Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV

Postbus 68
1970 AB IJmuiden
Tel.: 0255 564646
Fax.: 0255 564644
E-mail:postkamer.rivo@wur.nl

Centrum voor
Schelpdier Onderzoek
Postbus 77
4400 AB Yerseke
Tel.: 0113 572781
Fax.: 0113 573477

Rapport

Nummer: C075/04

Het effect van sterk wisselende zoutgehalten op het benthos in de Westerschelde en de Haringvlietmonding

J. Steenbergen

Opdrachtgever: RIKZ Middelburg
Postbus 8039
4330 EA Middelburg

Project nummer: 3.01.12192.02

Akkoord: Dr. A.C. Smaal
Hoofd centrum voor schelpdieronderzoek

Handtekening: _____

Datum: oktober 2004

Aantal exemplaren: 10
Aantal pagina's: 39
Aantal tabellen: 7
Aantal figuren: 17
Aantal bijlagen: 1

In verband met de verzelfstandiging van de Stichting DLO, waartoe tevens RIVO behoort, maken wij sinds 1 juni 1999 geen deel meer uit van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Wij zijn geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929
BTW nr. NL 808932184B09.

De Directie van het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV; opdrachtgever vrijwaart het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Samenvatting

In opdracht van het RIKZ is een literatuurstudie uitgevoerd naar de ecologische respons van een ecosysteem in een zoet-zout overgang bij sterk wisselende zoutgehalten en bij een gepulseerde afvoer. Hierbij is alleen gekeken naar de benthische leefgemeenschappen, omdat zij een centrale schakel vormen in het estuariene ecosysteem. Daarnaast is het bentos een goede indicator voor vervuiling en stress zoals zoutschommelingen. Voorkomen en verspreiding van benthische soorten in een estuarium hangen onder meer af van het gemiddelde zoutgehalten en de fluctuaties rond dit gemiddelde. Plotselinge verlaagde zoutgehalten kunnen leiden tot massale sterfte van mariene soorten zoals de kokkel (*Cerastoderma edule*). Dit verschijnsel is onder andere opgetreden in de Haringvlietmonding in de winter van 1994. Ook in de Westerschelde hebben op de Brouwersplaat in de jaren 2000, 2001 en 2002 veel kokkels de hoge rivierafvoeren in de winter niet overleeft. Het verband tussen zoutgehalte en sterfte is echter niet altijd te maken, zo kan ook een strenge winter leiden tot verhoogde sterfte. Daarnaast zijn ook gevallen bekend waarbij ondanks hoge rivierafvoer van de Schelde toch nog een aanzienlijke kokkelpopulatie is aangetroffen (1994).
Er is gebleken dat in die gebieden in de Westerschelde waar grote fluctuaties in zoutgehalten optreden, de mesohaliene zone, zowel de diversiteit als biomassa het lager waren dan in de zoutere polyhaliene zone. In de Haringvlietmonding, waar gepulseerde afvoer plaatsvindt, is een mariene gemeenschap op 2,5 km van de sluis aangetroffen. In een gebied 5 km ten noordwesten van de sluizen bleken relatief soortenrijke bodemdiergemeenschappen aanwezig te zijn die zich qua soortsamenstelling laat vergelijken met een gemeenschap in een estuarium met dien verstande dat ook soorten van de nabije gelegen kustzone zeer abundant kunnen zijn. Dit maakt de diversiteit in de Haringvlietmonding zelfs hoger dan in een estuarium. De effecten van zoetwaterpulsen blijken in de Haringvlietmonding evenals bij de afsluitdijk zeer lokaal te zijn en de periodiek hoge afvoer is niet per definitie van invloed op verderop gevestigde benthische gemeenschap. Slechts bij extreme afvoer treedt massale sterfte op, maar vanwege het grote reservoir aan zoute bodemdieren in de Voordelta wordt het gebied nabij de spuisluis in het Haringvliet weer snel gekoloniseerd.

Meer inzicht op het effect van zoetwater in een spuigebied kan worden verkregen door op een gedetailleerder schaalniveau te kijken naar het gebied vlak achter de suizen.
Met betrekking tot de duurzaamheid van zoet-zoutovergangen wordt aanbevolen zoet-zoutovergangen te definiëren in termen van minimum en maximum zoutgehalte per zone, op basis van tolerantiegrenzen van kenmerkende soorten. Bij de inrichting van zoet-zoutovergangen rekening zal rekening moeten worden gehouden met de geomorfolgische karakteristieken die nodig zijn om een goede menging te verkrijgen.

Inhoudsopgave

Samenvatting 2

1. Inleiding 4
   1.1 aanleiding en kader 4
   1.2 Probleemstelling 5
   1.3 Aanpak 5
2. De Nederlandse Delta 7
   2.1 Inleiding 7
   2.2 De Deltawerken 7
   2.3 Gevolgen van de deltawerken 8
3. Zoutdynamiek 10
   3.1 Natuurlijke dynamiek 10
   3.2 Discontinue gradiënt 10
   3.3 Rivierafvoer 11
   3.4 Fluctuaties in zoutgehalte 13
4. Estuariene Leefgemeenschappen 18
   4.1 Inleiding 18
   4.2 Estuariene Zones 18
   4.3 Benthische leefgemeenschappen 20
   4.4 Soortenrijkdom en biomassa 23
   4.5 Zoutgehalte tolerantie 24
   4.6 Effecten van zoutschommelingen op overleving 28
5. Discussie 31
6. Conclusies & Aanbevelingen 34
7. Literatuur 36

Bijlage I 39

1. Inleiding

1.1 aanleiding en kader

De eeuwenlang durende strijd tegen het water heeft directe gevolgen gehad voor de natuur en de waterhuishouding in Nederland. Door bedijking en inpoldering is de Nederlandse kustzone afgenomen tot een kustlijn, waarachter grote oppervlakten voormalig kustgebied van de zee afgesloten liggen (de Leeuw en Backx, 2001). In de 20ste eeuw is vervolgens met de bouw van de Afsluitdijk en de Deltawerken het estuariene karakter in de Nederlandse kustgebieden ingrijpend veranderd. De Deltawerken hebben weliswaar geleid tot veiligheid bij overstromingen, goede infrastructuur, zoetwater voor de landbouw en rekreatievoorzieningen, de keerzijde is dat hierdoor het contact tussen de rivieren en de zee is verbroken. Met het verdwijnen van deze natuurlijke zoet-zoutovergangen zijn unieke gebieden verloren gegaan en de harde grenzen tussen zout en zoet vormen een ecologische barrière voor talloze organismen. Wat over is gebleven zijn geïsoleerde bekkens welke zeer kwetsbaar zijn en een gering vermogen tot herstel hebben (Haas en Tosserams, 2001).

In de afgelopen tien jaar is het bewustzijn voor de noodzaak van het herstel van zoet-zoutovergangen vanuit het oogpunt van natuurherstel, veiligheid, waterkwaliteit en management kosten gegroeid. Nieuwe inzichten leren dat de huidige omgang met het water geen duurzame oplossing biedt. Ook verandering in de waardering van natuur en voorspelde autonome ontwikkelingen zoals versnelde zeespiegelstijging (en bodemdaling) en veranderingen in de zoetwaterafvoer hebben hieraan bijgedragen. Er vindt een omslag in denken plaats; het idee van de zee en rivieren buiten houden d.m.v. dijken en dammen maakt plaats voor nieuwsgierigheid naar hoe we de rivieren en de zee kunnen laten meewerken aan de verdediging en opbouw van ons land tegen diezelfde natuurelementen.

In dit Kader is in 2003 het programma ‘STUURBOORD’ gestart om in de toekomst de landelijke advisering en het onderzoek voor het natte beheer en onderhoud bij het Rijkswaterstaat zo goed en efficiënt mogelijk uit te laten voeren. Een van de projecten van dit programma betreft de RIZA/RIKZ studie ‘Zoetwateraanvoer en duurzame zoet-zoutovergangen’. Het doel van dit project is het ontwikkelen van een raamwerk waarmee aangegeven kan worden welke eisen aan de toevoer van zoetwater gesteld dienen te worden voor goed functionerende en duurzaam herstel van zoet-zoutovergangen in Nederland.

