijk is (van den Hoek et al., 1979), kunnen de planten substraat leveren voor het vestigen of beschermen van zeer veel organismen, waaronder kleine vis (de Jonge et al., 1997).

Boven de gemiddelde laagwaterlijn liggen vegetatiezones die afhankelijk van de saliniteit, bodemhoogte en begrazingsdruk verschillen. Een algemeen overzicht wordt gegeven in van der Welle & Meire (1999). Hoewel er substantieel habitatverlies is opgetreden (zie boven) in de zoetwater- en brakwaterzone van de getijdenrivier, zijn er nog steeds enkele honderden hectares voorland aanwezig (IBL 2008; 2009; 2010; van der Welle & Meire

1999). Typische estuariene habitats zoals rivierbossen zijn echter verdwenen. De meerderheid van de overgebleven habitats bestaat uit mesofiel grasland, intensief gebruikt grasland en rietland. De omstandigheden voor deze vegetaties zijn verslechterd door menselijk ingrijpen beschreven in sectie 3.1. De gevolgen van herhaaldelijke overstroming worden thans bestudeerd (NLWKN pers. med.).

Het merendeel van het kwelderareaal ligt in de Dollard, met een oppervlak van bijna 1.000 ha. De ontwikkeling van het kwelderareaal in het Nederlandse deel van de Dollard is recent door Esselink et al. (2011) onderzocht. Een andere bron is Esselink et al. (2009). Relevante processen op de kwelders zijn: opslibbing (sedimentatie), inpoldering, erosie, bodemdaling, vegetatiesuccessie en begrazingsbeheer. Sinds ongeveer 1700 AD worden -in duidelijk herkenbare episoden- kwelders kunstmatig aangewonnen en ingepolderd (Esselink 2000). Landaanwinningswerken werden in het Nederlandse deel afgeschaft in 1953. De jongste delen van de Duitse kwelders in de Dollard werden kunstmatig aangewonnen in de jaren 1960 (Werkgroep Dollard 2001). Het areaal aan kwelders in het Duitse deel van de Dollard neemt momenteel af tengevolge van erosie. Het kwelderareaal nam hier tussen 1997 en 2004 in omvang met 95 ha af tot 249 ha (Esselink et al. 2011). In dezelfde periode was de afname van het kwelderareaal in het Nederlandse deel minder dan een hectare per jaar en circa 1-4 hectaren in totaal.



MAKROPHYTEN

Seegraswiesen der Art *Zostera marina* wurden in der äußeren Ems bei Hond-Paap gefunden (van der Graaf et al. 2009a, Adolph 2010). Die Anwesenheit einzelner Pflanzen wurde hier zuerst 1973 registriert (Den Hartog & Polderman 1975). Das Vorkommen von Hond-Paap gründete sich 1988 und seitdem wurde Seegras regelmäßig beobachtet (Erftemeijer 2005). Die vom Seegras bedeckte Fläche wuchs in der Größe zwischen 1999 und 2004 bis zu einer maximalen Ausdehnung von 275 ha an. Nach 2004 erfolgte eine starke Abnahme sowohl der Ausdehnung als auch des Bedeckungsgrades der Seegraswiese. Um 2007 / 2008 war das Seegras fast verschwunden. *Zostera marina* vermehrt sich hauptsächlich durch Samen und kaum über Rhizome, was es empfindlich und abhängig von der Produktion ausreichender Mengen von Samen als auch von der nachfolgenden erfolgreichen Keimung im nächsten Frühjahr macht (Erftemeijer, 2005). Zwergseegras (*Zostera noltii*) kommt nur spärlich auf der gegenüberliegenden Küste von Hond-Paap in Deutschland vor. Zunahmen der Bestände von *Z. noltii* wurden bei Randzel bemerkt (südlich von Borkum, van der Graaf et al. 2009a, Adolph 2010). Nach van den Hoek et al. (1979) ist es unwahrscheinlich, dass *Zostera* in der Vergangenheit jemals eine bedeutende Rolle gespielt hat, da es weder von Stratingh & Venema (1855) noch von Voorthuysen et al. (1960) erwähnt wurde.

Es ist nicht klar, was den Rückgang des Seegrases bei Hond-Paap verursacht hat. Van der Graaf et al. (2009a) bemerkten, dass der frühere Zuwachs von Seegras bei Hond-Paap während der 1990er Jahre mit einer gleichzeitigen Zunahme der Schwebstoffkonzentration zwischen 1990 und 2000 zusammenfiel (Merckelbach & Eysink 2001). Außerdem wollen wir darauf hinweisen, dass die Fläche der maximalen Seegrasausdehnung mit der Fläche der stärksten Bodenabsenkung durch die Gasförderung zusammenfällt. Obwohl der Beitrag des Seegrases zur Primärproduktion im Emsästuar unbedeutend ist (van den Hoek et al. 1979), bieten die Pflanzen ein Substrat für die Besiedlung und den Schutz von zahlreichen Organismen darunter auch kleine Fische (de Jonge et al. 1997).

Oberhalb der mittleren Niedrigwasserlinie unterscheiden sich die Vegetationszonen in der Salinität, im Boden und in den Beweidungsverhältnissen. Einen allgemeinen Überblick geben van der Welle & Meire (1999). Auch wenn es substantielle Habitatverluste (s. oben) in der Süßwasser- und der Brackwasserzone im Flussästuar gab, sind immer noch mehrere Hundert Hektar Vorland vorhanden (IBL 2008, 2009, 2010, van der Welle & Meire 1999). Dennoch sind typische Ästuarlebensräume wie die Auwälder verschwunden. Im Übrigen sind hauptsächlich mesophile Grünland, intensiv genutztes Grünland und Schilfflächen vorhanden. Die Bedingungen für diese Lebensräume hat sich aufgrund des anthropogenen Eingreifens wie in Kap. 3.1 beschrieben verschlechtert. Der Einfluss zunehmender Überschwemmungszeiten wird untersucht (NLWKN pers. Mitt.).

Der Hauptteil der Salzwiesen im Ästuar liegt mit einer Fläche von etwa 1.000 ha in der Dollartbucht. Die Entwicklung des Flächenzuwachses der Salzwiesen im niederländischen Teil des Dollarts wurden aktuell von Esselink et al. (2011) untersucht. Eine weitere Quelle ist Esselink et al. (2009). Wichtige Prozesse für die Salzwiesen sind Ablagerung (Sedimentation), Landgewinnung, Erosion, Bodensenkung, Sukzession und Beweidungsmanagement. Seit etwa 1700 wurden Salzwiesen anthropogen geformt und immer wieder eingedeicht (Esselink 2000). Im niederländischen Teil wurden die Befestigungsarbeiten 1953 eingestellt. Der jüngste Teil der in Deutschland befindlichen Dollartsalzwiesen wurde in den 1960er Jahren künstlich geschaffen (Werkgroep Dollard 2001). Erosionsbedingt nimmt die Fläche der Salzwiesen im deutschen Teil des Dollarts aktuell ab. Von 1997 bis 2004 verringerten sich die Salzwiesen um 95 ha auf 249 ha (Esselink et al. 2011). In derselben Zeit betrug die Erosion der Salzwiesen im niederländischen Teil weniger als 1 Hektar im Jahr, insgesamt etwa 1-4 ha.



MACROBENTHOS

De diversiteit aan soorten neemt af van zee richting de stroomopwaartse delen van het estuarium. Dit is geïllustreerd door Ysebaert et al. (1998) die de veranderingen in soortensamenstelling van macrobenthos omschreef langs deze estuariene gradiënt, waarbij werd aangetoond dat het patroon in het Eems-Dollard estuarium overeenkomt met dat in andere estuaria (cf Wolff, 1983).

De Mossel (*Mytilus edulis*) en Kokkel (*Cerastoderma edule*) komen hoofdzakelijk voor op de wadplaten in het middendeel in de Bocht van Watum (op De Hond-Paap en op de wadplaten langs de dijk) en in het mondingsgebied aan de Duitse en Nederlandse kant. Mossels zijn hier regelmatig vastgesteld sinds 1978.

Het areaal aan mosselbanken op De Hond-Paap nam, na een afname in 1998, sterk toe tot het jaar 2000, waarna het areaal min of meer stabiel bleef rond 200 ha tot 2004 (Dankers et al. 2005). Informatie van Stratingh & Venema (1855) en gegevens gepresenteerd in Wolff (1983) geven aan dat mossels en kokkels in het verleden algemeen waren in het middendeel en in de Dollard. De Japanse oester (*Crassostrea gigas*) is een nieuwkomer in het estuarium die voor het eerst in 1998 werd vastgesteld. De soort neemt sindsdien nog steeds toe, zowel in aantal als in biomassa, en breidt zijn leefgebied steeds verder uit.

De Dollard werd tot 1990 jaarlijks belast met grote hoeveelheden organisch afval, voornamelijk afkomstig van de aardappelzetmeel-industrie. Deze industrie ontstond in de 19e eeuw. Het probleem is in het verleden omschreven als één van de grootste afvalproblemen in de wereld (Ribbius, 1961). Afvalwaterlozingen bleven toenemen tot in de jaren 1980, toen een saneringsplan werd geïntroduceerd. Ten tijde van de vervuiling waren grote delen van de Dollard in het najaar geheel zuurstofloos. Ten gevolge daarvan verdween de commerciële visvangst uit de baai kort na de tweede wereldoorlog. De hoge belasting met organische stof had grote invloed op de macrofauna, waardoor het gebied hoge vogelaantallen kon herbergen (zie de paragraaf over vogels, pag 39). Het herstel van de Dollard na de sanering van deze lozingen is beschreven in Essink & Esselink (1998).

Overige informatie over de temporele ontwikkelingen in het macrobenthos is door van der Graaf et al. (2009b) samengevat. De gegevens zijn afkomstig van het monitoringprogramma



op de Heringsplaat in de Dollard. Die resultaten moeten zorgvuldig worden geïnterpreteerd, omdat ze geen informatie bevatten over veranderingen op ruimtelijke schaal en ze niet representatief zijn voor het hele estuarium. Daarbij werd pas begonnen met de metingen op het moment dat de eutrofiëring ten gevolge van de lozingen van organisch afval nog speelde. Over de periode 1987-2008 vertoonde het aantal soorten geen trend, maar de biomassa nam over deze periode af. De afname van de biomassa was een gevolg van de sterke afname van een exoot, *Marenzelleria viridis*. In contrast met andere delen van de Waddenzee vertoonde het Nonnetje (*Macoma balthica*) een toename over de laatste decaden. De Wadpier (*Arenicola marina*), een karakteristieke soort van zandig substraat en een soort die niet volledig bemonsterd werd in het monitoringprogramma, lijkt over de laatste jaren verdwenen te zijn uit de Dollard, inclusief de Heringsplaat (Dollardrobben, pers. comm.).

De getijdenrivier gaf over de laatste 20 jaar een sterke afname te zien in benthische diversiteit, zowel in aantallen als in biomassa, ten gevolge van ernstige zuurstoftekorten, hoge concentraties van zwevende deeltjes en vloeibaar slib (Schuchardt et al. 1999; Bioconsult 2010).



MAKROBENTHOS

Die Artendiversität nimmt von der See zu den flussaufwärtigen Teilen des Ästuars hin ab. Das wird von Ysebart et al. (1998) dargestellt, die die Veränderungen der Lebensgemeinschaft des Makrobenthos im Verlauf des Ästuars beschreiben und zeigen, dass die Muster im Emsästuar denen in anderen Ästuaren ähneln (s. a. Wolff 1983).

Miesmuscheln (*Mytilus edule*) und Herzmuscheln (*Cerastoderma edule*) kommen vorwiegend in den Wattbereichen des mittleren Ästuars in der „Bocht von Watum“ (auf dem Hond-Paap und auf den küstennahen Wattflächen entlang des Deiches) und in der äußeren Ems auf deutscher und niederländischer Seite vor. Miesmuscheln wurden hier regelmäßig seit 1978 vorgefunden. Nach einem Rückgang 1998 hat die von Muschelbänken bedeckte Fläche auf dem Hond-Paap bis zum Jahr 2000 stark zugenommen und blieb mit etwa 200 ha mehr oder weniger stabil bis 2004 (Dankers et al. 2005). Informationen von Stratingh & Venema (1855) und Daten in Wolff (1983) zeigen, dass Mies- und Herzmuscheln in der Vergangenheit im mittleren Ästuar und im Dollart nicht verbreitet waren. Die Pazifische Auster (*Crassostrea gigas*)

ist ein Neubürger im Ästuar und wurde das erste Mal 1998 nachgewiesen. Sie nimmt sowohl zahlenmäßig als auch die Biomasse betreffend zu und weitet ihr Verbreitungsgebiet aus.

Die Dollartbucht nahm bis 1990 jährlich große Mengen an organischen Abwässern auf, die hauptsächlich aus der Kartoffelmehlindustrie stammen. Diese Industrie entwickelte sich im 19. Jahrhundert. Das Problem wurde als eines der weltweit größten Abfallprobleme beschrieben (Ribbius 1961). Abwasserleitungen nahmen fortlaufend bis in die 1980er Jahre zu, bis ein Abwasserentsorgungssystem eingeführt wurde. Während der Jahre der Verschmutzung waren ausgedehnte Flächen im Dollart vollständig anaerob während des Herbstes. Das war der Grund, warum die kommerzielle Fischerei die Bucht kurz nach dem II. Weltkrieg verlassen hat. Die große Fracht an organischem Material beeinflusste nicht nur die Makrofauna, sondern förderte auch großen Vogelmenge (s. Kapitel Vögel). Die Verbesserung des Dollartzustandes seit der Reinigung der Abwässer wurde in Essink & Esselink beschrieben (1998).

Weitere Informationen zur zeitlichen Entwicklung des Makrozoobenthos wurden von van der Graaf et al. (2009b) zusammengefasst. Die Daten stammen aus dem Monitoringprogramm von der Heringsplate in der Dollartbucht. Die Ergebnisse sollten mit Vorsicht betrachtet werden, da sie weder Informationen über die Veränderungen bezüglich der räumlichen Größenordnung enthalten, können sie auch nicht als stellvertretend für das Ästuar insgesamt angesehen werden. Zusätzlich starteten die Datenreihen zu einem Zeitpunkt als die Eutrophierung durch die organischen Abwässer noch vorhanden war. Die Anzahl der Arten zeigt keine Entwicklung im Zeitraum von 1987 bis 2008, aber die Biomasse nahm ab. Letzteres war eine Folge des starken Rückganges der nicht heimischen Wurmart (*Marenzelleria viridis*). Im Gegensatz zu anderen Teilen des Wattenmeeres nahm *Macoma balthica* in den letzten Jahrzehnten zu. Der Wattwurm (*Arenicola marina*), eine Charakterart sandiger Substrate, die nicht vollständig durch das Monitoringprogramm erfasst wurde, scheint in den letzten Jahren aus der Dollartbucht einschließlich der Heringsplate verschwunden zu sein (Dollardrobber pers. Mitt.).

Im Flussästuar erfolgte ein steiler Rückgang von Diversität, Dichte und Biomasse der Benthosorganismen innerhalb der letzten 20 Jahre, hauptsächlich durch Sauerstoffmangel, hohe Schwefelkonzentrationen und flüssigem Schlamm bedingt (Schuchardt et al. 1999, Bioconsult 2010).

VIS

Het functioneren van het Eems-Dollard estuarium voor visgemeenschappen is in kaart gebracht door Jager (in: Essink & Esselink, 1998), Jager et al. (2009a), Schuchardt & Scholle (2009), Vorberg et al. (2005), Jager et al. (QSR 2009b), Bolle (2009). De 'Demersal Fish Survey' vindt sinds 1970 plaats in de Waddenzee, onder andere in delen van het Eems-Dollard estuarium. Sinds 2006 vindt tweejaarlijks onderzoek in het kader van monitoring ten behoeve van de KRW plaats.

In de getijdenrivier ondervinden alle vissoorten in de zomer duidelijk ongunstige omstandigheden (zie ook figuur 8). Typisch estuariene soorten zoals Spiering (*Osmerus eperlanus*) en Fint (*Alosa fallax*) kunnen er niet succesvol paaieren. Dit werd duidelijk door een pilot studie over Spiering (Scholle et al. 2007). Er is geen geschikt paaihabitat beschikbaar en de omstandigheden waaronder larven moeten overleven zijn beroerd. De slechte waterkwaliteit is hier debet aan (zuurstofloze perioden, extreem hoge concentraties zwevende deeltjes en vloeibaar slib).