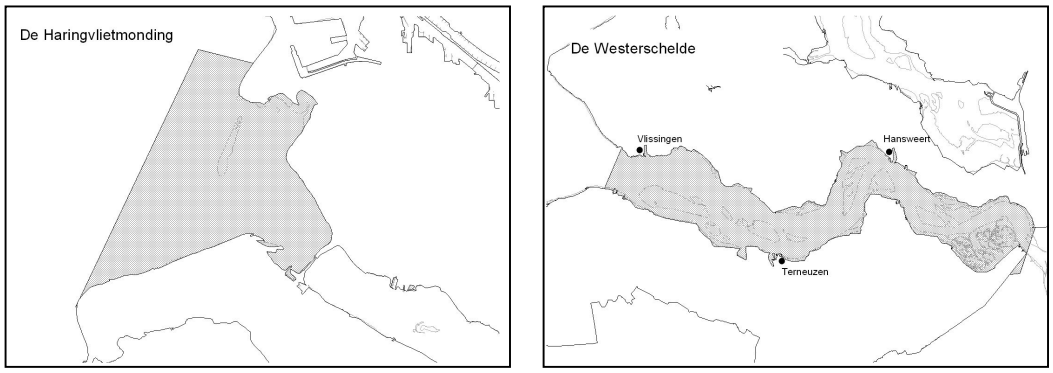
1.2 Probleemstelling

Natuurlijke zoet-zoutovergangen in estuaria zijn veelal onderhevig zijn aan sterke schommelingen van het zoutgehalte als gevolg van een wisselende aanvoer van zoetwater. De populaties in die voorkomen dit milieu zijn hieraan aangepast. Het zijn veelal opportunistische soorten met een grote reproductie- en kolonisatie capaciteit, waar periodiek massale sterfte wordt opgevangen door massale broedval. Bij spuilocaties daarentegen treedt vaak periodiek sterk gepulseerde aanvoer van zoetwater op: tijdens natte perioden hoge zoetwaterafvoer en tijdens droge perioden niet of nauwelijks afvoer. De daar optredende fluctuaties in zoutgehalte overschrijden de tolerantiegrenzen van estuariene populaties waardoor een instabiele levensgemeenschap ontstaat. Voorbeelden hiervan zijn o.a. de Haringvlietsluizen en de spuisluizen in de Afsluitdijk. Bekend is dat in het uitstroomgebied van deze spuisluizen verhoogde niveaus van huidzweren bij botten worden aangetroffen (Vethaak et al, 2004) en ook de benthische gemeenschap is er periodiek soortenarm. Ook kokkelsterfte wordt gerapporteerd (Craeymeersch en van der Land, 1998) en mosselbroedval die vroeger frequent optrad in de Haringvlietmonding is er niet meer (per com J. Bol). In opdracht van het RIKZ is een literatuurstudie uitgevoerd naar het functioneren van benthische levensgemeenschappen in gebieden die onder sterke invloed staan van zoutschommelingen. In deze studie staat de volgende vraag centraal:

Wat is de ecologische respons van een ecosysteem in een zoet-zoutovergang bij sterke wisselende zoutgehalten of gepulseerde zoetwaterafvoer?

1.3 Aanpak

Tijdens deze studie is een vergelijking gemaakt van het voorkomen van soorten in een gebied in de buurt van een spuilocatie, de Haringvlietmonding en in een natuurlijk estuarium, de Westerschelde (figuur 1.1). Naast literatuurgegevens is gebruik gemaakt van op het RIVO beschikbare datasets over het voorkomen van schelpdieren in gebieden die onderhevig zijn aan grote zoutfluctuaties. Voor de gegevens over rivierafvoer en zoutgehalten in de Haringvlietmonding en de Westerschelde is de website www.waterbase.nl gehanteerd.



Figuur 1.1. Onderzoeksgebieden; De Haringvlietmonding (links) en de Westerschelde (rechts)

Om een antwoord te kunnen geven op de centrale vraag zijn de volgende stappen ondernomen:

1. De situatie in de Nederlandse delta voor en na de voltooiing van Nederlandse Deltawerken is beschreven evenals het effect van de deltawerken op het estuariene karakter van de Nederlandse delta.
2. De zoetwateraanvoer en –afvoer en de bijbehorende fluctuaties in zoutgehalten in de Haringvlietmonding en de Westerschelde worden beschreven.
3. Er wordt een overzicht gegeven van benthische leefgemeenschappen in de Westerschelde en in het Haringvliet. Tevens wordt in beide gebieden gekeken naar diversiteit, biomassa's en dichtheden in relatie tot zoutgehalten.
4. Specifiek voor schelpdieren wordt een overzicht gegeven van zouttoleranties. Daarnaast worden voorbeelden van reacties van schelpdiersoorten op sterke zoetwaterpulsen in het veld gegeven.

Tot slot volgt een discussie over de duurzaamheid van zoet-zoutovergangen.

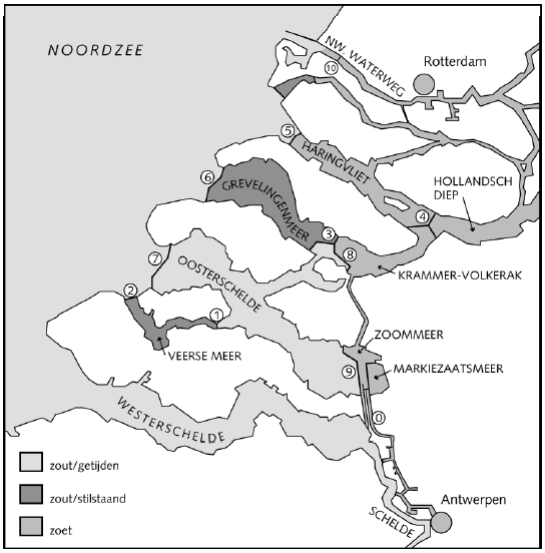
2. De Nederlandse Delta

2.1 Inleiding

Estuaria zijn overgangsgebieden tussen rivieren en de zee, waar de watermassa in beweging is onder invloed van de rivierwaterafvoer en het getij. Estuaria bestaan uit drie zones: 1) een zoetwatergetijdengebied, 2) een middengebied waar zoet rivierwater en zout zeewater zich mengen en 3) een kustzone. Het (midden)gebied waar rivierwater en zout zeewater elkaar ontmoeten wordt de brakke zone genoemd (Eysink, 1990). Estuaria worden gekarakteriseerd door sterk variërende hydrologische, morfologische en chemische omstandigheden. In veel estuaria is de natuurlijke dynamiek versterkt door menselijke activiteiten (Ysebaert et al 1998). De Nederlandse delta is een voorbeeld van een estuarien gebied dat door menselijke ingrepen drastisch is veranderd.

2.2 De Deltawerken

Het deltagebied ligt aan de monding van drie stroomgebieden: Rijn, Maas en Schelde. Oorspronkelijk was het één estuarium van drie grote rivieren. Door de aanleg van dammen en dijken is de Schelde in de 19e eeuw gescheiden van de Rijn en de Maas. In 1957 nam het Nederlandse parlement het Deltaplan aan, dat als doel had de lage delen van Nederland te beschermen tegen stormvloeden. De aanpak was het sluiten van alle zeegaten in Zuidwest Nederland (figuur 2.1). De enige uitzondering hierop was de Westerschelde, die open moest blijven vanwege de bereikbaarheid van de Antwerpse haven (Haas, 1998, Haas & Tosserams, 2001, Anoniem 1999).



0 = Markiezaatsdam
1 = Zandkreekdam
2 = Veerse Gatdam
3 = Grevelingendam
4 = Volkerakdam
5 = Haringvlietdam
6 = Brouwersdam
7 = Oosterscheldekering
8 = Philipsdam
9 = Oesterdam
10= Stormvloedkering Nieuwe Waterweg

Figuur 2.1: Overzicht van de Deltawerken in Zuidwest Nederland (bron: Haas, 1998)

Het Veerse Gat (1961), het Haringvliet (1970) en de Grevelingen (1971) werden van de Noordzee afgesloten en veranderden in brakke, zoete en zoute wateren (tabel 2.1). Ook voor de Oosterschelde was een volledige afsluiting van de Noordzee gepland. Dit idee werd echter door veranderende opvattingen over natuur en milieu in 1974 losgelaten. Om behalve de veiligheid in het achterland ook de natuurwaarden in de zeearm te waarborgen, werd in 1976 besloten tot de bouw van een pijlerdam als stormvloedkering. Op 4 oktober 1986 is de stormvloedkering in de Oosterschelde officieel in gebruik genomen. Om een zo groot mogelijk getijverschil te behouden, werden de Oesterdam (1986) en de Philipsdam (1987) in het oostelijk deel van de Oosterschelde aangelegd. Deze comparimenteringsdammen verkleinden het bekkenvolume (Van Berchum en Wattel, 1997). Door de compartimentering van de Oosterschelde ontstonden het zoete Volkerak-Zoommeer en het Markiezaatsmeer. De Oosterschelde veranderde van een estuarium in een half open zeearm en een sterk verminderde toevoer van zoetwater (De Leeuw en Backx, 2001)

Tabel 2.1: afsluitingen naar aanleiding van de deltawerken (bron: De Leeuw en Backx, 2001)

Oorspronkelijke situatie	**Ingreep (jaar)**	**Nieuwe situatie**	**Nieuw karakter van watersysteem**
Haringvliet-estuarium	Haringvlietdam (1970)	Haringvliet	Stagnant zoet
Grevelingen-estuarium	Grevelingendam (1964) Brouwersdam (1971)	Grevelingenmeer	Stagnant zout
Oosterschelde-estuarium	Zandkreekdam (1960) Grevelingendam (1964) Oesterdam (1986) Stormvloedkering (1986) Philipsdam (1987)	Oosterschelde-zeearm	Marien getijdenwater
	Volkerakdam (1969)	Volkerak-Zoommeer	Stagnant zoet
	Markiezaatskade (1983)	Markiezaatsmeer	Stagnant zoet
	Veerse dam (1961)	Veerse Meer	Stagnant brak