In het middendeel en het mondingsgebied is de situatie minder aangetast. Er is geen lijn in de tijd te zien ten aanzien van de aantallen soorten of ecologische groepen. Maar voor een selecte groep soorten zijn er over de laatste decaden wel negatieve trends in de talrijkheid. Het mechanisme achter deze ontwikkelingen is maar ten dele begrepen. Sommige soorten

zoals Schar (*L. limanda*) en Tong (*Solea solea*) zijn in aantallen afgenomen in het Eems-Dollard estuarium, maar doen dat ook in andere deelgebieden van de Waddenzee (Jager et al. 2009b).

Trekvissen komen fysieke barrières tegen in de route tussen het estuarium en de toeleverende en binnenwateren. Elektriciteitscentrales langs de randen van het estuarium gebruiken veel koelwater. Het ingelaten koelwater kan vissen bevatten die hierdoor sterven. Het uitgelaten koelwater kan lokaal tot een temperatuursverhoging leiden. Met de huidige informatie kan het effect van het op grote schaal in- en uitlaten van koelwater op vispopulaties echter nog niet goed worden gekwantificeerd (Jager 2010).

De ecologische toestand van de vispopulaties is volgens de criteria van de KRW 'redelijk' voor het middendeel en het mondingsgebied, maar 'slecht' voor de getijdenrivier, in vergelijking met ongestoorde referentieomstandigheden (Bioconsult 2009, 2010). In de getijdenrivier is de soortsaamenstelling vergelijkbaar met referentieomstandigheden, maar een aantal diadrome soorten ontbreekt en het voorkomen en de biomassa van de meeste soorten is ernstig afgenomen. Typische indicatorsoorten komen maar beperkt voor.

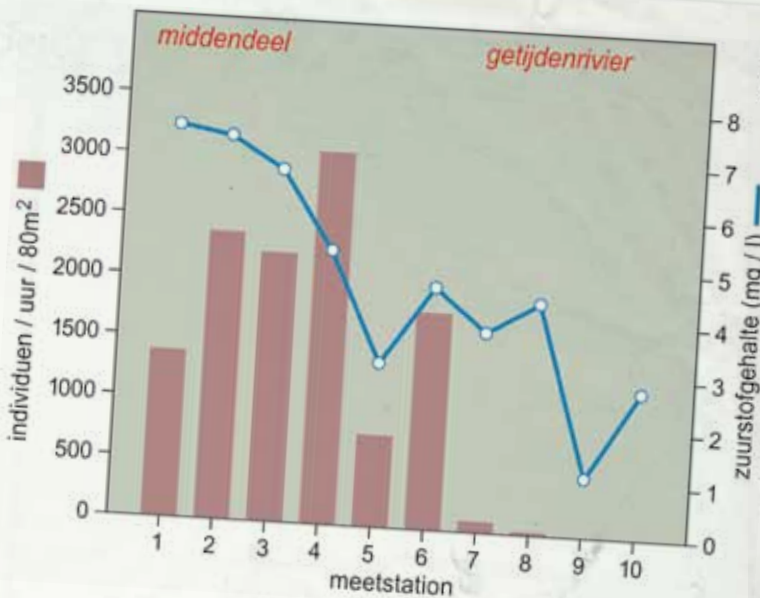


Fig. 8 Visdichtheid (aantal individuen per uur per 80m² net oppervlak) en de gemiddelde zuurstof concentratie (mg/l) in het Eems-Dollard estuarium (middendeel en getijdenrivier (meetstation 8: Leda, een zijrivier) in het najaar 2006 (BIOCONSULT 2006). De meetstations 1-10 zijn respectievelijk: Rysum, Wybelsum, Emden, Petkum, Terborg, Jemgum, Leer, Leda, Weener en Papenburg.





FISCHE

Die Bedeutung des Emsästuar für die Lebensgemeinschaft der Fische wurde von Jager (in: Essink & Esselink 1998), Jager et al. (2009a), Schuchardt & Scholle (2009), Vorberg et al. (2005), Jager et al. (2009b), Bolle (2009) behandelt. Die Grundfischerfassung (DFS) wurde seit 1970 im Wattenmeer einschließlich Teilen des Emsästuars durchgeführt und seit 2006 gibt es ein systematisches bilaterales Fischmonitoring nach den Erfordernissen der WRRL.

Im Flussästuar unterliegen alle Arten ungünstigen Bedingungen während des Sommers (s. a. Abb. 8). Typische Ästuararten wie Stint (*Osmerus eperlanus*) und Finte (*Alosa fallax*) können sich nicht erfolgreich vermehren, wie durch eine Pilotstudie an Stinten herausgefunden wurde (Scholle et al. 2007). Es fehlen geeignete Laichhabitats und die Bedingungen für das Überleben der Larven sind ungünstig. Die schlechte Wasserqualität ist das Hauptproblem (Zeiträume mit anaeroben Bedingungen, extrem hohe Konzentrationen von Schwebstoffen, Flüssig-Schlack).

Im mittleren und äußeren Ästuar hat sich die Situation weniger stark verschlechtert. Hier zeigt sich keine zeitliche Entwicklung der Anzahl von Arten oder ökologischen Gilden, aber für eine Gruppe von Arten bestehen negative Trends über die letzten zwei Jahrzehnte. Der Mechanismus hinter diesen Entwicklungen ist nur bis zu einem gewissen Grad klar. Einige Arten, wie z.B. die Kliesche (*Limanda limanda*) und die Seezunge (*Solea solea*), haben im Emsästuar abgenommen

aber auch in anderen Gegenden des Wattenmeeres (Jager et al. 2009b).

Wandernde Fischarten treffen auf physikalische Engstellen in der Verbindung von Ästuar und seinen Zuflüssen und Binnengewässern. Kraftwerke an den Grenzen des Ästuars benötigen große Wassermengen zur Kühlung. Die Nutzung des Kühlwassers beeinflusst vermutlich Fische durch Kollisionen mit der Anlage und durch die Zunahme der Wassertemperatur. Mit den derzeitigen Informationen kann jedoch der Einfluss von großvolumiger Entnahme von Kühlwasser auf Fischpopulationen nicht adäquat quantifiziert werden (Jager 2010).

Im mittleren und äußeren Bereich des Ästuars kann der ökologische Status der Fische entsprechend der WRRL als mäßig und für das Flussästuar als schlecht bezeichnet werden. Als Vergleich dient der ungestörte Referenzzustand (Bioconsult 2009, 2010). Im Flussästuar ähnelt die Artenzusammensetzung noch der Referenzsituation, aber eine Anzahl von wandernden Fischarten fehlt und sowohl die Dichte als auch die Biomasse der meisten anderen Arten verringerte sich ernsthaft. Die Populationsdichte typischer Indikatorarten bewegt sich auf sehr geringem Niveau.

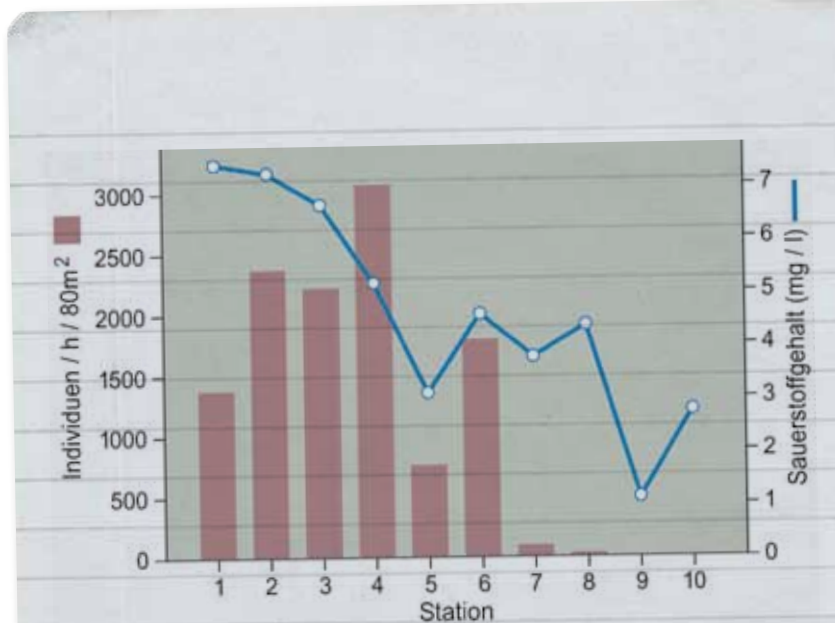


Abb. 8 Abundanzen der Fischfauna (Individuen/h/80m² Netzöffnungsfläche) und mittlere Sauerstoffkonzentration (mg/l) im Emsästuar (mittleres Ästuar und tidebeeinflusster Flussabschnitt (Station 8: Nebenfluss Leda)) im Herbst 2006 (BIOCONSULT 2006). Die Stationen 1-10 entsprechen den Orten Rysum, Wybelsum, Emden, Petkum, Terborg, Jemgum, Leer, Leda, Weener und Papenburg.

VOGELS

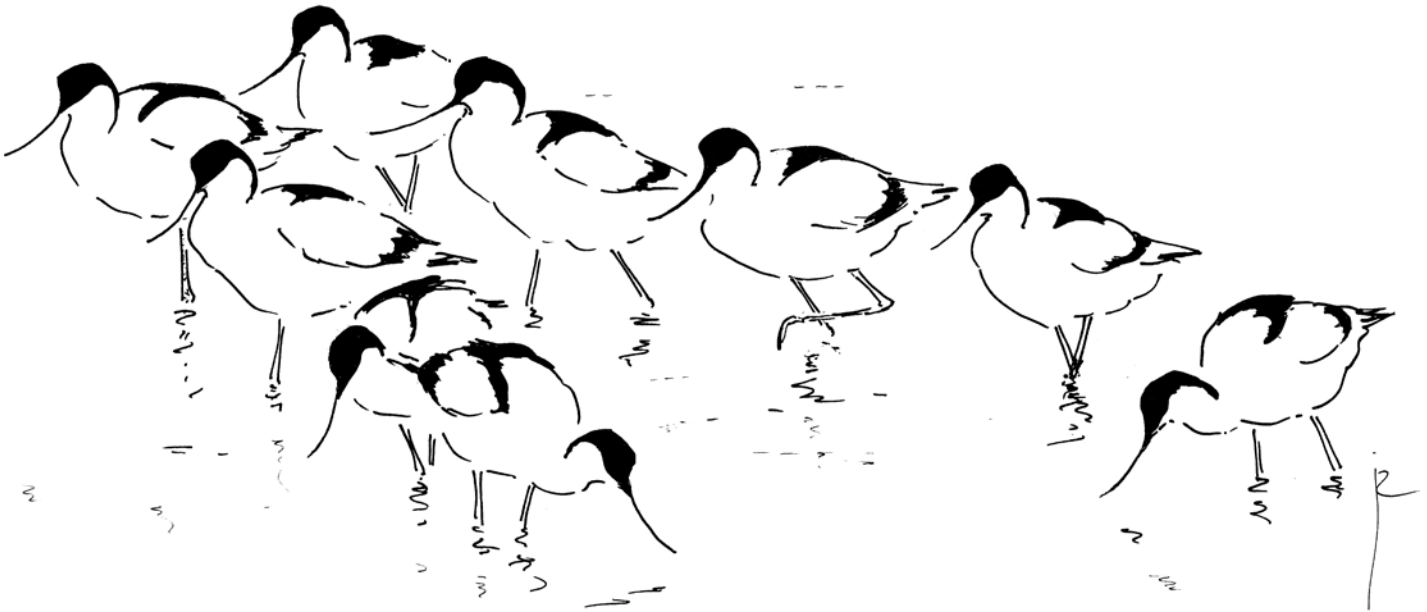
Recente informatie over aantallen en trends van broedende en doortrekkende vogels zijn voor het mondingsgebied en het middendeel weergegeven in Aarts et al. (2008) en Liefting et al. (2011). Gegevens van de Dollard en gebieden in de buurt van de getijdenrivier worden gepresenteerd in Gerdes (2000), Reuter (2000) en Prop et al. (1999). Specifieke overzichten met recente gegevens van de Dollard zijn in voorbereiding, maar voor de getijdenrivier is de beschikbare informatie verspreid over verschillende gegevens rapporten (pers. med. J. Prop en K. Gerdes).

In het mondingsgebied, maar ook in het middendeel, nemen drie soorten waar instandhoudingsdoelen voor zijn gesteld af. De overige soorten zijn stabiel of nemen toe over de laatste 30 jaar tot 2005 (Aarts et al. 2008). Het probleem voor de afnemende soorten (Eidereend, Scholekster) heeft te maken met hun voedsel of met de beschikbaarheid van geschikte nestlocaties (Visdief). In het algemeen is er voor vogels geen reden tot ongerustheid in dit deel van het estuarium.

De Kluut (*Recurvirostra avocetta*), een kenmerkende soort van de Dollard, nam tot 1997 in aantal af, maar nam vervolgens toe over de laatste tien jaar (pers. med. J. Prop en K. Gerdes). Trends in de klutenpopulatie houden verband met het herstel van de Dollard na de sanering, en de huidige aantallen zijn waarschijnlijk natuurlijker dan die uit het verleden. Het is interessant dat de Kanoet een duidelijke toename laat zien

na 2005, dit in tegenstelling tot de rest van de Waddenzee. Deze trend loopt parallel aan de geobserveerde lokale toename van het Nonnetje (*M. balthica*), de hoofdprooi van de Kanoet. De Zwarte ruiter (*Tringa erythropus*) en Tureluur (*T. totanus*) namen toe tot 1995, volgend op herstel naar meer natuurlijke condities in de Dollard (Prop et al. 1999). Recentere gegevens geven echter aan dat beide soorten weer aan het afnemen zijn (pers. med. K. Gerdes). De huidige problemen in de regio van de getijdenrivier hebben betrekking op de broedvogels in het voorland, zoals kiekendieven, zangvogels en weidevogels. Een deel van het broedhabitat is afgenomen in kwaliteit door intensief agrarisch gebruik. Dat is niet direct gerelateerd aan veranderingen in de rivier. In relatie tot de veranderingen in morfologie en hydrologie van het estuarium, is er ongerustheid over de effecten van erosie, het dumpen van baggerslib, meer frequente overstromingen en kunstmatige langdurige overstroming in het kader van de zogenaamde 'Sommerstau', op het broedsucces en de beschikbaarheid van geschikt broedhabitat (pers. med. K. Gerdes and H. Kruckenberg). Het effect van 'Sommerstau' moet worden bezien in verhouding tot stormvloed. Stormvloed komen tegenwoordig waarschijnlijk op zichzelf frequenter voor tijdens het broedseizoen dan in het verleden, gegeven de huidige morfologie en veranderingen in zeespiegel en klimaat. Het is niet duidelijk in hoeverre deze processen nu in de getijdenrivier bestudeerd worden, maar van der Pol et al. (2010) lieten zien dat een natuurlijke stormvloed tegenwoordig vaker 's zomers in de Waddenzee voorkomt.





VÖGEL

Aktuelle Informationen über Anzahlen und Trends von Brut- und Rastvögeln im äußeren und mittleren Ästuar enthalten Aarts et al. (2008) und Liefing et al. (2011). Daten für den Dollart und die Gebiete um das Flussästuar liefern Gerdes (2000), Reuter (2000) und Prop et al. (1999). Genaue Übersichten mit aktuellen Daten für den Dollart sind in Vorbereitung, aber für das obere Emsästuar finden sich die verfügbaren Informationen jedoch in verschiedenen Berichten (pers. Mitt. J. Prop und K. Gerdes).

In den letzten 30 Jahren nahmen bis 2005 in der äußeren Ems als auch im mittleren Ästuarabschnitt etwa drei der Arten mit Schutzzielen ab, die übrigen Bestände sind stabil oder nahmen zu (Aarts et al. 2008). Die Probleme der abnehmenden Arten haben mit den Nahrungsgrundlagen (Eiderente, Austernfischer) oder der Verfügbarkeit von geeigneten Bruthabitaten (Flusseeeschwalbe) zu tun. Im Allgemeinen erfordert die Situation der Vögel in diesem Teil des Ästuars keiner besonderen Beachtung.

Eine typische Art des Dollarts, der Säbelschnäbler (*Recurvirostra avocetta*), nahm bis 1997 ab, erholte sich aber wieder im letzten Jahrzehnt (pers. Mitt. J. Prop und K. Gerdes). Die Entwicklung der Säbelschnäblerpopulation hängt mit der Zustandsverbesserung des Dollarts nach der Abwasserklärung zusammen. Die aktuellen Bestände kommen dem natürlichen Zustand vermutlich näher als die in der Vergangenheit. Interessanterweise zeigt der Knutt eine bemerkenswerte Zunahme ab 2005 ganz im Gegensatz zum übrigen Teil des niederländischen Wattenmeeres. Diese

Entwicklung verläuft parallel zu der beobachteten lokalen Zunahme von *Macoma balthica*, der Hauptnahrungsquelle der Knutts. Dunkler Wasserläufer (*Tringa erythropus*) und Rotschenkel (*Tringa totanus*) haben seit 1995 wegen der Verbesserung des Dollarts in Richtung des natürlichen Zustandes zugenommen (Prop et al. 1999). Aktuelle Darstellungen zeigen jedoch, dass beide Arten zurzeit im Bestand wieder zurückgehen (pers. Mitt. K. Gerdes). Die aktuellen Probleme im Flussästuar betreffen auch die Brutvögel im Vorland, wie z. B. Weihen, Singvögel und Wiesenvögel. In Teilen des Bruthabitates vermindert sich die Qualität durch intensive Landwirtschaft, die nicht direkt im Zusammenhang mit den Veränderungen des Flusses steht. In Hinblick auf die morphologischen und hydrologischen Veränderungen sind die Auswirkungen der Bodenerosion, des Verklappens von Baggergut, häufigerer Überflutungen und künstlich erzeugter Überflutungen während des sogenannten „Sommerstaus“ auf den Bruterfolg und die Verfügbarkeit von geeigneten Bruthabitaten besorgniserregend (pers. Mitt. K. Gerdes und H. Kruckenberg). Die Auswirkungen des „Sommerstaus“ müssen im Vergleich zum Einfluss der Sturmfluten beurteilt werden. Sturmfluten können heutzutage häufiger als in der Vergangenheit während der Brutzeit auftreten, wenn man die aktuelle Morphologie und die Änderungen des Meeresspiegels und des Klimas betrachtet. Es ist unvorhersehbar zu welchem Ausmaß die derzeit untersuchten Prozesse im Bereich des Flussästuars führen, aber van der Pol et al. (2010) zeigen, dass natürlich bedingte Höchstwasserstände im Sommer mittlerweile im Wattenmeer häufiger vorkommen.

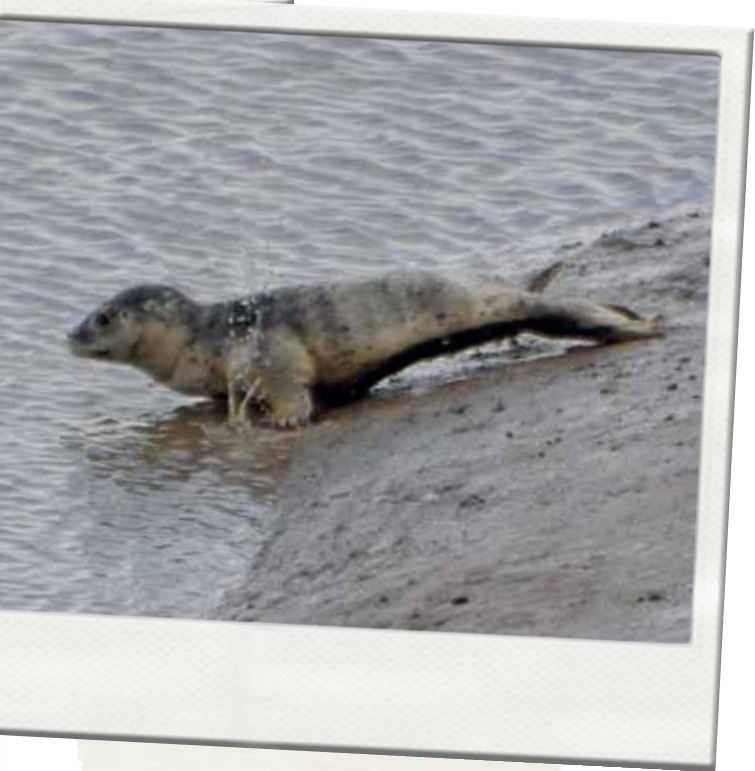
ZOOGDIEREN

De beschikbare informatie over zeezoogdieren in het Eems-Dollard estuarium is gedocumenteerd door Brasseur (2007), Reijnders et al. (2009) en Brasseur et al. (2010). De verspreiding en de aantallen zeezoogdieren worden jaarlijks bijgehouden aan de hand van vliegtuigtellingen in de zomer. In 2008 is begonnen met het intensief monitoren van zeezoogdieren om de effecten van allerlei projecten in de Eemshaven te evalueren. De aantallen zeehonden en Bruinvissen zijn toegenomen over de laatste decaden. Het Eems-Dollard estuarium herbergt momenteel ongeveer 2000 Gewone zeehonden (*Phoca vitulina*), waarvan de belangrijkste rustgebieden op De Hond-Paap en in de Dollard gelegen zijn. De Bruinvis (*Phocoena phocoena*) wordt regelmatig waargenomen in het Eems-Dollard estuarium, maar kwantitatieve informatie over de soort ontbreekt. De Grijze zeehond (*Halichoerus grypus*) heeft het Eems-Dollard estuarium recent gekoloniseerd en wordt vooral in het mondingsgebied in de buurt van Borkum gevonden.

De populatieontwikkelingen kunnen mogelijk gehinderd worden door menselijke verstoring (baggeren, constructie, heien en recreatie) en de beperkte beschikbaarheid van vis als voedselbron. Kennishiaten zijn geïdentificeerd door Brasseur (2007) en zijn gerelateerd aan de rol van de Eems voor Gewone zeehonden en de interactie tussen de Dollard en de rest van het estuarium.

Otters (*L. lutra*) kwamen in het verleden in het gebied van de getijdenrivier voor, maar zijn nu afwezig (Krüger 2006). Tegenwoordig is het habitat zeer waarschijnlijk ongeschikt geworden voor Otters. Het lokale verdwijnen van Otters vond echter plaats vóórdat de grootschalige veranderingen in het gebied plaatsvonden en men neemt aan dat dit veroorzaakt is geweest door habitatvernietiging, vervuiling en sterke vervolging in het verleden (Krüger 2006).





SÄUGETIERE

Die vorhandene Information über Meeressäuger im Ems-Ästuar wird in Brasseur (2007), Reijnders et al. (2009) und Brasseur et al. (2010) zusammengefasst. Verteilung und Anzahlen werden jedes Jahr durch Flugzeugzählungen im Sommer erfasst. 2008 begann ein zusätzliches intensives Monitoring der Meeressäuger um den Einfluss des Eemshavenprojektes zu untersuchen. Die Anzahlen von Seehunden (*Phoca vitulina*) und Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) haben in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Das Emsästuar beherbergt derzeit etwa 2.000 Seehunde, deren Hauptliegeplätze auf dem Hond-Paap und im Dollart liegen. Schweinswale werden regelmäßig im Emsästuar beobachtet, quantitative Angaben dazu fehlen jedoch. Kegelrobben (*Halichoerus grypus*) besiedeln seit Kurzem das Emsästuar und halten sich hauptsächlich bei Borkum im äußeren Ästuar auf.

Die Bestandsentwicklungen werden evtl. durch anthropogene Störungen (Bagger-, Bau- und Rammarbeiten sowie Freizeitaktivitäten) und die begrenzte Verfügbarkeit von Fisch als Nahrungsgrundlage gestört. Lücken im Wissen sind in Brasseur (2007) beschrieben und beziehen sich auf die Rolle der Ems für den Seehund und der Interaktion zwischen dem Dollart und dem übrigen Ästuar.

Fischotter (*Lutra lutra*) bewohnten in der Vergangenheit den Oberlauf der Ems, fehlen aber gegenwärtig (Krüger 2006). Heute ist das Flusshabitat jedoch aufgrund ihrer Jagdtechnik ungeeignet für Otter. Das lokale Verschwinden begann aber bevor die großen Veränderungen im Flussästuar der Ems stattfanden. Es wird vermutet, dass die Gründe dafür in der allgemeinen Zerstörung des Lebensraumes, der Umweltverschmutzung und der intensiven Verfolgung in der Vergangenheit liegen (Krüger 2006).



3.5 HUIDIG & TOEKOMSTIG ONDERZOEK

KENNISHIATEN

Bijna elke studie identificeert kennishiaten, sommige op een zeer gedetailleerd niveau (Jager et al. 2009a; de Jonge & Brauer 2006; Talke & de Swart 2006), andere meer op hoofdlijnen (NLWKN niet gepubliceerd; RWS 2009; Oost & Lammerts 2007).

Het belangrijkste hiaat is:

- 1) Het ontbreken van een gedetailleerd kwantitatief begrip over de ontwikkeling in het estuarium van de rivier, zoals zij was in de jaren 1950, tot de huidige troebele toestand. Dit is een belangrijke voorwaarde voor het plannen van herstelmaatregelen (zie onder).

Andere hiaten, waarbij we niet claimen volledig te zijn:

- 2) Wat veroorzaakte de afname van Zeegras bij De Hond-Paap na 2004?
- 3) Wat zijn de effecten van 'Sommerstau' op broedvogels?
- 4) Wat zijn de veranderingen in de verspreiding van macrobenthos in de Dollard (sinds het onderzoek door Essink en medewerkers in 1985); in hoeverre is de wadpier uit de baai verdwenen en wat is een mogelijke verklaring hiervoor?
- 5) Wat is the relatie tussen troebelheid, de functionele samenstelling van het fytoplankton en de primaire productie?
- 6) Met betrekking tot vissen: wat zijn de effecten van de onttrekking van koelwater? Wat is de huidige functie van de Dollard voor reproductie en populatieontwikkeling van de Garmaal, belangrijk voedsel voor vis?

HUIDIGE MONITORING EN ONDERZOEK

De beschikbare informatie wordt constant gemoderniseerd. Jager et al. (2009a) beschrijven in een compleet hoofdstuk de beschikbare gegevens, de huidige monitoring en toekomstige onderzoeksprogramma's vanaf 2009. Een recent onderzoeksprogramma, dat gestart is na 2009, is gericht op de bovengenoemde relatie tussen troebelheid en primaire productie (van Maren pers. med.). Additionele gegevens worden op dit moment verzameld binnen het raamwerk van de planprocedures in verband met toekomstige vaargeulverdiepingen.

Na een periode van drastische bezuinigingen op Nederlandse monitoringsprogramma's (de Jonge et al., 2006) is hier recent de aandacht weer voor toegenomen. Het ontbreekt de verschillende programma's echter aan integratie vanuit een ecosysteembenadering, zoals gesuggereerd door de Jonge et al. (geaccepteerd). Er is een uitgebreide en geïntegreerde aanpak nodig, waarin deugdelijke hypothesen betreffende het functioneren van het ecosysteem worden getest, en 'state-of-the-art' modellen worden ontwikkeld, gebruikmakend van zorgvuldig verzamelde gegevens. Hiervoor suggereren we de bestaande inspanningen in het gebied met elkaar te verbinden om daarmee optimale resultaten te krijgen.

3.5 AKTUELLE & ZUKÜNFTIGE FORSCHUNG

WISSENSLÜCKEN

Fast jede Untersuchung deckt Wissenslücken auf, einige auf sehr detailliertem Niveau (Jager et al. 2009a, de Jonge & Brauer 2006, Talke & de Swart 2006) andere mehr auf genereller Ebene (NLWKN unveröff, RWS 2009, Oost & Lammerts 2007).

Die größte Lücke ist:

- 1) das Fehlen eines genauen quantitativen Verständnisses der Entwicklung des Ästuars vom Fluss in den 1950er Jahren bis zu seinem aktuellen trüben Zustand. Das auch eine Voraussetzung für die Planung des Sanierungsumfanges sein wird (s. u.)

Andere wichtige Lücken, ohne damit alle genannt zu haben, sind:

- 2) Was verursachte die Abnahme des Seegrases bei Hond-Paap nach 2004?
- 3) Was sind die Auswirkungen des Sommerstaus auf die Brutvögel?
- 4) Wie sind die Veränderungen der Makrozoobenthosverteilung in der Dollartbucht nach der Untersuchung von Essink und Kollegen 1985? In welchem Ausmaß hat der Wattwurm die Bucht verlassen und was ist die dafür mögliche Erklärung?
- 5) Wie ist die Beziehung zwischen Wassertrübung, funktioneller Zusammensetzung des Phytoplanktons und Primärproduktion?
- 6) In Hinblick auf die Fische: die Auswirkung der Kühlwasserentnahme, die aktuelle Bedeutung des Dollarts für die Reproduktion und die Bestandsentwicklung der Garnelen als Nahrungsgrundlage für Grundfische.

AKTUELLES MONITORING UND FORSCHUNG

Die vorhandenen Informationen werden ständig auf den neuesten Stand gebracht. In Jager et al. (2009a) befasst sich ein ganzes Kapitel mit den vorhandenen Daten, laufenden Monitoringprogrammen und den aktuellen Forschungsprojekten bis 2009. Ein neues Forschungsprogramm, das nach 2009 begann, konzentriert sich auf die oben erwähnte Beziehung zwischen der Wassertrübung und der Primärproduktion (van Maren pers. Mitt.). Zusätzliche Daten werden derzeit im Rahmen der Planungsverfahren für weitere Vertiefungen gesammelt.

Nach einer Zeit starker Reduzierung des niederländischen Monitoringaufwandes (de Jonge et al. 2006) hat das Interesse in den letzten Jahren diesbezüglich wieder stark zugenommen. Es fehlt aber eine Zusammenführung der verschiedenen Programme im Sinne des Ökosystems wie z.B. von de Jonge et al. (in prep.) angeregt. Ein vergleichender und integrierter Ansatz ist notwendig, bei dem geeignete Hypothesen zur Funktionsweise des Ökosystems getestet werden und zeitgemäße Modelle unter Verwendung sorgfältig aufgenommener Daten entwickelt werden. Hierzu wird angeregt, die vorhandenen Aktivitäten in diesem Raum zu vernetzen, um die Ergebnisse zu optimieren.



4 Samenvatting van de ecologische beperkingen

In bovenstaande secties zijn de essentiële trends met betrekking tot de ecologie en de hydromorfologie geïdentificeerd. We hebben verschillende regio's binnen het estuarium onderscheiden, omdat deze ecologisch en functioneel verschillend zijn. We zullen nu de belangrijkste problemen samenvatten, nader specificeren in welke regio's deze vooral spelen en deze vervolgens confronteren met wat we beschreven hebben voor een natuurlijke referentiesituatie in hoofdstuk 2 en 3. Hiermee kunnen we ons in het volgende hoofdstuk gericht bezig gaan houden met mogelijkheden voor herstel.

4.1 GETIJDENRIVIER

Enkele van de ecologische tekortkomingen zijn het meest duidelijk in de getijdenrivier. Deze regio is de laatste 20 jaar sterk gedegradeerd, ook in vergelijking met andere estuaria van de Weser, Elbe en Eider (Schuchardt et al. 2007).

- 1) Een groot deel van de getijdenrivier wordt gedomineerd door extreem hoge concentraties aan zwevende stof (en het daarmee samenhangend organisch materiaal); dit resulteert in lange periodes van ernstig zuurstoftekort over afstanden die variëren van 15 – 25 km;
- 2) De kwantiteit en kwaliteit van de estuariene habitats in de getijdenrivier is door diverse oorzaken beperkt;
- 3) Spiering, Fint en gerelateerde vissoorten missen geschikt paaigebied en voor de larven zijn de omstandigheden om uit te groeien in de getijdenrivier ongunstig;
- 4) De benthische gemeenschap is extreem verslechterd met betrekking tot soortenrijkdom, dichtheden en biomassa;



- 5) Door verslechterd doorzicht wordt de primaire productie per eenheid oppervlakte beperkt in de zoetwater zone van de getijdenrivier. In vergelijking met het gehele estuarium is dit een relatief gering effect, aangezien de oppervlakte van deze zone klein is.