2.3 Gevolgen van de deltawerken

Door de Deltaweken is het estuarium van de Rijn en de Maas beperkt tot de Nieuwe Waterweg en is de estuariene dynamiek vrijwel verdwenen (Anoniem, 2003). Binnen de fysische grenzen van de Deltawerken ontwikkelden zich nieuwe ecosystemen met verschillende eigenschappen (tabel 2.2). Zo was het Haringvliet voor de uitvoering van de deltawerken een belangrijk onderdeel van het Rijn-Maas-estuarium (evenals Oosterschelde, Grevelingen en Nieuwe Waterweg). Er was sprake van een voortdurend wisselende zoutgradiënt en het intergetijdengebied bestond uit slikken en zandplaten en schorren op de hogere delen. De fauna bestond uit mariene en brakwatersoorten. Het Haringvliet veranderde in een stagnant zoetwater bekken met een statische overgang die bovendien meer naar het westen is gelegen dan voorheen het geval moet zijn geweest (De Leeuw en Backx, 2001). Ook het Volkerak-Zoommeer is veranderd in een stagnant zoetwater bekken, terwijl Grevelingen en Veerse Meer zijn veranderd in stagnant zoutwater bekkens. Ook in deze stagnante wateren is de getijdenslag

nagenoeg tot helemaal verdwenen met als gevolg dat de kenmerkende estuariene dynamiek verloren is gegaan. De Oosterschelde is nu een zeearm, in plaats van een estuarium. De zoetwater toevoer is verminderd van 70 naar 35 $m^3 s^{-1}$. Er zijn nog platen en schorren in de Oosterschelde, maar het areaal is wel afgenomen (Smaal en van der Hoek, 1997). De Westerschelde heeft nog het meest van zijn oorspronkelijk estuariene karakter behouden. Echter, door geulwandverdedigingen, met name onder de waterlijn, bagger- en stortwerkzaamheden en vedergaande bedijking is ook in dit gebied veel dynamiek verloren gegaan.

Tabel 2.2: belangrijkste abiotische kenmerken van de watersystemen in de Delta en de veranderingen in habitats als gevolge van de Deltawerken (bron: Smaal en van der Hoek, 1997)

	Haring-vliet	**Grevelin-genmeer**	**Ooster-schelde**	**Volkerak -meer**	**Veerse-meer**	**Wester-schelde[c]**	**Totaal**
Totaal opp. (km^2)							
- Voor	170	140	452[b]	65	40	300	1102[b]
- Na	146[a]	108[a]	351	47	21[a]	300	926[a]
Droog vallende Platen (km^2)							
- Voor	38	63	183[b]	24	22	43	369
- Na	2	0	118	0	0	33	153
Schorren (km^2)							
- Voor	31	4	17[b]	6,5	7,5	35	94,5
- Na	0	0	6	0	0	25	31
Zoetwatertoevoer ($m^3 s^{-1}$)							
- Voor	880	GD	70	70	GD	120	
- Na	0-1300	5	25	25	3	120	
Gem. Amplitude v. getij (m)							
- Voor	1	3	3,7	3,7	4	4	
- Na	0,2	0	3,3	3,3	0	4	

GD Geen Data

[a] Zonder nieuwe terrestische gebieden

[b] Inclusief het volkerak gebied

[c] Niet perse veroorzaakt door de deltawerken

3. Zoutdynamiek

Wanneer zoutwater en zoetwater elkaar ontmoeten ontstaat een gradiënt in zoutgehalte zoals het geval is in de brakke zone van een estuarium. Door bedijking en afdamming is Nederland niet enkel meer sprake van natuurlijke estuariene gradiënten, maar zijn ook discontinue gradiënten aanwezig. In dit hoofdstuk zal de zoutdynamiek in twee zoet-zoutovergangen worden besproken; een natuurlijke zoet-zoutovergang met aanwezigheid van een estuariene gradiënt (de Westerschelde) en een onnatuurlijke overgang met een discontinue gradiënt (het Haringvliet). In het laatste geval is sprake van een afgesloten estuarium met aanwezigheid van een spuisluis.

3.1 Natuurlijke dynamiek

De menging van zout zeewater en zoet water van de rivier is karakteristiek voor een estuarium en resulteert in een geleidelijke gradiënt van zoet via brak naar zout water (Holland en Smit, 1994). De uitwisseling van zoet en zoutwater vind plaats in de brakke zone, wat kan resulteren in een grote schommelingen in zoutgehalte. Het zoutgehalte per locatie en de verdeling van het zoutgehalte over de verticaal variëren voortdurend onder invloed van getijbeweging, de rivierafvoer en de wind (Eysink, 1990). De zoutwateraanvoer in de Westerschelde varieert met de getijbewegingen. Per etmaal treden in de Westerschelde twee getijdencycli op; twee maal per dag komt een hoog water voor en 2 maal per dag een laagwater. Bij hoogwater dringt het zoute water verder het estuarium in. De aanvoer varieert sterk, doordat het getij verloopt van dood- naar springtij. De aanvoer van zoetwater in de Westerschelde is afhankelijk van de afvoer van de rivier de Schelde. Deze is sterk seizoensafhankelijk, aangezien de Schelde een regenrivier is.

3.2 Discontinue gradiënt

Verschillende zeearmen zijn in het verleden geheel of gedeeltelijk afgesloten. Zoetwater wordt vaak schoksgewijs op de Noordzee gespuid, met als gevolg een discontinue gradiënt en grote instabiliteit in het zoutgehalte aan de zeezijde en een zoetwaterreservoir aan de landzijde. Een voorbeeld van een dergelijke spuisluis zijn de sluizen in het Haringvliet. Met deze Haringvlietsluizen wordt de waterbeweging in het Noordelijk deltabekken in belangrijke mate gestuurd. Er vind in het huidige Noordelijke deltabekken in principe alleen zoutindringing plaats via de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet (ten oosten van de sluizen) blijft in principe zoet. Bij lage rivierafvoeren wordt door het sluiten van de sluizen het rivierwater gedwongen om via de Nieuwe Waterweg naar de zee te stromen. Bij hogere afvoeren gaan de Haringvlietsluizen bij eb open zodat er rivierwater via de sluizen naar zee gaat stromen (Anoniem, 1998).

In de monding van het Haringvliet worden de zoutbewegingen dan ook voornamelijk bepaald door de lozing van rivierwater via de Haringvlietsluizen en door de getijdebeweging op de Noordzee aan de buitenzijde van de sluizen.

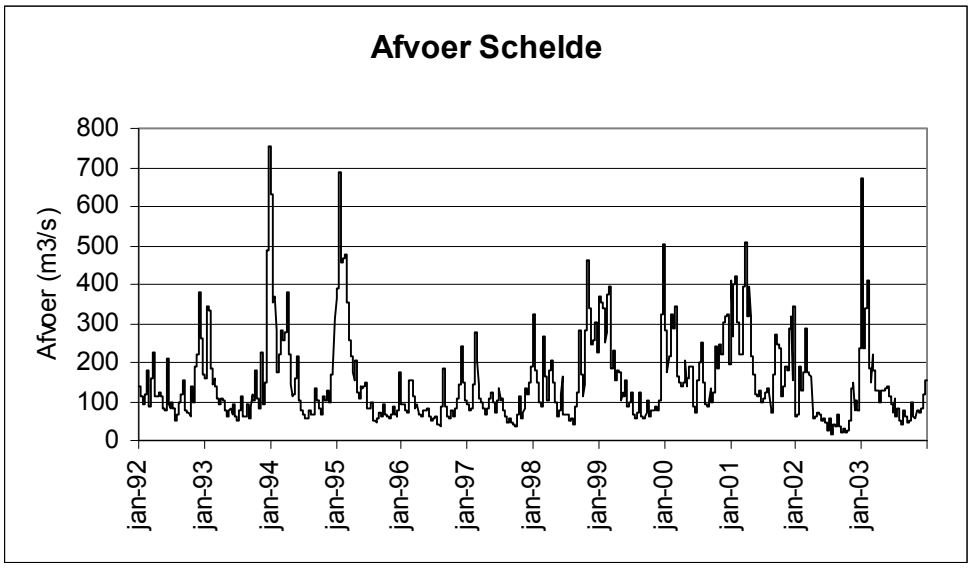
Haringvlietsluizen
Het meer dan duizend meter lange sluizencomplex in de Haringvlietdam bestaat uit 17 spuisluizen. Elke sluis is 60 meter lang en voorzien van kantelbare schuiven aan twee zijden, een schuif aan de zeezijde (zeeschuif) en een schuif aan de rivierzijde (zeeschuif). Elke schuif is een stalen gevaarte van 56 meter breed, bevestigd aan draaiarmen. Bij eb wordt een deel van de zeeschuiven tot een bepaalde hoogte geheven. De rivierschuiven staan meestal open. Door de sluizen wordt jaarlijks circa 30 miljard kubieke meter water afgevoerd. Voor meer informatie: www.haringvlietsluizen.nl

3.3 Rivierafvoer

Rivierafvoeren zijn voor een groot deel bepalend voor de zoutdynamiek in zowel estuaria als aan de zeezijde van een discontinue overgang. Deze rivierafvoeren worden dagelijks gemeten in het kader van het Landelijke Watermonitoringsprogramma (MWTL), uitgevoerd door RIKZ en RIZA. De data van dit monitoringsprogramma zijn beschikbaar op de waterbase website: www.waterbase.nl.