In een natuurlijke referentiesituatie is de zone met hoge troebelheid (MTZ) veel kleiner en ligt deze veel meer richting de monding van de rivier, bijvoorbeeld in de buurt van Emden. In die referentiesituatie komt zuurstoftekort niet voor en kunnen vissoorten reproduceren en onbelemmerd migreren. De karakteristieke diadrome vissoorten zouden weer aanwezig zijn en het oppervlak en de kwaliteit van de estuariene habitats zouden beide significant groter in omvang zijn dan nu het geval is. Wij stellen een streefbeeld voor dat deze natuurlijke referentie dicht benadert.

4.2 MIDDENDEEL EN DOLLARD

In het middendeel zijn er veel redenen voor ongerustheid over de troebelheid en daling van de bodem ten gevolge van gaswinning, de kwetsbaarheid van zeegrasvelden, veranderingen in het macrobenthos, en de dalende visbestanden. Het mogelijke verdwijnen van de wadpier uit de Dollard kan gerelateerd zijn aan de grote hoeveelheden fijn materiaal in het



4 Zusammenfassung ökologischer Probleme

In den vorstehenden Kapiteln haben wir die grundlegenden Entwicklungen mit Blick auf die Ökologie und Hydromorphologie herausgestellt. Wir haben verschiedene Regionen innerhalb des Ästuars aufgrund ihrer ökologischen und funktionellen Unterschiede differenziert. Im Folgenden werden wir die Hauptprobleme zusammenfassen und im Einzelnen aufführen, welche Region sie hauptsächlich betreffen. Das werden wir dem, was wir für die natürliche Referenzsituation in Kapitel 2 und 3 beschrieben haben, gegenüberstellen um damit im darauf folgenden Kapitel Möglichkeiten der Verbesserung vorzustellen.



4.1 TIDEBEEINFLUSSTER FLUSSABSCHNITT (FLUSSÄSTUAR)

Einige der ökologischen Defizite sind am deutlichsten im Flussästuar. Dieser Abschnitt zeigte starke Degradationen in den letzten 20 Jahren, auch im Vergleich zu anderen Ästuaren wie Weser, Elbe und Eider (Schuchardt et al. 2007).

- 1) Ein großer Teil des Flussästuars der Ems wird von extrem hohen Schwebstoffkonzentrationen beherrscht (und dem damit verbundenen organischen Material), was zu lang anhaltenden Zeiträumen mit starkem Sauerstoffmangel über Strecken von 15 bis 25 km führt.
- 2) Quantität und Qualität der Ästuarhabitats im Flussästuar sind aus verschiedenen Gründen eingeschränkt.
- 3) Stint, Finte und ähnliche Fischarten finden keine geeigneten Laichhabitats und nur ungünstige Bedingungen zum Aufwachsen der Larven im Flussästuar vor.
- 4) Die Benthosgemeinschaft hat sich bezüglich Artenzahl, Populationsdichte und Biomasse extrem verschlechtert.
- 5) Wegen der verschlechterten Lichtverhältnisse hat sich die Primärproduktion pro Flächeneinheit im Flussästuar verringert. Hinsichtlich des gesamten Ästuars hat dies relativ geringe Auswirkungen, wenn die Oberfläche des tidebeeinflussten Flussabschnittes gering ist.

In einer natürlichen Referenzsituation ist der Bereich der höchsten Wassertrübung (MTZ) wesentlich geringer und liegt näher an der Flussmündung, d.h. bei Emden. Im Referenzzustand gibt es keinen Sauerstoffmangel und Fische können sich ungehindert reproduzieren und wandern. Die typischen wandernden Fischarten wären wieder vorhanden und das Ausmaß und die Qualität der Ästuarhabitats ist wesentlich höher als zurzeit. Wir empfehlen ein Entwicklungsziel, das sich diesem natürlichen Zustand möglichst stark annähert.

4.2 MITTLERES ÄSTUAR UND DOLLART

Im mittleren Ästuarbereich gibt es ausreichend Grund zur Besorgnis wegen der Wassertrübung und der Bodenabsenkung durch die Gasförderung, der Empfindlichkeit der Seegraswiesen, den Veränderungen der Makrobenthosgemeinschaft und den abnehmenden Fischbeständen. Das offenbare Verschwinden des Wattwurms aus dem Dollart kann mit dem Vorkommen von großen Mengen von feinem Material im System zusammenhängen. Neben der verstärkten Wassertrübung lassen sich verschiedene andere Gefahren erkennen, z. B. die Entnahme von Kühlwasser im großen Stil und Abgabe von erwärmtem Abwasser. Die Wanderwege zwischen Dollart und dem übrigen Einzugsgebiet sind weit vom Optimum entfernt. Es ist auch offensichtlich, dass die hydrodynamische Beschaffenheit der

systeem. Los van de toename van de troebelheid zijn er enkele andere bedreigingen die zijn geïdentificeerd. Bijvoorbeeld het op grote schaal onttrekken van water als koelmiddel en de bijbehorende uitstroom van warm koelwater in het systeem. De mogelijkheden voor visintrek tussen de Dollard en het stroomgebied zijn nog steeds verre van ideaal. Het is ook duidelijk dat de hydrodynamische eigenschappen van de geulen veranderd zijn door het baggeren. Eigenlijk is het estuarium nu dicht bij een systeem met één enkele geul. De situatie is niet zo alarmerend als in de getijdenrivier, maar de problemen hangen samen en behoeven aandacht en actie.

In de natuurlijke referentiesituatie zou er een meervoudig geulensysteem functioneren, met een open verbinding tussen de Dollard en de Westervoldsche Aa, de troebelheid zou minder zijn (wat waarschijnlijk leidt tot een iets hogere primaire productie en verhoogde biodiversiteit) en als resultaat zouden de omstandigheden verbeteren op hogere trofische niveaus. Herstel van een open verbinding tussen de Dollard en de Westervoldsche Aa is echter onhaalbaar, vanwege de toegenomen waterstand in het estuarium en de historische ontwikkelingen waardoor de bodem van het achterland is gedaald. Een meer realistisch streefbeeld omvat het optimaliseren van de mogelijkheden voor vismigratie bij de uitwateringssluits (Nieuwe Statenzijl).

4.3 MONDINGSGBIED

Het mondingsgebied wordt ook geconfronteerd met een toename van de troebelheid, hoewel minder ernstig dan in de getijdenrivier. Maar het oppervlak van het mondingsgebied is aanmerkelijk groter en licht vormt hier een beperkende factor voor de groei van algen. Ook wordt er op grote schaal water onttrokken als koelmiddel en stroomt warm koelwater terug in het systeem. De belangrijkste problemen in dit gebied zijn:

- 6) Verminderde primaire productie door toegenomen troebelheid.
- 7) Onttrekken van koelwater, waar vissen negatief door worden beïnvloed.

Het sterke vermoeden bestaat dat de primaire productie in de natuurlijke referentie aanzienlijk hoger is dan in de huidige situatie (misschien wel 100 - 200% meer, zie § 3.4). Als er gekozen wordt voor een streefbeeld waarbij het doorzicht in het mondingsgebied wordt verbeterd, dan kan men er van uit gaan dat dit ten goede komt aan de gehele estuariene voedselketen.



4.4 ALGEMENE ECOLOGISCHE BEPERKINGEN

Enkele van de belangrijkste ecologische beperkingen hebben een algemene geldigheid en hebben gevolgen voor alle regio's. Dat zijn de volgende:

- 8) De instroom van nutriënten en giftige stoffen is over het algemeen afgenomen, maar blijft nog steeds boven het streefniveau;
- 9) De diffuse effecten van verstoring door menselijke activiteit die zich opeenstapelen; en
- 10) de barrières voor migratie tussen het zoute en het zoete water.

4.5 RICHTEN OP FUNDAMENTELE PROBLEMEN

Hoewel we gespecificeerd hebben welke problemen spelen in welke regio's moeten we benadrukken dat de regio's afhankelijk zijn van elkaar. Zoals in het volgende hoofdstuk uiteen wordt gezet, is het mogelijk om in één regio in te grijpen, met als doel de condities in andere regio's te verbeteren. De ecologische beperkingen hebben meerdere oorzaken en er is een gevarieerd palet aan acties nodig. De kernproblemen blijven echter de sterk kunstmatige morfologie en het daaraan gerelateerde fenomeen van 'tidal pumping'. Hierdoor wordt de waterkwaliteit en de kwaliteit van de estuariene habitats zo beïnvloed dat deze problemen als 'fundamenteel' kunnen worden beschouwd. We zullen ons blikveld voor herstel daarom vooral richten op verbeteringsmogelijkheden die hier verbonden mee zijn.



Abflussrinnen sich durch Baggerarbeiten verändert hat. Im Grunde ist das Ästuar zurzeit fast ein Ein-Kanalsystem. Die Situation mag noch nicht so alarmierend wie im Flussästuar sein, aber die Schwierigkeiten sind miteinander verknüpft und bedürfen erhöhter Wachsamkeit und raschem Handeln.

Der ungestörte Naturzustand hat ein Multi-Kanalsystem, eine offene Verbindung von Dollart und Westerwoldsche Aa, verringerte Wassertrübung (was vermutlich zu einer etwas höheren Primärproduktion und zunehmender Biodiversität führt) und als ein Ergebnis dessen verbesserte Bedingungen auf einem höheren trophischen Niveau. Die Wiederherstellung einer offenen Verbindung zwischen Dollart und Westerwoldsche Aa jedoch muss wegen der historischen Entwicklung der Landgewinnung im Binnenland und dem steigenden Wasserspiegel im Ästuar als nicht realisierbar angesehen werden. Ein realistisches Ziel für die Renaturierung könnte eine Optimierung der Wandermöglichkeiten für Fische an der Mündungsschleuse (Nieuwe Stanzijl) sein.

4.3 ÄUßERES ÄSTUAR

Obwohl weniger ernsthaft als das Flussästuar ist auch das äußere Ästuar mit einer Zunahme der Wassertrübung konfrontiert worden. Allerdings ist die Ausdehnung des äußeren Ästuars wesentlich größer. Der limitierende Faktor für das

Algenwachstum ist ebenfalls das Licht in diesem Bereich. Daher ist die vorhergesagte Wirkung der stärkeren Wassertrübung auf die Primärproduktion sehr groß. Auch im äußeren Ästuar wird in großem Ausmaß Kühlwasser entnommen und erwärmtes Abwasser eingeleitet. Die Hauptprobleme in dieser Region sind daher:

- 6) Die verringerte Primärproduktion durch verstärkte Wassertrübung.
- 7) Die Entnahme von Kühlwasser, die sich negativ auf die Fischfauna auswirkt.

Die Primärproduktion im ungestörten Naturzustand wird als wesentlich größer (vielleicht 100 bis 200% mehr, s. Kap. 3.4) angenommen als sie es derzeit ist. Wenn ein Entwicklungsziel gewählt wird, das die Lichtverhältnisse im äußeren Ästuar verbessert, kann erwartet werden, dass es grundlegende Wirkung auf die gesamte Nahrungskette im Ästuar haben wird.

4.4 ALLGEMEINE ÖKOLOGISCHE PROBLEME

Einige der hauptsächlichen ökologischen Probleme sind allgemein gültig und haben Folgen für jede der Regionen. Es sind:

- 8) Der Eintrag von Nährstoffen und giftigen Substanzen, der generell abnimmt, aber noch über den gewünschten Werten liegt;
- 9) der sich ausweitende und zunehmende Einfluss durch Störungen anthropogener Aktivität; und
- 10) die Barrieren bei der Wanderung zwischen Salz- und Süßwasser.

4.5 BLICK AUF DIE GRUNDLEGENDEN PROBLEME

Obwohl wir geklärt haben, welche Probleme welche Region am meistens betreffen, müssen wir betonen, dass die Regionen voneinander abhängig sind. Wie im nächsten Kapitel herausgestellt wird, wird es als praktikabel erachtet, in einer Region aktiv zu werden, um die ökologischen Verhältnisse auch in anderen Teilen zu verbessern. Die ökologischen Probleme sind, multikausal und erfordern verschiedene Maßnahmenpakete. Kernprobleme sind jedenfalls die stark künstliche Morphologie des Ästuars und das damit verbundene Phänomen des „tidal pumping“. Sie beeinträchtigen die Wasserqualität und die Qualität der Ästuarhabitate in solcher Weise, dass sie als „fundamental“ bezeichnet werden können. Daher werden wir unsere Vorschläge für eine Sanierung auf die Möglichkeiten begrenzen, die sich mit diesen Problemen befassen.

5 Huidige mogelijkheden voor ecologisch herstel

De ecologische toestand van het hele Eems-Dollard estuarium is 'slecht' en voor de getijdenrivier wordt deze vaak als 'alarterend' beoordeeld. En er zitten nog behoorlijk wat ontwikkelingen in de pijplijn (benoemd in Jager et al. 2009a). Dit betekent dat de huidige trend van een toenemende menselijke invloed waarschijnlijk voortschrijdt. Verschillende EU-richtlijnen eisen verbetering van het Eems-Dollard-ecosysteem. Deze, en andere motieven om te proberen om de beperkingen teniet te doen of te verzachten, worden besproken in De Jonge (2009). In dit hoofdstuk presenteren we maatregelen waarvan verwacht wordt dat ze de belangrijkste symptomen van, of de mechanismen achter, de ecologische problemen in het estuarium beïnvloeden. In het vorige hoofdstuk hebben we beargumenteerd dat het kernprobleem vooral ligt in het zuurstoftekort (getijdenrivier) en de toegenomen troebelheid (gehele estuarium). Deze worden veroorzaakt door de sterk kunstmatige morfologie van het estuarium en het daaraan gelieerde fenomeen van 'tidal pumping'.

5.1 HUIDIGE MOGELIJKHEDEN

Met betrekking tot het ecologische herstel zijn er veel mogelijkheden beschikbaar, voorgedragen of weergegeven door Kuijper & Lentz (2011), Schuchardt et al. (2009), Schuttelaars et al. (2011), van der Welle & Meire (1999), met toegevoegde ideeën in de vorm van persoonlijk commentaar door A. Oost, D. Post and W. Rodiek (zie tabel 2).

Voor een grondig begrip van elk van deze dient men zich te wenden tot de genoemde bronnen. De voorstellen opgesomd in tabel 2 zijn allemaal geselecteerd op het criterium dat ze de waterkwaliteit beïnvloeden. Het mechanisme waarmee verwacht wordt dit te bereiken verschilt in detail, maar op hoofdlijnen beïnvloeden ze alle de getijdekenmerken. Het merendeel van de genoemde opties vereist ingrepen in de getijdenrivier of verder stroomopwaarts, maar sommige zijn er geformuleerd voor het mondingsgebied of het middendeel (opties 4, 7 and 8). Sommige voorstellen zijn gericht op het beïnvloeden van de fundamentele problemen, andere mitigeren alleen de gevolgen. Wij besloten de opties te rangschikken op basis van een expertbeoordeling. Hierbij zijn de opties met plussen en minnen beoordeeld op de mate waarin deze het systeem wel of niet sturen in de richting van een meer natuurlijke referentie toestand, en vervolgens op wat de omvang van het effect op het biologische probleem zou kunnen zijn.

Voor een juiste beoordeling is de kennis over de verschillende opties en de gevolgen daarvan, echter niet toereikend. Voor sommige van deze opties (en enkele andere) zal op korte termijn een gedetailleerde analyse en een vergelijking worden uitgevoerd door de Duitse autoriteiten (Claus, pers. med.)

Er is een categorie mogelijkheden met aanzienlijk positieve effecten op het biologische probleem, maar die het systeem verder wegduwen van de natuurlijke referentiesituatie. Bijvoorbeeld de opties om de getijden te manipuleren bij binnenkomst in de getijdenrivier (tabel 2, opties 1 en 2) of die de getijdeninvloed in z'n geheel blokkeren (3). Deze drie opties zijn sterk gericht op de symptomen van het probleem, maar de prijs die hiervoor betaald zal worden is een nog sterker veranderd estuarium.

Daarnaast zijn er opties die proberen de essentiële processen te beïnvloeden, maar die niet duidelijk overeenstemmen met de natuurlijke referentiesituatie. Deze interfereren ook niet met de kern van het probleem. Deze opties zijn: (4) het creëren van ondiepe delen in de Noordzeekustzone aansluitend aan het 'Hohes Riff', (5) een getijdenbassin, (6) verlaging van het voorland, (7) een versmalling van de vaarweg.