3.3.1 Schelde

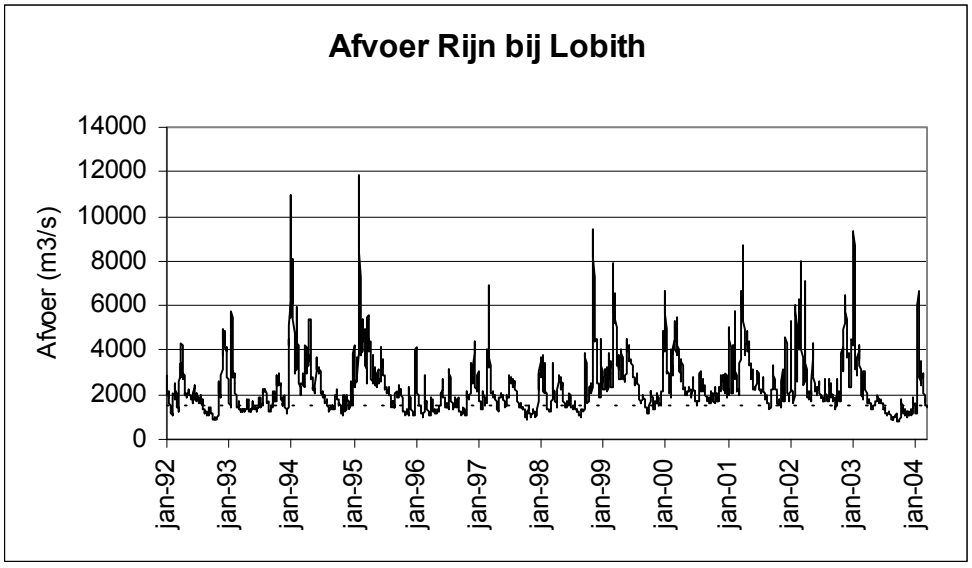
De dagelijkse afvoer van de Schelde, welke bepalend is voor de indringing van zoetwater in de Westerschelde wordt weergegeven in figuur 3.1. De afvoer van de Schelde is veel lager dan de afvoer van de Rijn (§ 3.3.2; factor 20 x zo laag). Ondanks dat zullen in de Schelde de hoge afvoeren in de winter leiden tot periodieke verzoeting van meer westelijk gelegen locaties (§ 3.4.1). De hoogste afvoeren zijn gemeten in de jaren 1994, 1995 en 2003. In de jaren 1999 - 2002 waren de afvoeren weliswaar minder hoog dan in voornoemde jaren, de periode van hoge rivierafvoer waren in deze jaren wel vrij lang.



Figuur 3.1: afvoer van de Schelde bij Schaar van Ouden Doel. Data: www.waterbase.nl.

3.3.2 Bovenrijn

De afvoer van de Bovenrijn te Lobith wordt als maat gebruikt voor de grootte van de opening van de Haringvlietsluizen (figuur 3.2). De sluizen gaan open wanneer de rivierafvoer hoger is dan 1700 m^3/s (de Hoog en Steenkamp, 1989) en hoe hoger de rivierafvoer, hoe verder de sluizen open gaan. In de periode 1992-2004 hebben de sluizen 65% van de tijd open gestaan, voornamelijk in de wintermaanden. De hoogste afvoeren waren in de jaren 1994 en 1995 en de laagste in 1996 en 1998. In de jaren 2000-2003 waren de piekafvoeren weliswaar lager dan in 1994 en 1995, er was in die jaren sprake van lange periodes met rivierafvoeren hoger dan 1700 m^3/s was. Pas in de zomer van 2003 was de rivierafvoer meerdere maanden lager dan 1700 m^3/s.



Figuur 3.2: afvoer van de Rijn bij Lobith in m^3/s. In de gevallen dat de afvoer boven de stippellijn is wordt er gespuid (> 1700 m^3/s). Data: www.waterbase.nl

3.4 Fluctuaties in zoutgehalte

Binnen het Landelijke Watermonitoringsprogramma (MWTL) van het RIKZ en het RIZA word op verschillende locaties langs de Nederlandse kust en in de Westerschelde een maandelijkse meting gedaan van het zoutgehalte. Deze zoutgehalten zijn beschikbaar op de waterbase website (www.waterbase.nl) en geven een indicatie van de maandelijkse fluctuaties in zoutgehalten op verschillende locaties.

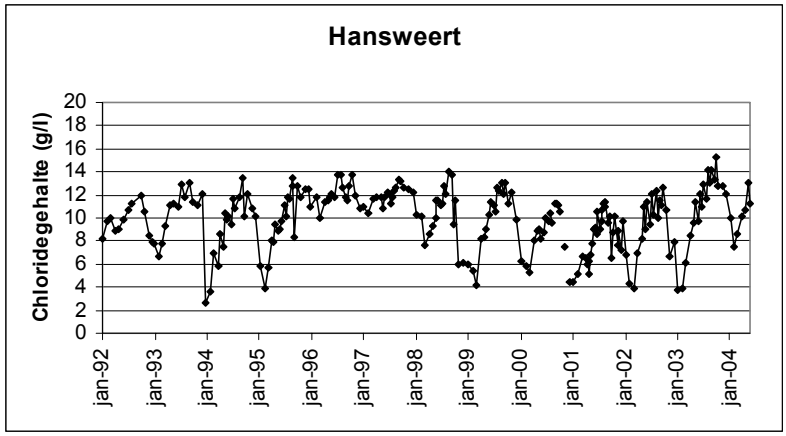
3.4.1 Westerschelde

In de Westerschelde geldt dat hoe meer een locatie richting het oosten is gelegen des te groter is de invloed van het zoete water. Om dit aan te tonen is langs 4 locaties van oost naar west gekeken naar maandelijkse fluctuaties in het zoutgehalte van oost naar west: Hansweert, Hoedekenskerke, Terneuzen en Vlissingen (Bijlage I en figuur 3.3 t/m 3.6).

In de geul bij Hansweert kunnen de chloridegehalten variëren van 2-14 g/l (figuur 3.3). Lage zoutgehalten komen vooral voor in de wintermaanden (bij hoge rivierafvoer), terwijl in de zomermaanden het zoute water meer invloed heeft. Waargenomen extremen in de periode 1992 – 2004 zijn:

Een minimum chloridegehalte van **2,74 g/l** in januari 1994

Een maximum chloridegehalte van **15,27 g/l** in oktober 2003

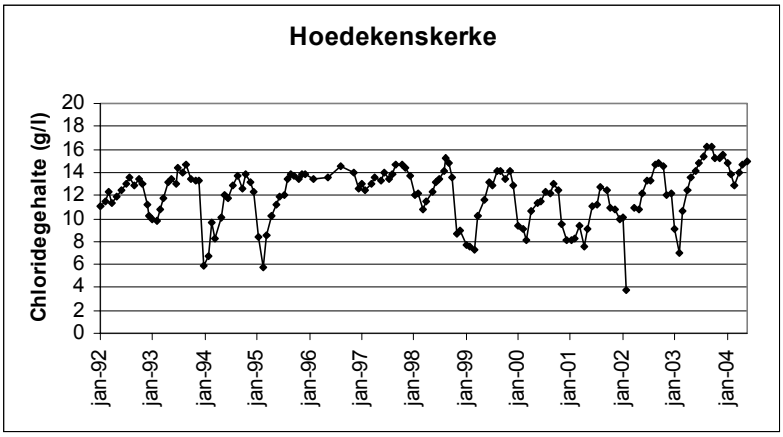


Figuur 3.3: fluctuaties in zoutgehalte in de Westerschelde ter hoogte van Hansweert. Data: www.waterbase.nl

De chloridegehalten in het meer westelijk gelegen Hoedekenskerke zijn hoger dan in Hansweert. Ook hier treden echter grote fluctuaties in zoutgehalten op als gevolg van de rivierafvoer. Maxima liggen tussen de 12 en de 14 g Cl/l en minima rond de 6 en 8 g Cl/l. Ook de extremen die zijn gemeten liggen hoger dan in Hansweert:

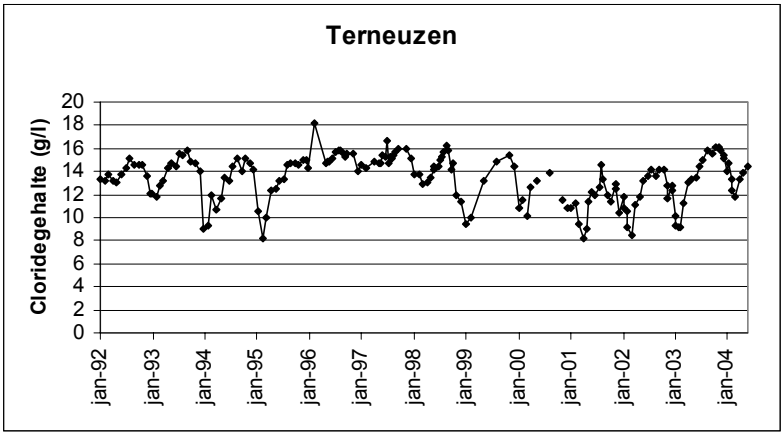
Een minimum chloridegehalte van **3,8 g/l** in januari 1994

Een maximum chloridegehalte van **16,24 g/l** in oktober 2003



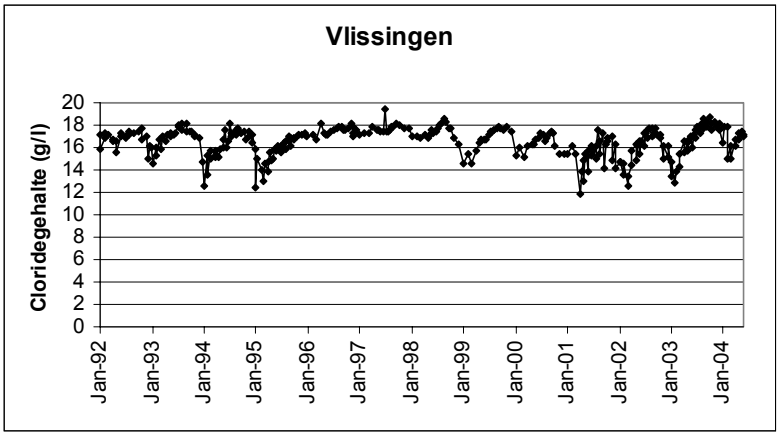
Figuur 3.4: fluctuaties in zoutgehalte in de Westerschelde ter hoogte van Hoedekenskerke. Data: www.waterbase.nl

Ter hoogte van Terneuzen is het gemiddelde zoutgehalte nog meer toegenomen. Zoutgehalten beneden de 8 g Cl/l komen niet meer voor en er wordt zelfs geregeld een chloridegehalte tussen de 14 en 16 g/l gemeten (figuur 3.5). In de jaren 1996 en 1997 komen de waarden zelfs helemaal niet beneden de 14 g/l. De volgende extremen zijn aangetroffen:
Een minimum chloridegehalte van **8,16 g/l** in januari 1994
Een maximum chloridegehalte van **18,15 g/l** in oktober 2003



Figuur 3.5: fluctuaties in zoutgehalte in de Westerschelde ter hoogte van Terneuzen. Data: www.waterbase.nl

Vlissingen is de locatie die het meest richting de Noordzee is gelegen en hier zijn de zoutgehalten dan ook het hoogst (figuur 3.6). In de periode 92-04 liggen de chloridegehalten tussen 12 en 20 g/l. Vooral in de jaren 1996-1999 waren chloridegehalten erg stabiel, tussen de 16 en de 18 g/l . De volgende extremen zijn aangetroffen:
Een minimum chloridegehalte van **11,89 g/l** in januari 1994
Een maximum chloridegehalte van **19,42 g/l** in oktober 2003

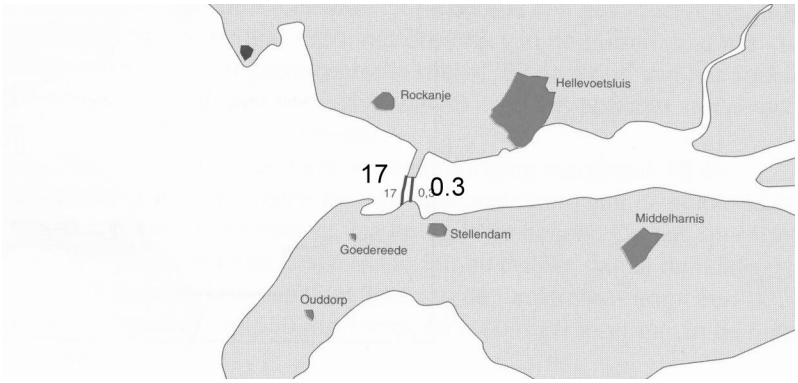


Figuur 3.6: fluctuaties in zoutgehalte in de Westerschelde ter hoogte van Vlissingen. Data: www.waterbase.nl

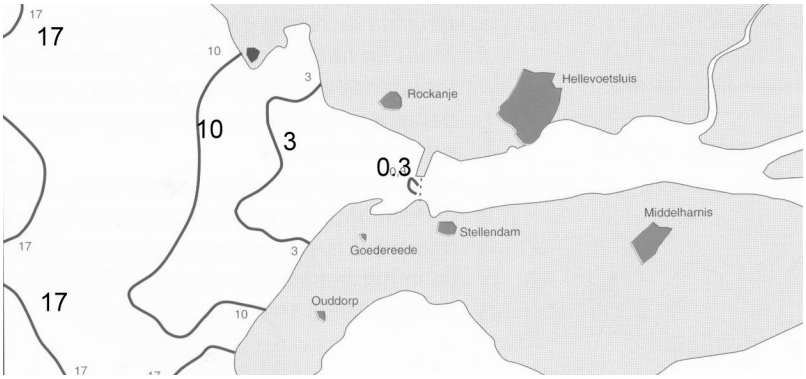
3.4.2 Haringvliet

Door de aanleg van de Haringvlietdam in het Haringvliet is de natuurlijke gradiënt in zoutgehalte van het estuarium volledig verdwenen. In het gebied ten oosten van de dam is de invloed van zoutwater minimaal omdat de sluizen alleen bij eb open staan om rivierwater te lozen. Ten westen van de dam is sprake van periodiek hoge zoutgehalten met grote fluctuaties. Met behulp van een 3 D-model (RIJNAMO) is de water- en zoutbeweging voor de monding van het Haringvliet en het westelijk deel van het Noordelijk Deltabekken berekend (Anoniem, 1998). Met dit model zijn de zoutgehalten berekend voor een gemiddelde rivierafvoer (2200 m^3/s) en voor een zeer lage rivierafvoer (1000 m^3/s). In het eerste geval is de zoetwaterlozing door de sluizen tijdens eb ongeveer 900 m^3/s en in het tweede geval zijn de sluizen dicht. De resultaten zijn weergegeven als isohalienes in figuur 3.7abc (Anoniem, 1998). Wanneer de sluizen dicht zijn, dan is het chloridegehalte in de Haringvlietmonding 17 g/l bij zowel eb als vloed. Tijdens een gemiddelde rivierafvoer is de ligging van de isohalienes afhankelijk van het getij. Bij eb is de invloed van zoetwater merkbaar tot buiten het mondingsgebied, terwijl bij vloed het zoete water weer meer richting de sluizen wordt gedreven.

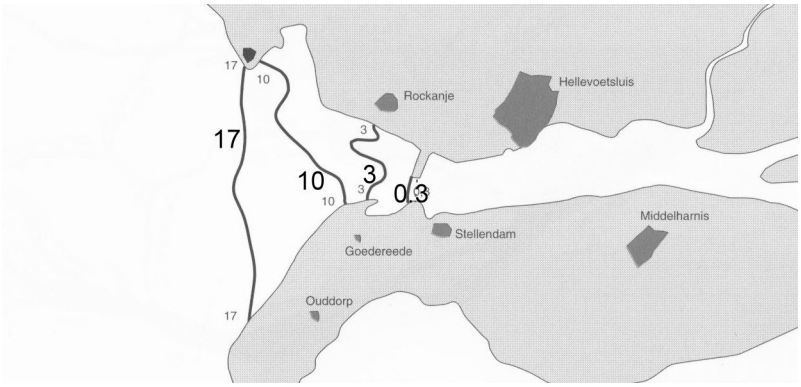
a



b



c

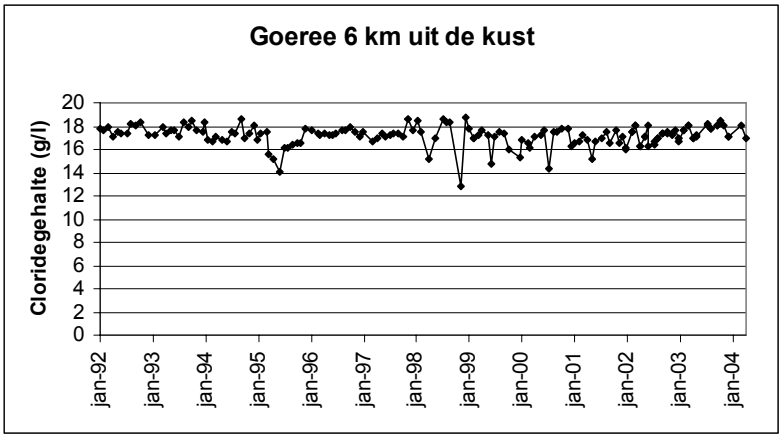


Figuur 3.7: modeluitkomsten voor isohalienes in de Haringvlietmonding;
a) lage rivierafvoer (eb en vloed), sluizen dicht, b) gemiddelde rivierafvoer tijdens eb, sluizen open, c) gemiddelde rivierafvoer tijdens vloed, sluizen dicht.