5 Aktuelle Möglichkeiten zur Verbesserung der ökologischen Situation

Der ökologische Zustand des gesamten Emsästuars ist schlecht und für das Flussästuar mehrfach als „alarmierend“ beurteilt worden. Es gibt eine Anzahl geplanter Maßnahmen in der Region (aufgeführt in Jage et al. 2009a), die bedeuten, dass der aktuelle Trend des zunehmenden menschlichen Einwirkung vermutlich fortgesetzt wird. Verschiedene EU-Direktiven verlangen eine Verbesserung des Ökosystems im Emsästuar. Diese und andere Gründe, die Probleme zu lösen oder abzuschwächen, werden in de Jonge (2009) diskutiert. In diesem Kapitel stellen wir Maßnahmen vor, von denen erwartet wird, dass sie auf die essentiellen Symptome,

oder die Mechanismen dahinter, der ökologischen Probleme des Ästuars wirken. Im vorangegangenen Kapitel haben wir argumentiert, dass die Hauptprobleme in dem Sauerstoffmangel (Flussästuar) und der verstärkten Wassertrübung (gesamtes Ästuar) liegen. Verursacht werden diese durch die stark künstliche Morphologie des Ästuars und dem damit verbundenen Phänomen des „tidal pumping“.

5.1 AKTUELLE MÖGLICHKEITEN

In Hinblick auf eine Renaturierung liegen viele Möglichkeiten für ein Eingreifen vor, werden vorgebracht oder wurden untersucht von Kuijper & Lentz (2011), Schuchardt et al. (2009), Schuttelaars





Ten slotte zijn er opties geformuleerd die aangrijpen op de echte oorzaken en deze zijn het meest geschikt om het Eems-Dollard estuarium te sturen naar een meer natuurlijke toestand.

Dit zijn:

(8) herstel van het twee-geulen systeem, (9) openen van zomerdijken, (10) vegetatie-ontwikkeling, (11) terugplaatsen van een winterdijk, (12) verplaatsen van de stuw stroomopwaarts van Herbrum, (13) herverbinden van oude rivierlopen of zijrivieren en (14) het reduceren van de diepte van de vaarweg.

EEN INVENTARISATIE, GEEN CONCLUSIE

Voor al deze voorstellen moet men zich realiseren dat de omvang van de effecten afhankelijk zal zijn van de locatie en de schaal waarop ze worden uitgevoerd. De meeste opties hebben gevolgen voor de afmetingen van het systeem. Een geschikte schaal met betrekking tot de lengte van het estuarium (bij het verplaatsen van de stuw stroomopwaarts of stroomafwaarts) zou tientallen kilometers zijn en hetzelfde geldt voor het versmallen van de vaarweg in het mondingsgebied. De schaal met betrekking tot de vergroting van het estuarium (dijken verplaatsen) is waarschijnlijk honderden vierkante kilometers (A. Oost pers. med.). Tenslotte is de schaal waarop relevant herstel van de diepte plaats zou moeten vinden vergelijkbaar met de schaal waarop de veranderingen in het systeem destijds plaatsvonden (een verondieping van enkele meters).

Het valt buiten de reikwijdte van dit document om elke maatregel precies te omschrijven met betrekking tot aspecten van plaats en omvang. Een poging om voor deze opties kwantitatief een rangorde te bepalen is daarom niet zinvol. Criteria waar deze opties op beoordeeld zouden moeten worden zijn opgesteld door Schuchardt et al. (2009). Voor ons doel zijn de relevante criteria: 1) het reduceren van 'tidal pumping', 2) de verbetering van de zuurstofbeschikbaarheid, en 3) het herstel van estuariene gradiënten. Om een integrale objectieve afweging te maken moet men tevens rekening houden met 4) andere effecten op het aquatische ecosysteem, 5) bijdragen aan de doelstellingen van Natura-2000 en de Kader Richtlijn Water plus de mogelijke 'spin off' van de Kader Richtlijn Marien, 6) klimaatbestendigheid, en 7) potentiële conflicten betreffende de uitvoering. Uiteraard moeten 8) economische kosten en baten (estuariene goederen en diensten) en 9) veiligheidsaspecten in de beschouwing worden betrokken. Op dit moment is zo'n integrale beoordeling van de effectiviteit van elk van de opties in relatie tot deze criteria nog niet gemaakt. Modellen om dit nader te onderzoeken worden gebouwd in onderzoeksprogramma's van het WWF-DE en RWS/Deltares (Dijkstra et al. 2011; WWF 2010). Het is duidelijk dat niet alle opties nu volledig uitgewerkt kunnen of moeten worden. Wij geloven dat deze expertbeoordeling een stap verder kan gaan. Een verdere rangorde zou opgesteld moeten worden op basis van informatie van belanghebbenden en beleidsmakers in publieke discussie met wetenschappers.

et al. (2011) van der Welle & Meire (1999), mit ergänzenden Ideen als persönliche Mitteilung erhalten von A. Oost, D. Post und W. Rodiek (s. Tab. 2). Um die Möglichkeiten im Detail zu verstehen, muss man auf die genannten Quellen zugreifen. Die in Tab. 2 aufgeführten Vorschläge sind alle nach ihrer Wirkung auf die Wasserqualität ausgewählt worden. Die Mechanismen, von denen erwartet wird, dass sie dieses erreichen, mögen sich im Detail unterscheiden, im Grundsatz beeinflussen aber alle das tidenabhängige Geschehen. Der Hauptteil der erwähnten Optionen erfordert eine Durchführung im Flussästuar oder weiter oberhalb, aber einige gelten für das äußere oder mittlere Ästuar (Option 4, 7, 8). Einige Vorschläge versuchen, die eigentliche Ursache zu beeinflussen, andere schwächen die Symptome ab. Wir haben uns entschieden jeder Option ein Expertenurteil zu geben (mit Plus- und Minuszeichen angegeben) als ein Zeichen, ob die Anwendung das System in Richtung eines ungestörten Naturzustand bringen würde oder nicht und wie das Ausmaß der Wirkung auf das biologische Problem sein könnte. Dennoch ist für eine ausreichende Bewertung nicht genug bekannt über die verschiedenen Möglichkeiten und ihre Konsequenzen. Für einige dieser Möglichkeiten (und einige andere) sollen in Kürze eine detaillierte Analyse und ein Vergleich von deutschen Behörden durchgeführt werden (Claus, pers. Mitt.).

Eine Gruppe von Möglichkeiten hat möglicherweise einen deutlich positiven Effekt auf das biologische Problem, entfernt aber das System weiter von einem ungestörten Referenzzustand. Zum Beispiel die Optionen, die die Tide am Eingang zum Flussästuar manipulieren (Tab. 2, Optionen 1 und 2) oder die den Tideneinfluss komplett verhindert (3). Alle drei richten sich stark auf die Symptome des Problems, allerdings um den Preis eines noch stärker veränderten Ästuars.

Es gibt auch Optionen, die versuchen, die grundlegenden Prozesse zu beeinflussen, aber offensichtlich nicht mit dem ungestörten Naturzustand vereinbar sind. Sie haben auch keine Auswirkung auf die eigentlichen Ursachen. Diese Optionen sind (4) die Anlage von Flachwasserbereichen in der Küstenzone der Nordsee bis an Hohes Riff angrenzend, (5) Tidespeicherbecken, (6) Herstellung von Flachwasserzonen im Vorland und (7) die Reduzierung der Fahrwasserbreite.

Schließlich gibt es eine Kategorie von Optionen, die auf die tatsächlichen Ursachen einwirken. Diese werden am wahrscheinlichsten das Ästuar in Richtung des ungestörten Referenzzustandes entwickeln. Es sind (8) Ausbau eines Zwei-

Rinnensystems, (9) Öffnen der Sommerdeiche, (10) Vegetationsmanagement, (11) Rückdeichung, (12) Versetzen des Herbrumer Sperrwerks flussaufwärts, (13) Wiederverbindung von alten Flussmäandern oder Nebenflüssen und (14) Reduzierung der Fahrwassertiefe.

EINE BESTANDAUFNAHME, KEIN ENDERGEBNIS

Bei allen Vorschlägen muss man bedenken, dass das Ausmaß der Wirkung vom Ort und von der Größenordnung der Durchführung abhängig ist. Die meisten Möglichkeiten haben Konsequenzen für die Dimensionen des Systems. In Hinblick auf die Länge des Ästuars (Versetzung des Sperrwerks flussauf- oder abwärts) ist die Kilometerzahlen in Zehnerschritten eine angemessene Skala. Dasselbe gilt für das Fahrwasser im äußeren Ästuar. Bezüglich der Vergrößerung des Ästuars (Rückdeichung) liegt die Skala wahrscheinlich bei hunderten Quadratkilometern (A. Oost pers. Mitt.). Hinsichtlich der Tiefe schließlich betragen die Veränderungen als Folge der Vertiefungen mehrere Meter. Das ist daher die Skala auf der die relevanten Sanierungsvorgänge stattfinden.

Die klare Definition und Erläuterung jeder Maßnahme in Hinsicht auf den Ort und die Größenordnung sprengt den Rahmen dieses Dokuments. Jeder Versuch einer quantitativen Rangfolge dieser Optionen wäre vergebens. Kriterien zur Beurteilung dieser Optionen wurden von Schuchardt et al. (2009) vorgeschlagen. Von Bedeutung für unsere Zielsetzung sind: 1) die Reduzierung des „tidal pumping“, 2) die Verbesserung der Sauerstoffversorgung und 3) die Wiederherstellung der natürlichen Abfolge im Ästuar. Um eine integrale objektive Beurteilung zu erreichen, muss man auch 4) andere Effekte auf das aquatische Ökosystem, 5) der Beitrag zu den Zielen von NATURA 2000 und der WRRL sowie einem möglichen Nebeneffekt auf die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, 6) die Beständigkeit in Bezug auf das Klima und 7) potentielle Konflikte bei der Durchführung berücksichtigen. Natürlich sollten auch 8) ökonomische Kosten und Nutzen und 9) die nationalen Sicherheitsbestimmungen nicht missachtet werden. Bis jetzt wurde noch keine Überprüfung der Effektivität der verschiedenen Optionen in Bezug auf diese Kriterien gemacht. Modelle für die Durchführung werden aber von Forschungsprojekten von WWF Deutschland und RWS/Deltares erstellt (Dijkstra et al. 2011, WWF 2010). Natürlich können bzw. sollten nicht alle dieser Optionen komplett ausgearbeitet werden. Wir glauben, dass diese Beurteilung durch Experten einen Schritt weiter erfolgen könnte. Eine zusätzliche Priorisierung sollte in der Anwendung der Beteiligung von Entscheidungsträgern und Politikern in öffentlicher Debatte mit Wissenschaftler erfolgen.

Nummer	Optie	Binnen of buiten de huidige grenzen	Regio	Bron	Motivatie en mechanisme	Omvang van effect op ecologisch probleem (sediment & zuurstof)	In de richting van natuurlijke toestand	Opmerkingen
1	Manipulatie van getij met Eems stormvloedkering	in	Getijdenrivier	Post, pers. med.	Doel om de vloedstroom af te remmen, sediment tegenhouden	++	--	
2	Constructie van 'Sohlschwele'	in	Getijdenrivier	Rodiek, pers. med.	Toename hydraulische ruwheid nabij stormvloedkering	++	--	
3	Bouwen stuw stroomafwaarts (Dauerstrau)	in	Getijdenrivier	Schuchardt et al. 2009	Bijvoorbeeld een sluis en stuw bij Kloster Mühle. Getijde-invloed blokkeren, verkort de rivier.	++	--	
4	Grepen van ondiepten in de Noord-zee bij Hohes Riff	buiten	Mondingsgebied	de Jonge, pers. med.	Licht dempen van de binnenkomende getijdenergie, dat geeft versterkte effecten op de hydraulica van de Eems-rivier	+	0	
5	Tidespeichecke/Getijdenbassin	buiten	Getijdenrivier	Schuchardt et al. 2009/ Wirkel, pers comm.	Extra waterlichaam stroomopwaarts, ver- wijder hoofdijk en verlaag grondniveau	+	0	
6	Verlaging voorland	in	Getijdenrivier	van der Welle & Meire 1999; Schuchardt et al. 2009	Toename droogvallend leefgebied dat zuurstof produceert	+	0	
7	Reduceren breedte vaarweg	in	Mondingsgebied- Middendeel	Oost, pers. med.	Toename hydraulische ruwheid in mondingsgebied over veel kilometers	++	0	
8	Herstellen twee-geulen systeem	in	Mondingsgebied	Oost, pers. med.	Toename hydraulische ruwheid	+	+	
9	Openen van zomerdijken	buiten	Getijdenrivier	Schuchardt et al. 2009; van der Welle & Meire 1999	Reduceert 'tidal pumping' & verbetert zuurstofproductie	+	+	
10	Vegetatie-ontwikkeling	in	Getijdenrivier	Welle & Meire 1999	Wadplaten, marshes, rietbos doen hydraulische ruwheid toenemen	0	+	
11	Terugplaatsen van een winterdijk	buiten	Getijdenrivier- Middendeel	Schuchardt et al. 2009; Welle & Meire 1999	Versterkt ebstroom, vergroot areaal estuarine habitats	++	++	Conflicten met huidig landgebruik
12	Stuw verplaatsen stroomopwaarts van Herbrum	buiten	Getijdenrivier	Schutelaars et al 2011	Verlengt de rivier	++	+	Conflicten met Natura 2000 stroomopwaarts
13	Herverbinden oude riviermeanders of zijrivieren	buiten	Getijdenrivier	Schuchardt et al. 2009; Welle & Meire 1999	Toename hydraulische ruwheid, vergroot areaal estuarine habitats	++	++	Conflicten met scheepvaart
14	Reduceren diepte van de vaarweg	In/buiten	Getijdenrivier	Schuchardt et al. 2009; Hutzenlaub, 2009	Met of zonder een parallelle vaarweg, pakt het kernprobleem aan. De getijden-rivier kan herontwikkelen tot natuurlijke dimensies.	+++	++	Permanente oplossing (hoge econom. kosten)

Tabel 2. Lijst met huidige voorstellen voor ecologische verbeteringen in het Eems-Dollard estuarium die van invloed zijn op het kernprobleem van de waterkwaliteit. Voor elke optie is weergegeven of deze maatregel uitgevoerd kan worden binnen de grenzen van het huidige estuarium of daar buiten, op welke regio in het estuarium die betrekking heeft (zie figuur 1), en wat de motivatie is achter deze optie. Een kwantitatieve rangorde van deze opties valt buiten de reikwijdte van dit document, maar we hebben voorzichtig de verwachte relatieve omvang van het effect op het biologische probleem weergegeven, en de mate aangegeven waarmee het voorstel het systeem in de richting van een natuurlijk referentietoestand brengt (+++ = sterk effect, 0 = geen effect, - - - = sterk negatief effect).

Nummer	Optionen	In oder außerhalb des aktuellen Ästuars/Flusses	Region	Quelle	Begründung und Mechanismus	Ausmaß der Wirkung auf ökologische Probleme (Sediment & Sauerstoff)	Einem ungestörten Naturzustand entsprechend	Bemerkungen
1	Regelung der Tide mit Hilfe des Enssperwerkes	in	Flussästuar	Post, pers. Mitt.	hilft die Strömungsgeschwindigkeit bei Flut zu reduzieren, hält Sediment zurück	++	--	
2	Bau einer 'Sohlschwelle'	in	Flussästuar	Rodiek, pers. Mitt.	erhöht die hydraulische Rauheit am Sturmflutwehr	++	--	
3	Bau eines Dauerstaues	in	Flussästuar	Schuchardt et al. 2009	Zum Beispiel Schleuse und Stauwerk beim Kloster Munder, blockiert den Tideinfluss, verkürzt den Fluss	++	--	
4	Anlage von Flachwasserbereichen in der Küstenzone der Nordsee bis an das Hohe Riff angrenzend	außen	äußeres Ästuar	de Jonge, pers. Mitt.	Geringe Dämpfung der auftaufenden Tideenergie was zu verstärktem Einfluss auf die Hydraulik der Ems führt	+	0	
5	Tidespeicherbecken	außen	Flussästuar	Schuchardt et al. 2009/ Winkel, pers. Mitt.	Zusätzlicher Wasserkörper flussaufwärts, Rückdeichung und lower the ground level	+	0	
6	Flachwasserzonen im Vorland	in	Flussästuar	van der Welle & Meire 1999, Schuchardt et al. 2009	Vergrößert das tideabhängige Habitat, das Sauerstoff produziert	+	0	
7	Verringerung der Fahrwasserbreite	in	äußeres/mittleres Ästuar	Ost, pers. Mitt.	erhöht die hydraulische Rauheit im äußeren Ästuar über viele Kilometer	++	0	
8	Ausbau von zwei Rinnensystemen	in	äußeres Ästuar	Ost, pers. Mitt.	erhöht die hydraulische Rauheit	+	+	
9	Öffnen von Sommerdeichen	in/außen	Flussästuar	Schuchardt et al. 2009; van der Welle & Meire 1999	Reduziert, 'Tidal pumping und fördert die Sauerstoffproduktion'	+	+	
10	Vegetationsmanagement	in	Flussästuar	Welle & Meire 1999	Wattflächen, Salzwiesen, Galeriewälder erhöhen die hydraulische Rauheit	0	+	
11	Rückdeichung	außen	Flussästuar - mittleres Ästuar	Schuchardt et al. 2009; Welle & Meire 1999	Fördert den Ebbstrom, vergrößert die Fläche des Ästuarhabitats	++	++	Konflikte mit bestehender Landnutzung
12	Versetzen des Sperwerkes bei Herbrum	außen	Flussästuar	Schuttelaars et al. 2011	Verlängert den Fluss	++	+	Konflikte mit NATURA 2000 stromaufwärts
13	Wiederverbindung mit alten Flussmaandern oder Nebenflüssen	außen	Flussästuar	Schuchardt et al. 2009; Welle & Meire 1999	Erhöht die hydraulische Rauheit und vergrößert die Fläche des Ästuarhabitats	++	++	Konflikte mit der Schifffahrt
14	Verringerung der Fahrwassertiefe	In/außen	Flussästuar	Schuchardt et al. 2009; Huttenlaub, 2009	Mit oder ohne ein paralleles Fahrwasser, wirkt auf die eigentliche Ursache. Die obere Ems kann sich zur natürlichen Dimension zurückentwickeln.	+++	++	Dauerhafte Lösung mit hohen ökonomischen Kosten

Table 2 Liste aktueller Vorschläge zur ökologischen Verbesserung des Emsästuars, die das Hauptproblem der Wasserqualität betreffen. Für jede Möglichkeit ist aufgeführt ob sie innerhalb oder außerhalb der Grenzen des aktuellen Ästuar realisiert werden kann, welche Region des Ästuars sie betrifft (s. Abb. 1) und welche Motivation dahinter steht. Ein quantitatives Ranking der Alternativen sprengt den Rahmen dieser Veröffentlichung, aber wir haben versuchsweise angegeben, welche relative Größenordnung der Auswirkung auf das biologische Problem zu erwarten ist und in welchem Maß das System zu einem ungestörten Naturzustand gebracht wird (+++ = starker Effekt, 0 = kein Effekt, --- = starker negativer Effekt).

5.2 SYNTHESE

In dit document is de beschikbare kennis over het ecologisch functioneren van het Eems-Dollard estuarium uiteengezet. De belangrijkste ecologische beperkingen zijn geformuleerd in de hoofdstukken 3 en 4. Het kernprobleem wordt veroorzaakt door de sterk kunstmatige morfologie van het estuarium, dat over een groot gebied en gedurende lange tijd door mensen beïnvloed is. Deze veranderingen in de morfologie hadden gevolgen op de waterbewegingen en het sedimenttransport en hebben geresulteerd in grootschalige veranderingen in het functioneren van het ecosysteem. De huidige ecologische situatie verschilt sterk van wat er bekend is over natuurlijke preferentiesituaties. Vooral de hoge mate van troebelheid, het regelmatig optreden van zuurstoftekort in delen van de getijdenrivier en de beperkte kwaliteit en kwantiteit van estuariene habitats geven redenen voor ingrijpen.

Uiteraard zijn er hiaten in de kennis. Deze hebben bijvoorbeeld te maken met gedetailleerde vragen betreffende de actuele rol van de verschillende mechanismen achter de waargenomen veranderingen in het getijdenster, troebelheid, of het vóórkomen van soorten. Hiaten in de kennis moeten echter geen excuus zijn voor verbeteren (of het proberen te verbeteren) van de ecologische situatie in de praktijk.

De in het verleden door de mens veroorzaakte veranderingen hebben geresulteerd in een sterke verschuiving van de estuariene kenmerken en het daaraan gerelateerde functioneren. Om serieus ecologisch herstel en het verlangde streefbeeld te bereiken, moeten de potentiële maatregelen van voldoende omvang zijn en moet de uitwerking ook voldoende zijn. Opties voor ecologische verbetering, die in dit document genoemd worden, beïnvloeden bijna noodgedwongen de eigenschappen van het systeem. De meeste opties hebben consequenties voor de afmetingen ervan.

Een cruciale overweging is de vraag wat er veranderd kan worden aan de grenzen van het systeem. Het antwoord luidt: in beginsel de lengte, de breedte en de diepte. De opties die het systeem doen bewegen in de richting van een natuurlijk streefbeeld, hebben vanuit ecologisch oogpunt de voorkeur boven andere.





5.2 SYNTHESE

Die vorliegende Arbeit fasst das vorhandene Wissen über die Funktionsweise der Ems als Ästuar zusammen. Die hauptsächlichen ökologischen Probleme wurden in den Kapiteln 3 und 4 beschrieben. Die zentralen Probleme werden durch die stark künstliche Morphologie des Ästuars verursacht, die sich unter anthropogenem Einfluss über einen langen Zeitraum und im großflächigen Rahmen entwickelt hat. Diese Veränderungen der Morphologie wirken auf die Wasserbewegung und den Sedimenttransport und führten zu gravierenden Änderungen der Funktionsweise dieses Ökosystems. Die derzeitige ökologische Situation unterscheidet sich stark von dem, was als natürlicher Zustand bezeichnet wird. Besonders der hohe Grad der Wassertrübung, die regelmäßige Sauerstoffknappheit in Teilen des Flussästuars und die eingeschränkte Quantität und Qualität der Ästuarhabitate geben Grund zum Handeln.

Selbstverständlich gibt es Wissenslücken. Sie beziehen sich z. B. auf detaillierte Fragen über die aktuelle Rolle der ver-

schiedenen Mechanismen hinter den beobachteten Veränderungen des Tidenhubs, der Wassertrübung oder dem Vorkommen von Arten. In jedem Fall sollten Wissenslücken keine Entschuldigung sein, weiter zu probieren, die ökologische Situation grundsätzlich in der Praxis zu verbessern.

Wie erwähnt, führten die in der Vergangenheit anthropogen bedingten Veränderungen zu starken Änderungen der Ästuarcharakteristik und der damit verbundenen Funktionsweise. Um ernsthafte ökologische Verbesserungen zustande zu bringen und um zu einem gewünschten Zielzustand zu kommen, müssen die potentiellen Maßnahmen von ausreichendem Ausmaß und Einfluss sein.

Ein äußerst wichtiger Gesichtspunkt ist die Frage: „Was kann innerhalb der Grenzen des Systems verändert werden?“. Die Antwort lautet: grundsätzlich die Länge, die Breite und die Tiefe. Die Möglichkeiten, die das Ökosystem mehr in Richtung zu einem natürlichen Referenzzustand bewegen, sind vom ökologischen Standpunkt aus gegenüber anderen zu bevorzugen.

6 Literatuur / Literatur

- Aarts, B. G. W., van den Bremer, L., van Winden, E. A. J., & Zoetebier, T. K. G.** (2008). Trendinformatie en referentiewaarden voor Nederlandse kustvogels. WOT-rapport 79, Wageningen: pp. 1-108.
- Adolph, W.** (2010). Praxistest Monitoring Küste 2008. Seegraskartierung - Gesamtbestandserfassung der eulitoralen Seegrasbestände im Niedersächsischen Wattenmeer und Bewertung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie. NLWKN Küstengewässer und Ästuar 2/2010. Norden: pp. 1-52.
- Bakker, J., Lüerßen, G., Marencic, H. & Jung, K.** (2009) Hazardous substances. In de Vlas, J., Marencic, H. (Eds.), Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 6. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen: p. 55.
- Baretta, J.W. & Ruardij, P.** (1988) Tidal flat estuaries: Simulation and Analysis of the Ems estuary. Ecological studies 71. Springer Verlag.
- Becker, P. H., & Dittmann, T.** (2009). Contaminants in Bird Eggs. In de Vlas, J., Marencic, H. (Eds.), Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 6. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen: p. 12.
- Belgrano, A., Scharler U. M., Dunne, J. & Ulanowicz R. E.** (2005). Aquatic food webs. An ecosystem approach. Oxford University Press. 262 pp.
- van Beusekom, J. E. E., & de Jonge, V. N.** (1998). Retention of phosphorus and nitrogen in the Ems estuary. Estuaries 21: pp. 527-539.
- van Beusekom, J., Bot, P. V. M., Carstensen, J., Goebel, J. H. M., Pätsch, J., & Reise, K.** (2009). Eutrophication. In de Vlas, J., Marencic, H. (Eds.), Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 6. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen: p. 22.
- Bezirksregierung Weser – Ems** (1998). Planfeststellungsbeschluss zum Emssperrwerk und Bestickfestsetzung vom 14. August 1998 in der Fassung des Planergänzungsbeschlusses. VwVfG Oldenburg.
- BfG- Bundesanstalt für Gewässerkunde** (2001). Bagger- und Klappstellenuntersuchungen im Ems-Ästuar Klappstellen 1 bis 7. Bericht BfG-1329. BfG Koblenz.
- BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde** (2008). Umweltrisikoeinschätzung (URE) und FFH-Verträglichkeits-einschätzung (FFH-VE) für Projekte an Bundeswasserstraßen, Ausbau der Außenems. BfG-Bericht 1538 i. A. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest. pp 165.
- Bioconsult** (2006). Zur Fischfauna der Unterems. Kurzbericht über die Erfassungen 2006. Report prepared for LAVES, Hildesheim, IBL, Oldenburg, Ingenieurbüro Grote, Papenburg.
- Bioconsult** (2009). Stow net fishery Ems 2009. Fish fauna study within the framework of water status monitoring in accordance with WFD. Report prepared for Rijkswaterstaat.
- Bioconsult** (2010). Biologisches Monitoring des Sommerstaus in der Tideems 2009. Untersuchungsergebnisse Makrozoobenthos und Fische. Report prepared for NLWKN Aurich.
- Bioconsult** (2010). Kurzbericht: Hamenbefischung Unterems 2010. Fischfaunistische Untersuchung im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachung nach WRRL. Report prepared for LAVES, Hildesheim.
- Boede** (1985). Biological research Ems-Dollard estuary by a survey of the ecosystem research during 1973 and 1982. Rijkswaterstaat communications 40: pp. 1-182.
- Bouma, H., de Jong, D. J., Twisk, F. & Wolfstein, K.** (2005). Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES.1) voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke Rijkswateren. RIKZ, Middelburg.
- Bolle, L. J., Neudecker, T., Vorberg, R., Damm, U., Diederichs, B., Jager, Z., Scholle, J. Daenhardt A., Lüerben G. & Mranecic H.** (2009). Trends in Wadden Sea Fish Fauna Part I: Trilateral Cooperation. Report nr C108/08, Wageningen Imares, IJmuiden.
- Brasseur, S.** (2007). Zeezoogdieren in de Eems, cumulatieve effecten van de activiteiten rond de ontwikkeling van de Eemshaven. Imares, Wageningen. pp. 1-44.
- Brasseur, S., Polanen-Petel, T. V., Geelhoed, S., Aarts, G., & Meesters, E.** (2010). Zeezoogdieren in de Eems; studie naar de effecten van bouwactiviteiten van GSP, RWE en NUON in de Eemshaven in 2009. Imares, Wageningen.
- Chernetsky, A., Schuttelaars, H. M. & Talke, S. A.** (2010). The effect of tidal asymmetry and temporal settling lag on sediment trapping in tidal estuaries. Ocean Dynamics 60: pp.1219–1241.
- Claus, B.** (1998). Landerübergreifendes Schutzkonzept für die Ästuar Elbe, Weser und Ems. WWF/BUND Projekt, Berlin.

- Cleveringa, J.** (2008). Ontwikkeling sedimentvolume Eems-Dollard en het Groninger wad. Overzicht van de beschikbare kennis en gegevens. Alkyon, Emmeloord: p. 47.
- Dankers, N. M. J. A., Dijkman, E., de Jong, M., Brasseur, S. & Reijnders, P.** (2005). Aantal kaarten met verspreiding van habitats en soorten in de Waddenzee ten behoeve van de Passende Beoordeling en de Strategische Milieu Beoordeling PKB-Waddenzee. Interne notitie Alterra voor Min. VROM en Min. LNV.
- Degroodt, E. G., & de Jonge, V. N.** (1990). Effects of changes in turbidity and phosphate influx on the ecosystem of the Ems estuary as obtained by a computer simulation model. *Hydrobiologia* 195: pp. 39-47.
- Deneudt, K., Eck BV, Bruens A, Kuijper K, Jeuken C, Oeveren CV, Maris T, Oosterlee L, Cox T, Meire P, Ryckegem GV, Bergh EVD & Speybroeck J** (2010). Evaluatiemethodiek systeemmonitoring Schelde-estuarium.
- Dijkstra, J., Kessel T van, Maren B van, Spiteri C, Stolte W** (2011). Setup of an effect-chain model for the Eems-Dollard.
- Dyer, K.R.** (1997). Estuaries. A physical introduction. John Wiley & Sons, Chichester: pp. 195.
- Engels, A.** (2007). Seasonal and tidal variation of oxygen and salinity in the river Ems.- presentation Ems-Workshop at Emden 23.2.2007
- Erfteemeijer, P.** (2005). Trend analyse van zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee 1988-2003. WL| Delft Hydraulics, Delft: p. 94.
- Esselink, P.** (2000). Nature management of coastal salt marshes. Interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. PhD thesis. University of Groningen, Groningen: pp. 256.
- Esselink, P., Bos, D., Oost, A. P., Dijkema, K. S., Bakker, R., & Jong, R. D.** (2011). Verkenning afslag Eems-Dollardkwelders. Puccimar-rapport 02. Puccimar, Vries/Veenwouden: p. 74.
- Esselink, P., Petersen, J., Arens, S. J. P. B., Bunje, J., Dijkema, K. S., Hecker, N., Hellwig, U., Jensen, A.-V., Kers, A. S., Körber, P., Lammerts, E. J., Stock, M., Veeneklaas, R. M., Vreeken, M., Wolters, M.** (2009) Salt Marshes. In: de Vlas, J., Marencic, H. (eds) Wadden Sea Ecosystems No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 8. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, pp. 27-30.
- Essink, K., Esselink, P.** (1998). Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. RIKZ, Haren.
- Fairbridge, R. W.** (1980). The estuary: Its definition and geodynamic cycle. In Olausson, E. & Cato, I. (eds.) *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley, New York: pp. 1–35.
- Gerdes, K.** (2000). Die Vogelwelt im Landkreis Leer, im Dollart und auf den Nordseeinseln Borkum und Lütje Hörn. Verlag Schuster, Leer.
- Geschafststelle Ems & Ministerie van Verkeer en Waterstaat** (2010). Internationaler Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 Wasserrahmenrichtlinie für die Flussgebietseinheit Ems. Bewirtschaftungszeitraum 2010-2015, Geschafststelle Ems, Meppen: pp. 266.
- Gerritsen, F.** (1952). Historisch-Hydrografisch onderzoek Eems. Rapport Studiedienst, Hoorn.
- Gotje, W., Cleveringa, J., Steijn, R., & P. Esselink** (2007). Restoration of estuarine habitats. What determines success or failure? CHAIN Partners in Water, Voorburg.
- van der Graaf, S., de Vlas, J., Herlyn, M., Voss, J., Heyer, K. & Drent, J.** (2009b). Macrozoobenthos. In de Vlas, J., Marencic, H. (Eds.), *Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 10*. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen: pp. 3-27.
- van der Graaf, S., Jonker, I., Herlyn, M., Kohlus J., Vinther, H. F., Reise, K., de Jong, D., Dolch, T., Bruntse, G. & de Vlas, J.** (2009a). Seagrass. In de Vlas, J., Marencic, H. (Eds.), *Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 2*. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen.
- Groenendijk, H. & Bärenfänger, R.** (2008). Gelaagd Landschap. Veenkolonisten en kleiboeren in het Dollardgebied. Archeologie in Groningen dl. 5. Profiel Uitgeverij, Bedum: pp. 96.
- Habermann, C.** (2006). Einfluss von Unterhaltungsbaggerungen auf die Schwebstoffdynamik der Unterems - Monitoring während eines baggerungsfreien Zeitraums. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BFG-1488, Auftraggeber BfG-JAP-Nr. 3 Vol. 1. Emden: pp. 45
- ten Hallers-Tjabbes, C.** (2006). Impact and interaction of contaminants in the Ems-Dollard estuary ecosystem. *Cato Marine Ecosystems*, Kantens.