Net buiten de Haringvlietmonding ligt een meetpunt van het RIZA/RIKZ meetnet (Goeree 6 km uit de kust; bijlage I) Uit de maandelijkse metingen van het zoutgehalte blijkt dat op dit zeestation sprake is van een minimale invloed van zoetwater (figuur 3.8). Zoutgehalten schommelen tussen de 16 en 18 g Cl/l en in de jaren 92-04 kwam zelden een zoutgehalte van 14 of lager voor. De volgende extremen zijn aangetroffen:

Een minimum chloridegehalte van **12,82 g/l** in januari 1994

Een maximum chloridegehalte van **18,7 g/l** in oktober 2003



Figuur 3.8: fluctuaties in zoutgehalte in de Westerschelde ter hoogte van Goeree, 6 km uit de kust. Data afkomstig van; www.waterbase.nl

4. Estuariene Leefgemeenschappen

4.1 Inleiding

Estuariene soorten zijn soorten die op een of andere manier (voor voedsel, rust, voortplanting) aan het estuarium gebonden zijn. In het brakke gedeelte van het estuarium komen zowel brakwatersoorten voor als ook mariene soorten met een hoge tolerantie voor zoutschommelingen (De Leeuw en Backx, 2001). Leefgemeenschappen die voorkomen in gebieden die onderhevig zijn aan grote schommelingen in zoutgehalten staan in dit hoofdstuk centraal. De nadruk ligt op benthische leefgemeenschappen, omdat deze een centrale schakel vormen in het estuariene ecosysteem. Het benthos maakt deel uit van het voedselaanbod van onder andere vissen en vogels en speelt daarmee sleutelrol in benthische en pelagische voedselwebben. Daarnaast is benthos ook een goede indicator voor vervuiling en stress zoals schommelingen in zoutgehalten.

4.2 Estuariene Zones

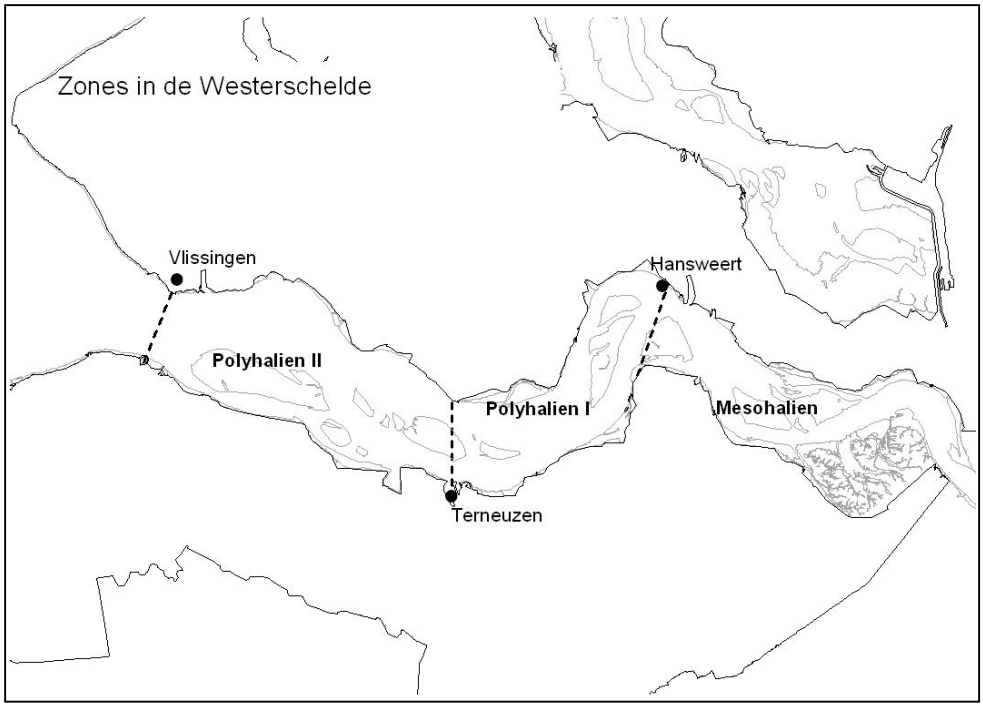
Het voorkomen en de groei van planten- en diersoorten langs estuariene gradiënten wordt voor een belangrijk deel bepaald door het zoutgehalte (Janssen, 2000; de Leeuw en Backx, 2001). Estuaria worden dan ook vaak ingedeeld op grond van zoutgehalten om zo een classificatie van de aanwezige soorten te maken In een veel gehanteerde indeling worden 5 zones onderscheiden op basis van de range in het zoutgehalte (De Leeuw en Backx, 2001; Eertman en Smaal, 1997; Den Hartog, 1959; McLusky, 1993; tabel 4.1). Het voorkomen van soorten in deze zones is afhankelijk van hun tolerantie voor zoutgehalteschommelingen.

Tabel 4.1: estuariene zone met een classificatie van de daartoe behorende soorten (Eertman & Smaal, 1997; de Leeuw en Backx, 2001)

Chloride-gehalte (g Cl/l)*	Zone	Kenmerken	Soorten
<0,3	*Zoetwatergetijdenzone*	- Meest stroomafwaarts gelegen deel met getijdeninvloed, zonder zoutindringing	- Zoetwatersoorten die getijtolerant zijn
0,3-3	*Oligohaliene zone*	- Rivierwater komt voor het eerst in contact met zeewater, zeer geringe zoutindringing	- Zoetwatersoorten die getij- en zouttolerant zijn en brakwatersoorten
2,8-10	*Mesohaliene zone*	- Rivierwater en getijdenstroom ontmoeten elkaar	- Brakwatersoorten
10-17	*Polyhaliene zone*	- Getijstromen nemen toe van zwak tot matig	- Brakwatersoorten en mariene soorten met een grote zouttolerantie
> 17	*Euhaliene zone*	- Sterke getijstromen, saliniteit wijkt niet veel af van de zee	- Mariene soorten

*Saliniteit (‰ S) = 1,8 * chloriniteit (g/kg), Chloridegehalte (g Cl^-/l) = chloriniteit (g Cl^-/kg) * 1,024 kg/l

De Westerschelde bestaat voornamelijk uit een mesohaliene en een polyhaliene zone. De mesohaliene zone begint ongeveer ten oosten van Hansweert en de polyhaliene zone loopt van Hansweert tot Vlissingen. Voorbij Vlissingen begint vervolgens de euhaliene zone (figuur 4.1) en de oligohaliene zone begint daar waar de Westerschelde overgaat in de Zeeschelde. Dit is tevens de indeling die Ysebaert en Meire (1991) hebben gebruikt voor hun onderzoek naar leefgemeenschappen in de Westerschelde. De indeling is een indicatie, gebaseerd op gemiddelde zoutgehalten, wat betekend dat deze grenzen niet statisch zijn en kunnen verschuiven in tijd en ruimte afhankelijk van getijbewegingen en de rivierafvoer.



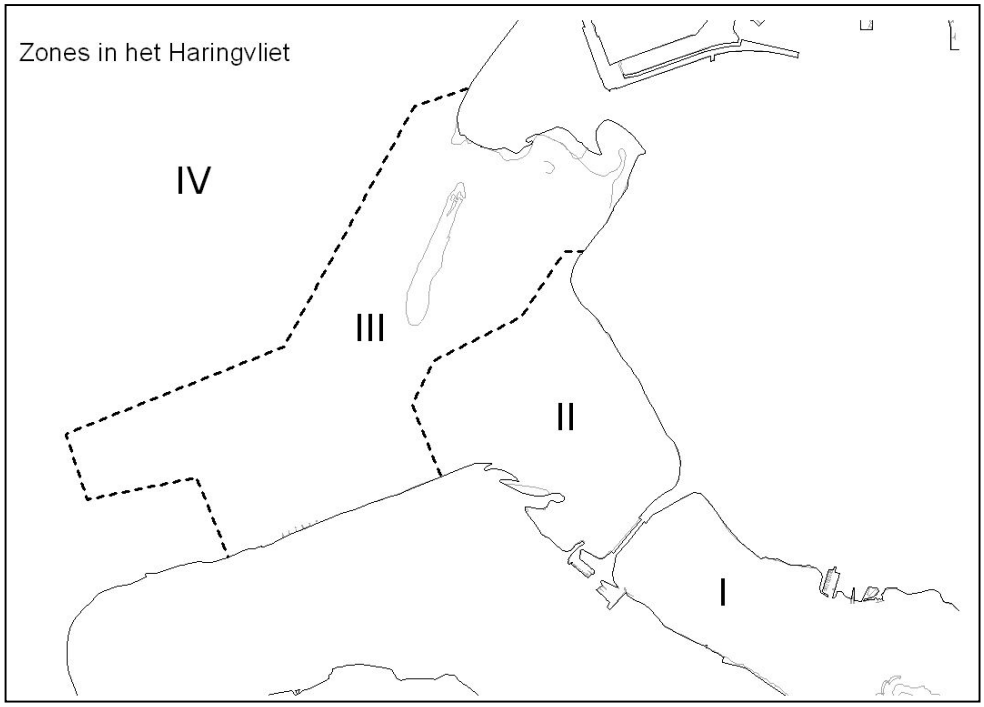
Figuur 4.1: zones in de Westerschelde gebaseerd op gemiddelde zoutgehalten; Polyhalien II: 13-16 g Cl/l, Polyhalien I: 10-13 g Cl/l, Mesohalien: 2-10 g Cl/l (Ysebaert en Meire, 1991).