- den Hartog**, C. D., & Polderman, P. J. G. (1975). Changes in the seagrass populations of the Dutch Waddenzee. *Aquatic Botany* 1: pp. 141-147.
- Helder**, W. & Ruurdij P (1982) A one-dimensional mixing and flushing model of the Ems-Dollard estuary: calculation of time scales at different river discharges. *Neth. J. Sea. Res.* 15: pp.293-312.
- Herman**, P. M. J., de Jonge, V. N., Dankers, N, Ens, B. J., Wolff, W. J., Brinkman, B. J., Baptist, M., van Leeuwe, M. A., Bakker, J. P., Philippart, C. J. M., Kromkamp, J., van Beusekom, J., van Katwijk, M. M., Piersma, T., van der Veer, H. W., Lammerts, E. J., Oost, A. P., van der Meer, J., Lindeboom Olf, H. H. J. & Jansen, G. (2009). (Natuur) behoud in een veranderende wereld. Position paper ecologie. Waddenacademie, Leeuwarden.
- Herrling**, G., Knaak, H., Kaiser, R. & Niemeyer, H. D. (2001). Evaluation of design water levels at the Ems-Dollard estuary considering the effect of a storm surge barrier. In *Coastal Engineering 2010*: pp. 1-10.
- Herrling**, G. & Niemeyer, H. D. (2006). Long-term Spatial Development of Habitats in the Ems-Dollard Estuary.
- Herrling**, G. & Niemeyer, H. D. (2008). Comparison of the hydrodynamic regime of 1937 and 2005 in the Ems-Dollard estuary by applying mathematical modeling. HARBASINS report.
- van den Hoek**, C., Admiraal, W. Colijn, F., de Jonge, V.N., (1979). The role of algae and seagrasses in the ecosystem of the Wadden Sea: A review, p. 9-118. In: W.J. Wolff (ed.) *Flora and vegetation of the Wadden Sea*, Stichting Veth tot steun aan waddenonderzoek, Leiden.
- van 't Hof**, P. M. J. (2006). Lange-termijn trends van fauna en biotopen in het Eems-Dollard gebied. Alterra, Texel.
- Hutzenlaub**, N., Baatar, U., Lasisz, K., Napiorkowski, M., Nielsen, J. K., Reijbroek, A., & Schuett, M. (2009). *Spatial Planning at Sea: The Ems-Dollard Area Spatial Planning at Sea: The Ems-Dollard Area*. Wageningen University.
- IBL** (2009). *Lebensraumtypenerfassung und bewertung fuer die FFH-gebiete 173, 002 (nordlicher teil) und Erweiterungsfläche 002 E*.
- Jager**, Z. (1999). *Visintrek Noord-Nederlandse kustzone*. RIKZ, Haren: p. 37.
- Jager**, Z. & R. Vorberg (2008). *Effecten van de door Nederland voorgenomen ontgrondingen en verspreiding van baggerspecie in de Eems op garnalen en vis*. Literatuurstudie in opdracht van RWS Waterdienst. ZW Rapport 0801.
- Jager**, Z., van Maren, B., Spiteri, de Kok, van Weesenbeeck, Los & Nauta (2009a). *Required modelling development to support the future management of the Ems-Dollard*. Plan of activities. Deltares & ZiltWater Advies/Fotografie.
- Jager**, Z., Bolle, L., Dänhardt, A., Diederichs, B., Neudecker, T., Scholle, J. & Vorberg, R. (2009b). *Fish*. In de Vlas, J. & Marencic, H. (Eds.), *Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 14*. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen.
- Jager**, Z. (2010) *Position paper on the sustainable use of cooling water from the Wadden Sea*. Leeuwarden.
- de Jong, J. (2006). *Habitat Maps Ems Estuary and Historical Habitat Change HARBASINS report*. Ecce advies, Assen: pp. 31.
- de Jonge**, V. N., (1983). Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 40: pp. 289–300.
- de Jonge**, V. N. (1992). Tidal flow and residual flow in the Ems estuary. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 34: pp. 1-22.
- de Jonge**, V. N., (1995). Wind driven tidal and annual gross transports of mud and microphytobenthos in the Ems estuary, and its importance for the ecosystem. In Dyer, K. R. & D'Elia, C. F. (eds.). *Changes in fluxes in estuaries*: pp.29-40.
- de Jonge**, V.N., (2000). Importance of temporal and spatial scales in applying biological and physical process knowledge in coastal management, an example for the Ems estuary. *Continental Shelf Research* 20: pp. 1655-1686.
- de Jonge**, V. N., (2007). Toward the application of ecological concepts in EU coastal water management. *Mar. Poll. Bull.* 55: 407-414.
- de Jonge**, V. N., (2009). Water management in the Netherlands: development from a defensive to an integral water system approach. p. 17-46. In: Folmer, H. & Reinhard, S., (eds). *Water Problems and Policies in The Netherlands*. RFF-PRESS, Boca Raton, 257: pp. 17-46.
- de Jonge**, V.N., van den Bergs, J., de Jong, D.J., (1997). *Zeegras in de Wadden-zee, een toekomstperspectief*. RIKZ-97.016; ISSN 0927-3980, 36 p.
- de Jonge**, V.N. & van Beusekom, J.E.E., (1992). Contribution of resuspended microphytobenthos to total phytoplankton in the Ems estuary and its possible role for grazers. *Neth. J. Sea Res.*, 30: 91- 105.
- de Jonge**, V. N. & van Beusekom, J. E. E., (1995). Wind and tide induced resuspension of sediment and

microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnol. Oceanogr.* 40: pp. 766-778.

de Jonge, V. N. & Brauer, V. S. (2006). The Ems estuary - Changes in functioning and structure of a system under pressure.

de Jonge, V. N. & Essink, K. (1991). Long-term changes in nutrient loads and primary and secondary production in the Dutch Wadden Sea. In: *Estuaries and coasts: spatial and temporal intercomparisons*. Olsen&Olsen International Symposium series. pp 307-316.

de Jonge, V. N., Kolkman, M. J., Ruijgrok, E. C. M. & de Vries, M. B., (2003). The need for new paradigms in integrated socio-economic and ecological coastal policy making. *Proceedings of 10th International Wadden Sea Symposium*. Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries, Department North, Groningen: pp. 247-270.

de Jonge, V. N., Pinto, R. & Turner, R. K., (accepted). Integrating ecological, economic and social aspects to generate useful management information under the EU Directives. *Ecosystem Approach*. *Ocean & Coastal Management* (to be published in 2012).

de Jonge, V.N. & Postma H. (1974). Phosphorus compounds in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 8: pp. 139-153.

Kornman, B. A. & De Deckere, E. M. G. T. (1998). Temporal variation in sediment erodibility and suspended sediment dynamics in the Dollard estuary. In *Sedimentary Processes in the Intertidal Zone* (Black, K. S., Paterson, D. M. & Cramp, A., (eds)). Geological Society London Special Publications 139: pp. 231-241.

Kuijper, K., & Lentz, K. (2011). KPP: Deltaprogramma Wadden Quickscan Beïnvloeding Stormvloedhoogte Eems - Dollard Projectvoorstel. Delft: p. 32.

Krüger, H.-H. (2006). *Fischotter Lutra lutra Der heimliche Rückkehrer*. *Ökoporträt* 42 NVN/BSH: pp. 1-8.

de Leeuw, C. (2006). Verkenning van de ecologische problemen en knelpunten in het Eems estuarium. Een wetenschappelijke onderbouwing van de problematiek van het Eems-Dollard estuarium op het gebied van de ecologie. Rapport in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Levinton, J.S., (2001). *Marine Biology. Function, biodiversity, ecology*. Oxford University Press: pp. 515.

Liefting, M., Hallmann, C. & Ens, B. J. (2011). Trendontwikkeling van vogels in het referentiegebied Rottum en andere deelgebieden in de Waddenzee. Beek-Ubbergen.

Maren, D.S. van (2010). Eems-Dollard model setup: sediment transport module. *Deltares report 1200739*: p. 165.

McLaren, P., Steyaert, F. and Powys, R. (1998). Sediment transport studies in the tidal basins of the Dutch Waddenzee. *Senckenbergiana maritima*, 29, pp. 53-61.

McLusky, D.S. (1981). *The estuarine ecosystem*. Blackie & son/Furnival House, Glasgow/London.

McLusky, D.S. & Elliott M, (2004). *The estuarine ecosystem. Ecology, threats and management*. Oxford University Press: pp. 214.

Merckelbach, L. M., & Eysink, W. D. (2001). Trendanalyse zwevend stof in Eems estuarium in relatie tot aanslibbing haven Delfzijl. WL Delft/Delft hydraulics, Delft: pp. 57.

Mulder, H. P. J. (2004). Dumping in the Ems estuary: an overview of effects and developments. RIKZ, Haren: pp. 10.

Mulder, H. P. J., & Mijwaard, B. (1997). Een methode om een twee-dimensionale sedimentbalans te maken, gebaseerd op meetgegevens met gebruikmaking van een GIS en toegepast op de Eems-Dollard voor de periode 1985-1990. RIKZ, Haren.

NAM (2010). *Bodemdaling door Aardgaswinning*. NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. Groningen.

NLWKN (unpublished). FGE-Ems Informations- und Anhörungs-dokument zu den wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen Die Ems.

NLWKN (2010). *Flussgebietseinheit Ems Fördergebiet und Ökologische Bewertung der Wasserkörper nach WRRL*.

Oost, A. & Lammerts, E. J. (2007). *Het tij geleerd*. achtergrondrapport. Gezamenlijke onderzoekinstellingen en natuurorganisaties, Groningen/Utrecht.

van Leussen, W., 1994. *Estuarine macroflocs and their role in fine-grained sediment transport*, Ph.D. Thesis, Dept. of Earth Science, Utrecht University, 1994.

van de Pol, M., Ens, B. J., Heg, D., Brouwer, L., Krol, J., Maier, M., Exo, K.-M., Oosterbeek, K., Lok, T., Eising, C. M. & Koffijberg, K. (2010). Do changes in the frequency, magnitude and timing of extreme climatic events threaten the population viability of coastal birds? *Journal of Applied Ecology*, 47(4): pp. 720-730.

Postma, H., (1954). *Hydrography of the Dutch Wadden Sea*. *Arch. Néerl. Zool.* 10:pp. 405-511.

Postma, H., (1960). Einige Bemerkungen über den Sinkstofftransport im Ems-Dollard Gebiet. In *JH van Voorthuysen: Das Ems-Estuarium*. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb.k. Gen.* 19: pp. 103-110.

Postma, H., (1961). Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 1: pp. 148-190.

- Prop, J., Esselink, P., Hulscher, J., Dollard, V. (1999).** Veranderingen in aantallen vogels in de Dollard in relatie met lokaal en regionaal beheer. De Grauwe Gors 27.
- Raad voor de Wadden (2010).** Eems-Estuarium: van een gezamenlijk probleem naar een gezamenlijke oplossing = Eems-Ästuar: vom gemeinsamen Problem zur gemeinsamen Lösung. Leeuwarden.
- Reuter, M. (2000):** Brutvögel des Emsästuares zwischen Leer und Emden. in: Köppen, Hartwig & Ludwigowski (ed) 2. Deutsches Seevogel-Kolloquium. - Seevögel 21 Sonderband 2-2: 33-38
- Reijnders, P. J. H., Brasseur, S. M. J. M., Borchardt, T., Camphuysen, K., Czeck, R., Gilles, A., Jensen, L. F., Leopold, M., Lucke, K., Ramdohr, S., Scheidat, U. M.S. & Teilmann, J. (2009).** Marine Mammals. In Marencic, H. & de Vlas, J. (Eds.), Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 20. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen.
- Ribbius, F.J., (1961).** The biggest waste problem in the world. Land en Water 5: p 24.
- RWS, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2009).** Stroomgebiedbeheerplan Eems Den Haag: pp. 212.
- Samu, G., (1979).** Die morphologische Entwicklung der Außen-Ems von Dukegat bis zur See. Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg, 43 pp.
- Scholle, J., Schuchardt, B., Schulze, S. & Veckenstedt, J. (2007).** Situation of the smelt (*Osmerus eperlanus*) in the Ems estuary with regard to the aspects of spawning grounds and recruitment.
- Schrottke, K., & Bartholomä, A. (2008).** Detaillierte Einblicke in die ästuarine Schwebstoffdynamik mittels hochauflösender Hydroakustik. Tagungsband zum Seminar Ultraschall in der Hydrometrie: neue Technik; neuer Nutzen !?. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz: pp. 75-82.
- Schuchardt, B. & Schirmer, M. (1991).** Phytoplankton maxima in two coastal plain estuaries.- Est. Coast. Shelf Sci. 32: pp. 187-206.
- 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): pp. 211-217.
- Schuchardt, B., Schirmer M, Janssen G, Nehring G, Leuchs H., (1999)** Estuaries and Brackish Waters.- In: F. de Jong et al. (eds.), Wadden Sea Ecosystem No. 9. Quality Status Report 2009. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen: pp. 175-186.
- Schuchardt, B., Scholle, J., Schulze, S. & Bildstein, T. (2007).** Vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der inneren Ästuaire von Eider, Elbe, Weser und Ems: was hat sich nach 20 Jahren verändert? Coastline Reports 9: pp. 15-26.
- Schuchardt, B. & Scholle, J. (2009).** Estuaries. In Marencic H. & de Vlas J. (Eds.), Wadden Sea Ecosystem No. 25 Quality Status Report 2009 Thematic Report No. 16. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen.
- Schuchardt, B., Bachmann, F., Huber, A., Bildstein, T. & Scholle J. (2009).** Aspekte der ökologischen Sanierung der Unterems. Brief report prepared for WWF, Hamburg
- Schuttelaars, H.M., de Jonge, V.N. & Chernetsky, A. (2011).** Influence of the length of an estuary on tidal motion and sediment trapping. Delft.
- Schuttelaars, H.M. & de Jonge, V.N., (2012).** Influence of the length of an estuary on tidal motion and sediment trapping and its relevance for estuarine management. Ocean & Coastal Management (to be published in 2012).
- SDG Eems (2010).** Internationaler Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 Wasserrahmenrichtlinie für die Flussgebeseinheit Ems Bewirtschaftungszeitraum 2010-2015.
- van Straaten, L. M. J. U. & Kuenen, Ph. H. (1957).** Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea. Geol. Mijnb. 19: pp. 329-354
- Stratingh, G. A. & Venema, C. A. (1855).** De Dollard of Geschied-, Aardrijks- en Natuurkundige beschrijving van dezen boezem der Eems (reprint 1979). Vereniging tot Behoud van de Waddenzee/Groninger Landschap, Harlingen/Groningen.
- de Swart, H. E., de Jonge, V. N. & Vosbeek, M. (1997).** Application of the tidal random walk model to calculate water dispersion coefficients in the Ems estuary. Estuarine Coastal Shelf Sci. 45: pp. 123-133.
- Talke, S. A., de Swart H. E. (2006).** Hydrodynamics and Morphology in the Ems/Dollard Estuary: Review of Models, Measurements, Scientific Literature, and the Effects of Changing Conditions. University of Utrecht. Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), Utrecht.
- Talke, S. A., de Swart, H. E. & Schuttelaars, H. M. (2009a).** Feedback between residual circulations and sediment distribution in highly turbid estuaries: an analytical model. Continental Shelf Research 29: pp. 119–135.
- Talke, S. A., de Swart, H. E. & de Jonge, V. N. (2009b).** An Idealized Model and Systematic Process Study of Oxygen Depletion in Highly Turbid Estuaries. Estuaries and Coasts 32 (4): pp. 602-620.