Ook in het Haringvliet zijn op basis van de isohalienes die zijn besproken in het voorgaande hoofdstuk verschillende zones te onderscheiden. Het Haringvliet bestaat uit een rivierzijde en een zeezijde aan de zeezijde kunnen 3 verschillende zones worden onderscheiden (figuur 4.2):

- Zone I bevindt zich aan de rivierzijde van de sluizen kenmerkt zich door stagnant zoet water. Soorten die hier voorkomen zijn enkel zoetwatersoorten. Deze zone is niet vergelijkbaar met een estuariene zone aangezien er geen invloed meer is van het getij.
- Zone II bevindt zich aan de zeezijde, direct achter de sluizen in de Haringvlietmonding. Onder gemiddelde omstandigheden tijdens eb het meest te vergelijken met een oligohaliene zone (gemiddelde rivierafvoer § 3.4.2). Tijdens vloed komt neemt het zoute water de overhand en komen op enkele locaties zoutgehalten tot 10 g Cl/l voor. Dit gegeven en het feit dat in perioden van rivierafvoeren $\leq$ 1700 m^3/s dit gebied zout wordt

(gem. 35% van het jaar) maakt niet waarschijnlijk dat zich in dit gebied zoetwatersoorten zullen bevinden, waarschijnlijk kunnen slechts enkele brakwatersoorten hier overleven.

- Zone III ligt meer zeewaarts dan zone II. In deze zone variëren zoutgehalten tijdens eb met een gemiddelde rivierafvoer van 3-10 g Cl/l en tijdens vloed van 10 - ≥ 17 g Cl/l. In perioden van zeer lage afvoer komt in deze zone een zoutgehalte van ≥ 17 g/l voor (gem. 35% van het jaar). Wanneer er sprake is van een meer dan gemiddelde afvoer is zullen de zoutgehalten waarschijnlijk lager worden. Hier komen waarschijnlijk voornamelijk brakwatersoorten en mariene soorten met een grote zouttolerantie voor.
- Zone IV ten slotte is het meest zeewaarts gelegen en onder gemiddelde omstandigheden tijdens eb is het zoutgehalte hier ≥ 10 g Cl/l . Onder gemiddelde omstandigheden tijdens vloed en tijdens een lage rivierafvoer liggen zoutgehalten in deze zone boven de 17 g Cl/l . In deze zone komen waarschijnlijk voornamelijk mariene soorten voor. In deze zone komen waarschijnlijk naast enkele brakwatersoorten hoofdzakelijk mariene soorten voor.



Figuur 4.2: zones in het Haringvliet, gebaseerd op modelberekende zoutgehalten (Anoniem, 1998). I: stagnant zoetwater, II zoutgehalten variërend van 0.3 – 3/>17 g Cl/l, III zoutgehalten variërend van 3- 10/>17 g Cl/l, IV zoutgehalten variërend van 10 – 17/>17 g Cl/l.

4.3 Benthische leefgemeenschappen

4.3.1 Westerschelde

In de periode 1965-1989 zijn (in het najaar) op bijna 700 locaties verspreid over de Westerschelde bodemdieren bemonsterd. Ysebaert en Meire (1991) hebben deze data gebruikt voor een onderzoek naar het benthos van de Westerschelde en de beneden Zeeschelde. Op

grond van voorkomen en dichtheden van verschillende soorten bodemdieren op verschillende locaties konden vier duidelijk van elkaar te onderscheiden leefgemeenschappen worden geïdentificeerd en er bleek een gradiënt van oost naar west (zoet-zout) en in de hoogte (boven en onder de laagwaterlijn) te bestaan (Tabel 4.2; Ysebaert & Meire, 1991).

Tabel 4.2: Overzicht levensgemeenschappen in de Westerschelde. Leefgemeenschappen zijn ingedeeld op basis van verschillende zoutgehalten en boven laagwater en onderlaagwater gelegen locaties (Ysebaert en Meire, 1991; Anoniem, 1999)

Gemeen -schap	**Globale typering**	**Belangrijke soorten**	**Soortenrijkdom, dichtheid en biomassa (relatief)**	**Voorkomen & Chloridegehalte (g/l)**
1	mobiele kreeftachtigen, nauwelijks wormen en schelpdieren	aasgarnalen, zandvlokreeft, agaatpissebed	Laag	Sublitoraal Meso- & polyhalien I *2– 13*
2	wormen, kreeftachtigen en schelpdieren	veelkleurige duizendpoot, kokerworm: *Pygospio elegans*, worm: *Capitella capitata*, slijkgarnaaltjes en nonnetjes	Hoog	Litoraal Mesohalien *2 – 9,5* en in mindere mate in Polyhalien I & II *16 – 9,5*
3	wormen en schelpdieren	*Pygospio elegans*, wormen: *Heteromastus filiformis, Tharyx marioni, Eteone longa,* zandzager: *Nephtys hombergii*, nonnetje en kokkel	Zeer hoog	Litoraal Polyhalien I & II *16 – 9,5*
4	mobiele wormen, in mindere mate aasgarnalen en nauwelijks schelpdieren	Wormen: *Magelona papjllicornis, Spio spec.*, zandzagers *Nephtys cirrosa, N. longosetosa,* gemshoornworm	Laag	Sublitoraal (diep) Polyhalien II *16 – 13*

Ysebaert et al (1998) hebben een vergelijkende studie gedaan naar benthische leefgemeenschappen in het litoraal van de Schelde en het Eems estuarium. In deze studie werden langs de estuariene gradiënt drie leefgemeenschappen onderscheiden: mariene gemeenschap in de polyhaliene zone, een brakke gemeenschap in de mesohaliene zone en een derde in de oligohaliene en zoetwatergetijdenzone. Alleen de mariene en de brakke gemeenschap zullen worden besproken;

De mariene leefgemeenschap die werd aangetroffen in de polyhaliene zone van beide estuaria werd gekenmerkt door een hoge diversiteit aan soorten die gebonden zijn aan deze zone. De meest algemene soorten, waren echter typische euhaliene soorten zoals: *H. filiformis, N. diversicolor, M. baltica, Hydrobya ulvae, Eteone longa, P. elegans, Cerastoderme edule, Tharyx marioni* en *C. capita.* In termen van biomassa was in de Schelde de kokkel (*Cerastoderme edule*) en in de Eems de Strandgaper (*Mya arenaria*) het meest algemeen. In zowel de Eems als de Schelde was de soortdiversiteit in de mesohaliene zone relatief laag. De meest algemene

soorten van de brakke gemeenschap die voorkwam in deze zone waren: *C. volutator, H. filiformis, N. diversicolor* en *Macoma balthica* en *Mya arenaria* in de Eems.

4.3.2 Haringvliet

In het onderzoek naar effecten van de aanleg van de grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie zijn bodemdieren in zowel het litoraal als het sublitoraal in een groot deel van de Haringvlietmonding in de jaren 1983, 1988, 1989, 1990 1992 en 1994 geïnventariseerd (Craeymeersch, 1999). Het onderzoeksgebied bevond zich in zone III (bijlage I). Met behulp van zogenaamde clusteranalyses zijn alle monsterpunten over de gehele periode ingedeeld in bodemdiergemeenschappen (Craeymeersch, 1999, Anoniem, 1996). Leefgemeenschappen konden worden onderscheiden op basis van diepte. In de diepe delen waren de meest algemene soorten: *Spio martinensis, Nepthys cirrosa* en *Nephtys hombergii*. De belangrijkste soorten in de ondiepe delen waren *Nereis diversicolor*, *Pygospio elegans*, *Corphium volutator* en *Hydrobia ulvae*. In totaal komen in dit onderzoeksgebied 5 leefgemeenschappen voor; 4 leefgemeenschappen bevinden zich in ondiepe delen ten oosten van de Hinderplaat en 1 in het diepere gedeelte ten westen van de Hinderplaat (tabel 4.3).