Tulp, I., Bolle, L. J., & Rijnsdorp, A. D. (2008). Signals from the shallows: In search of common patterns in long-term trends in Dutch estuarine and coastal fish. *Journal of Sea Research* 60(1-2): pp. 54-73.

van Veen, J. (1950). Ebb and flood channel systems in the Netherlands tidal waters. English translation of the original Dutch text with annotations. Originally published in: *Journal of the Royal Dutch Geographical Society* 67: 303-325.

van Voorthuysen, J. H. & Kuenen, Ph.H. (1960). Das Ems-Estuarium (Nordsee). Ein sedimentologisches symposium. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Genootschap. 300 pp.

Vorberg, R., Bolle, L., Jager, Z. & Neudecker, T. (2005). Chapter 8.6 Fish. In: F. de Jong et al. (eds.), *Wadden Sea Ecosystem No. 19 Quality Status Report 2009*. Common Wadden Sea Secretariat Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshafen: pp 219-236.

Werkgroep Dollard (2001). Literatuurstudie over het storten van baggerspecie in de Mond van de Dollard. Nederlands-Duitse Eemscmissie, Rijksinstituut voor Kust en Zee. werkdokument RIKZ/AB/2001.615X. RIKZ, Haren. 154 pp.

van der Welle, J. & Meire, P. (1999). Levende Eems, herstelplan voor Eems en Dollard. Instituut voor Natuurbehoud, gezamenlijke natuurbeheersorganisaties, Groningen/Harlingen/Brussel.

Wijsman, J., & Verhage, L. (2004). Toepassing van het Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES) voor de Waddenzee met behulp van HABITAT. WL/Delft Hydraulics.

Winterwerp, J.C. (2010). Fine sediment transport by tidal asymmetry in the high-concentrated Ems River: indications for a regime shift in response to channel deepening. *Ocean Dynamics* 61: pp. 203-215.

Wolff, W. J. (ed.) (1983). Ecology of the Wadden Sea. Geomorphology/hydrography/flora and vegetation/invertebrates. Balkema, Rotterdam.

WWF (2006) Ausbau der Unterems. Eine Chronik der Maßnahmen seit 1984 mit einer Bewertung der Umweltfolgen. WWF, Frankfurt Main. 22 pp.

WWF (2010). Perspektive lebendige Unterems: Praxis- und umsetzungsnahes Konzept zur Renaturierung der Unterems als Impuls für eine nachhaltige Entwicklung der Region Ein Projektantrag von BUND, NABU, WWF sowie TU. Berlin.

Ysebaert, T., Meire, P., Coosen J. & Essink K. (1998). Zonation of intertidal macrobenthos in the estuaries of Schelde and Ems. *Aquatic Ecology* 32: pp. 53-71.

Dankwoord

Wij waardeerden de constructieve bijdrage van de volgende mensen zeer: Karel Essink, Klaus Gerdes, Dick de Jong, Herman Mulder, Aechim Paetzold, Hein Sas, Jaap de Vlas, Leo Bruinzeel, Henk Schuttelaars, Wim Wolff en Eddy Wymenga. We bedanken Dick Visser, Jos Zwarts, Kees Nuijten en Ditmar Vroegindeweij voor hun zorgvuldig vervaardigde illustraties en Leo Bruinzeel alsmede Kees Bos voor de vertaling naar het Nederlands.



Danksagung

Wir bedanken uns sehr für die konstruktiven Beiträge von Karel Essink, Klaus Gerdes, Dick de Jong, Herman Mulder, Aechim Paetzold, Hein Sas, Jaap de Vlas, Leo Bruinzeel, Henk Schuttelaars, Wim Wolff und Eddy Wymenga. Wir danken Dick Visser, Jos Zwarts, Kees Nuijten und Ditmar Vroegindeweij für die Anfertigung der Illustrationen und Stefan Wolff für die Übersetzung.

Verklarende woordenlijst

Deze verklarende woordenlijst is afgeleid van de website www.coastalresearch.nl en Gotje et al. (2007).

Benthos (of bodemleven): grondlevende flora and fauna; van de kleinste microben, microbenthos (bacteriën) tot gemiddeld formaat meiobenthos (nematoden, wormen) tot de zeer zichtbare macrobenthos (schelpdieren, borstelwormen).

Bodemdaling: beweging van het aardoppervlak naar beneden (in relatie tot een standaard).

Ecologie: de studie van de relaties tussen levende organismen in samenhang met de omgeving.

Ecosysteem: een gemeenschap van levende organismen die onderling relaties vertonen in samenhang met hun abiotische omgeving, bijvoorbeeld een regenwoud of een estuarium.

Erosie: het proces waarbij de bodem of rotsen afslijten door wind, water, ijs of andere mechanische of chemische krachten. Hierbij worden kleine deeltjes verplaatst, waardoor het originele substraat in omvang afneemt.

Estuarium: een deels afgesloten kustwater waar één of meer rivieren in uitmondt en dat een vrije verbinding heeft met open zee.

Geomorfologie: de studie naar de vormen van het landschap en de processen die daarbij een rol spelen of gespeeld hebben.

Getij: het alternerend dalen en stijgen van de zeespiegel (in ruwweg een zes-uurs ritme) veroorzaakt door de zwaartekracht van de zon en maan.

Getijdengebied: Het gebied tussen hoogwater- en laagwaterlijn. Het afwisselend overstromen en droogvallen van deze gebieden maakt deze tot een transitiezone tussen land (terrestrische milieu) en water (mariene milieu) en dit creëert speciale habitats.

Getijverschil: verschil tussen hoog- en laagwater.

Habitat: leefgebied, leefomgeving; het totaal aan omstandigheden op een specifieke plaats die wordt bezet door organismen, populaties of een gemeenschap

Hydrodynamica: waterbeweging; de studie naar het bewegen van water en ander vloeistoffen

KRW, Kader RichtlijnWater: een EU richtlijn die voorschrijft aan welke kwaliteitseisen waterlichamen moeten voldoen.

Kwelder: kan breed gedefinieerd worden als een gebied dat begroeid is met kruiden, grassen en lage struiken en dat periodiek overstroomd tengevolge van fluctuaties in waterhoogte in het aangrenzende zoutwatergebied (Adam 1990), waarin zoutwater is gedefinieerd als > 0,5 g zouten per kg water

Natuurherstel (detail): het herstellen van iets dat eerder in het gebied aanwezig was. Hierbij wordt een ecosysteem gecreëerd met dezelfde soortsamstelling en dezelfde functionaliteit als het systeem dat hier eerder bestond.

Natuurontwikkeling (algemeen): het creëren van een ecosysteem met bepaalde gewenste karakteristieken.

Nutriënten: essentiële elementen of verbindingen die planten en dieren nodig hebben voor groei en reproductie.

Opslibbing: het accumuleren van sediment door depositie:slib, zand, klei en andere deeltjes die zich opeenhopen op de bodem van meren, rivieren en zeeën.

Sedimentatie of afzetting (het proces): het neerslaan van materiaal in suspensie door zwaartekracht. Het gaat hierbij om deeltjes die gedragen worden door water, afvalwater of andere vloeistoffen. Het neerslaan wordt bereikt door een afname van de snelheid van de vloeistof, beneden een bepaalde stroomsnelheid kan het water de deeltjes niet meer transporteren en slaan ze neer.

Sublittoraal: het mariene milieu onder de gemiddelde laagwaterlijn

Successie: opeenvolgen van de ene gemeenschap op de andere gemeenschap; de veranderingen in de vegetatie en het dierenleven dat kan culmineren in een climax systeem.

Troebelheid: een maat voor de helderheid van het water, het materiaal dat 'zweeft' in de vloeistof zorgt voor weerkaatsing (naar verschillende richtingen) en absorptie van licht.

Zoetwater: water met een zoutgehalte lager dan 0,5 promille.

Zoutgehalte (of saliniteit): een maat voor de hoeveelheid opgeloste zouten in water. Deze wordt weergegeven in grammen zout per duizend gram water en afgekort als ‰ of ppt. Estuaria verschillen in zoutgehalte en het varieert tussen de 0 ppt en 36 ppt afhankelijk van de relatieve omvang van de instroom van zoetwater.

Dieses Glossar wurde unter Nutzung der Quellen www.coastalresearch.nl und Gotje et al. (2007) erstellt.

Ablagerung: Akkumulation von Sediment durch Ablagerung.

Ästuar: ein halbabgeschlossener Wasserkörper der Küste mit einem oder mehreren Zuflüssen und freiem Übergang zur offenen See.

Benthos: Bodenbewohnende Flora und Fauna, vom kleinsten Mikrozoobenthos (Bakterien) über dem mittelgroßen Meiobenthos (Nematoden) bis zum deutlich sichtbaren Makrobenthos (Muscheln, Polychaeten).

Bodenabsenkung: die Bewegung der Oberfläche wenn sie sich abwärts in Relation zu einer Bezugsebene wie z.B. dem Meeresspiegel bewegt.

Erosion: Prozess in dem Wind, Wasser, Eis und andere mechanische und chemische Kräfte Boden und Gestein durch das Zerbrechen in Partikel abtragen und von einer zu einer anderen Stelle bewegen.

Deich: Solides Küstenschutzbauwerk um das Binnenland vor Überflutung zu schützen.

Gezeitenzone: Der Bereich zwischen Hoch- und Niedrigwasserlinie. Das abwechselnde Überfluten und Trocknen dieses Gebietes macht es zu einem Übergang zwischen Land und Wasser und schafft spezielles Umweltbedingungen.

Habitat: die Summe von Umweltbedingungen an einem bestimmten Standort, der von einem Organismus, einer Population oder einer Gemeinschaft bewohnt wird.

Hydrodynamik: Die Bewegung und Wirkung von Wasser und anderen Flüssigkeiten, d. h. die Lehre der Dynamik von Flüssigkeiten.

Morphologie oder Geomorphologie: Landformenkunde, untersucht die Formen und formenbildenden Prozesse der Oberfläche der Erde.

Nährstoffe: Essentielle chemische Stoffe die von Tieren oder Pflanzen für das Wachstum benötigt werden.

Ökologie: Lehre der Beziehungen zwischen lebenden Organismen untereinander und zu ihrer Umwelt.

Ökosystem: Die Gemeinschaft lebender Organismen, die untereinander und mit ihrer unbelebten Umwelt interagiert, wie z.B. Regenwälder, Seen oder Ästuar. Der Begriff Ökosystem wird auf Gemeinschaften von unterschiedlicher Skala, die durch ihre Beziehungen gekennzeichnet sind, angewendet.

Sanierung (ökologische): (1) (im engeren Sinn): Wiederherstellung eines Zustandes, der schon einmal vorhanden war; Schaffung eines Ökosystems mit dergleichen Artenzusammensetzung und funktionellen Eigenschaften wie in einem System, das zuvor existierte. **(2) (allgemeine Bedeutung):** Anlage eines Ökosystems mit gewünschten funktionellen Eigenschaften.

Salinität: Ein Maß für die Menge von in Wasser gelöstem Salz. Allgemein als Promille verwendet (d. h. Gramm Salz auf 1.000 Gramm Wasser) und abgekürzt als ppt oder ‰. Ästuar variieren in der Salinität von 0 ppt bis 36 ppt, abhängig vom relativen Zufluss von Süßwasser und Seewasser.

Salzwiese: kann allgemein als Areal definiert werden, das mit Kräutern, Gras und kleinen Sträuchern bewachsen ist und regelmäßig als Folge der Schwankung des Wasserstandes der angrenzenden Salzwasserkörper überflutet wird (tidebeeinflusst oder nicht, Adam 1990). Dort ist das salzige Wasser als nicht süß definiert, wenn das Jahresmittel der Salinität größer als 0,5 g gelöstem Salz pro kg Wasser ist.

Sediment: Schlamm, Sand, Silt, Schalenstücke und andere Partikel, die sich am Boden von Gewässern absetzen.

Sedimentation: Die Ablagerung von Sinkstoffen durch Schwerkraft, die vom Wasser, Abwasser oder anderen Flüssigkeiten transportiert werden. Es ist normalerweise begleitet von der Verringerung der Geschwindigkeit der Flüssigkeit bis unter den Punkt, an dem sie das gelöste Material noch transportieren kann.

Sublittoral: ständig vom Wasser bedeckter Bereich im Wattenmeer unterhalb der mittleren Niedrigwasserlinie. Süßwasser: Wasser, das keinen Salzgehalt ausweist (Salinität unter 0,5 ppt).

Sukzession: fortschreitender Austausch einer Gemeinschaft durch eine andere; die fortlaufende Veränderung der Flora und Fauna die evtl. in einer Klimaxgesellschaft gipfelt.

Tidenhub: Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasserniveau.

Tide: das rhythmische Steigen und Fallen der Oberfläche von Ozean und Ästuar, verursacht durch die Gravitationskraft von Sonne und Mond auf die Erde.

Tidenstand: durchschnittlicher Wasserstand, der sich aus der Tide ergibt (ohne meteorologische Effekte wie Sturmfluten).

Wassertrübung: Ein Maß zur Klarheit von Wasser, wie sehr die Schwebstoffe im Wasser zur Streuung und Absorption von Lichtstrahlen führen.

WRRL: Wasserrahmenrichtlinie, eine EU-Verordnung.





Colofon

Bos, D., Büttger, H., Esselink, P., Jager, Z., de Jonge, V., Kruckenberg, H., van Maren, B., & B. Schuchardt, 2012.

De ecologische toestand van het Eems-estuarium en mogelijkheden voor herstel. A&W rapport 1759.

Programma Naar Een Rijke Waddenzee/Altenburg & Wymenga, Leeuwarden/Veenwouden.

Afbeeldingen en figuren: Ditmar Vroegindewei (pagina's 4|5, 51), Kees Nuijten (pagina's 12|13),

Dick Visser (pagina's 8|9, 18|19, 20|21, 24|25, 26|27, 38|39) en Jos Zwarts (pagina 41)

Fotografie: Michiel Firet (voorkant omslag links, pagina's 2|3, 20|21, 28, 31, 49), Teunis Haveman (pagina's 34|35),

Joop van Houdt | beeldbank.rws.nl (pagina's 48|49), Herman Verheij (voorkant omslag rechts, pagina's 13, 14|15, 25, 38, 43,

46, 52, 56|57, 67), Zwanette Jager | ZiltWater Fotografie (pagina's 32, 39), Voß/Wattenrat (pagina's 22|23, 40, 47)

Ontwerp en vormgeving: Groot Haar + Orth. communicatie en creatie, Leeuwarden

Druk: Copy Service Leeuwarden

De vorige (engelse) versie van dit document is bekeken en van commentaar voorzien door de Waddenacademie.

Deze bijdrage is zeer op prijs gesteld. Het document met de gedetailleerde opmerkingen van de Waddenacademie is voor de geïnteresseerde lezer te downloaden van www.rijkwaddenzee.nl.

Kolophon

Bos, D., Büttger, H., Esselink, P., Jager, Z., de Jonge, V., Kruckenberg, H., van Maren, B., & B. Schuchardt, 2012.

Der ökologische Zustand des Emsästuars und Möglichkeiten der Sanierung. A&W rapport 1759.

Programma Naar Een Rijke Waddenzee/Altenburg & Wymenga, Leeuwarden/Veenwouden.

Abbildungen und Grafiken: Ditmar Vroegindewei (Seiten 4|5, 51), Kees Nuijten (Seiten 12|13),

Dick Visser (Seiten 8|9, 18|19, 20|21, 24|25, 26|27, 38|39) und Jos Zwarts (Seite 41)

Fotos: Michiel Firet (links Titelseite, Seiten 2|3, 20|21, 28, 31, 49), Teunis Haveman (Seiten 34|35),

Joop van Houdt | beeldbank.rws.nl (Seiten 48|49), Herman Verheij (rechts Titelseite, Seiten 13, 14|15, 25, 38, 43, 46, 52,

56|57, 67), Zwanette Jager | ZiltWater Fotografie (Seiten 32, 39), Voß/Wattenrat (Seiten 22|23, 40, 47)

Design und Layout: Groot Haar + Orth. communicatie en creatie, Leeuwarden

Druck: Copy Service Leeuwarden

Eine frühere (englische) Version dieses Dokuments wurde von der holländischen 'Waddenacademie' kritisch durchgesehen, für deren Anmerkungen wir sehr dankbar sind. Die detaillierten Kommentare können vom interessierten Leser unter www.rijkwaddenzee.nl herunter geladen werden.

PROGRAMMA NAAR EEN
RIJKE WADDENZEE

PROGRAMMA NAAR EEN
RIJKE WADDENZEE