Tabel 4.3: overzicht leefgemeenschappen in de Haringvlietmonding, soortenrijkdom is relatief en vergelijkbaar met tabel 4.2. Voorkomen oost cq west van de Hinderplaat (Bijlage I; Craeymeersch, 1999).

Gemeenschap	**Belangrijke soorten**	**Soortenrijkdom, biomassa en dichtheid (relatief & vergelijkbaar met Westerschelde)**	**Voorkomen**
Kokkel	*Cerastoderme edule*, *Tharynx marioni, Heteromastus filiformis, Mya arenaria*	Hoog	Oost vd Hinderplaat Litoraal/ondiep
Slijkgarnaal	*Corophium arenarium, C. voluntator*, , *Pygospio elegans*, *Hydrobia ulvae, Nereis diversicolor, Polydora ligni, Cerastoderme edule, Mya arenaria*	Hoog (zeer hoge aantallen)	Oost vd Hinderplaat Litoraal/ondiep
Kniksprietkreeftje	*Bathyporeia pilosa*	Hoog	Oost vd Hinderplaat Litoraal/ondiep
Draadworm	*Heteromastus filliformis*, *Tharynx marioni, Mya arenaria*	Hoog	Oost vd Hinderplaat Litoraal/ondiep
Zandzagertype	*Nephtys cirrosa, Nephtys hombergii, Spio martinensis, Eumida sanguinea, Urothoe poseidonis, Bathyporeia elegans, Spiophanes bombyx, Magelona papillicornis, Spisula subtruncata*	Zeer hoog	West vd Hinderplaat Sublitoraal (diep)

4.4 Soortenrijkdom en biomassa

4.4.1 Aantallen in de Westerschelde

In de periode 1965-1989 zijn in de Westerschelde in totaal 75 soorten bodemdieren aangetroffen, voornamelijk wormen, schelpdieren en kreeftachtigen. Van de bemonsterde locaties bevond 60% zich beneden de laagwaterlijn. Op een kwart van de locaties werd geen macrozoöbenthos aangetroffen. Van deze locaties bevond 60% zich in het brakke en het zoete deel Ysebaert en Meire (1991). In het mesohaliene (ten oosten van Hansweert) zijn tijdens het Biologisch Monitorings Programma, uitgevoerd door het NIOO CEMO te Yerseke in de jaren 1994 en 1998 rond de 30 soorten aan getroffen (Craeymeersch et al, 1995; Brummelhuis et al, 1999). Bovenstaande studies bevatten monsterpunten in zowel het sublitoraal als het litoraal.
Craeymeersch (1999) heeft naar de ruimtelijke verspreiding van macrofauna in de Westerschelde gekeken en concludeert dat de verspreiding in eerste instantie afhangt van de hydrodynamische omstandigheden, wat sediment stabiliteit en eigenschappen bepaalt en pas in de tweede plaats van zoutgehalte. Wanneer enkel naar litorale delen wordt gekeken blijkt dat het voorkomen van soorten wel voornamelijk word bepaald door het zoutgehalte (Ysebaert et al., 1998). Uit beide studies van Ysebaert die zijn besproken in de voorgaande paragraaf (Ysebaert et al, 1998; Ysebaert en Meire, 1991) blijken litorale gemeenschappen in de mesohaliene zone minder soortenrijk te zijn dan in de polyhaliene zones. Tevens bleek de biomassa af te nemen in de mesohaliene zone. De dichtheden varieerden niet langs de estuariene gradiënt. In de mesohaliene zone werden verscheidende 'mariene' soorten aangetroffen, die ook voorkwamen in de polyhaliene zone. Ysebaert en Meire (1991) concluderen dat deze soorten slechts tijdelijk in deze zone voorkomen en dat ze niet in staat zijn te reproduceren (zoals de kokkel). Met andere woorden, de grenzen van de macrobenthische leefgemeenschappen zijn niet statisch zijn en kunnen continu fluctueren in tijd en ruimte. Dit gaat vooral op in de mesohaliene zone, waar de zoutfluctuaties het hoogst zijn (Ysebaert et al, 1998).

4.4.2 Haringvliet

Het RIZA heeft in 1993 en 1994 een verkennend onderzoek gedaan naar het voorkomen van brakwater macrovertebraten aan de oostzijde en de westzijde van de Haringvlietsluizen (Reinhold-Dudok van Heel, 1995). Aan de Westzijde van de sluizen lagen in totaal 10 monsterpunten, waarvan er 8 punten 2 maal zijn bemonsterd (januari en juni 1994) en twee slechts 1 maal (alleen in juni 1994). De meeste punten lagen direct achter de sluis (6 punten) en de overige 4 punten liepen in een raai richting de Noordzee. In deze bodems werden over het algemeen enkel de zouttolerante soort *Paranais frici* waargenomen en verder waren de organisch stofrijke bodems organisch dood. De locatie die het verst van de sluizen was gelegen

vertoonde echter een soortenrijke zoutwaterbodemfauna met onder andere de volgende soorten: *Heteromastus filiformis*, *Spio filiformis* en *Nereis diversicolor*. Het ging hier om een ondiepe locatie met zanderige bodem, gelegen in zone II op ongeveer 2,5 km van de sluizen (Bijlage I). Leefgemeenschappen aan de oostzijde van de sluizen bestonden enkel uit zoetwatersoorten en hebben dus weinig meer gemeen met de vroegere brakke gemeenschappen die bestonden voor de sluiting van het Haringvliet (Wolff, 1973; Smit, 1995; Reinhold-Dudok van Heel, 1995)

De soortenrijkdom in het onderzoeksgebied van Craeymeersch (1999) bleek relatief erg hoog te zijn. In totaal zijn er tijdens de inventarisaties in 5 jaren tussen 1983 en 1994 meer dan 130 soorten aangetroffen. De meeste soorten waren aanwezig in het sublitorale gedeelte ten westen van de Hinderplaat, hier waren meer dan 100 soorten aanwezig. In vergelijking met de voordelta zijn in dit gebied de biomassa's en dichtheden zelfs hoger. In vergelijking met de overige Nederlandse kustzone zijn biomassa's en dichtheden echter lager (Holtmann et al, 1996). In het ondiepere gedeelte, ten oosten van de Hinderplaat en dus meer richting het Haringvlietsluiscomplex werd het aantal soorten minder (± 80). In het laatst genoemde gedeelte is de invloed van het zoetwater het hoogst, de zoutgehalten kunnen variëren van 17 tot 3 g Cl/l in perioden met hoge rivierafvoer (Hfst 4). In het ondiepe gedeelte ten oosten van de Hinderplaat kunnen veel mariene soorten dan ook niet, of slechts voor een zeer korte periode leven en daardoor lijkt de soortensamenstelling in deze zone veel op dat van een estuarium (Craeymeersch, 1999). De soortsamenstelling in dit gebied verschilt dan ook van de soorten die voorkomen in de rest van de voordelta.

4.5 Zoutgehalte tolerantie

Zoutgehalte is een belangrijke bepalende factor voor het voorkomen van organismen in een estuarium. Er zijn veel studies bekend naar de zouttolerantie van organismen die voorkomen in de Nederlandse estuariene gebieden (Wolff, 1973; Schuiling en Smaal, 1998; Malta et al, 1998; Paalvast 1999; Aerts, 2002). Op basis van biomassa's zijn schelpdieren vaak dominante soorten binnen de benthische leefgemeenschappen. In de Westerschelde en de Haringvlietmonding waren vooral de kokkel (*Cerastoderma edule*) de non (*Macoma balthica*) en de strandgaper (*Mya arenaria*) sterk vertegenwoordigd. Schuiling en Smaal (1998) maakten een overzicht van de zouttolerantie van enkele commercieel belangrijke schelpdiersoorten die voorkomen in het in het Nederlandse estuarien gebied, hieraan toegevoegd zijn het nonnetje en de strandgaper (tabel 4.4):

Mossel (Mytilus edulis)

Mosselen komen voor in het getijdengebied, maar ook in stagnant zoute systemen. Mosselen komen voor tot gemiddelde zoutgehalten van 10 g Cl/l bij vloed en normale rivierafvoer of van 4-6 g Cl/l tijdens hoge rivierafvoer (Wolff, 1973). Voor de mosselpopulatie in de Zeeuwse delta is een minimum zoutgehalte van 10-11 g Cl/l om zich te handhaven (Wolff, 1973). Het optimum ligt voor deze soort echter hoger dan 11 g/l. Dit is meer van belang in het groeiseizoen dan in de winterperiode vanwege de hogere tolerantie bij lagere temperaturen (Schuiling en Smaal, 1998).

Kokkel (Cerastoderma edule)

Kokkels komen vooral voor in het getijdengebied, zowel litoraal als sublitoraal en heeft de voorkeur voor getijdenplaten. In Nederland wordt een zoutgehalte van 10-12 g Cl/l meestal beschouwd als een minimum chloridegehalte waarbij kokkels gedurende langere periode kunnen overleven en reproduceren. In het zuiden van de Oostzee echter komen kokkels voor bij chloridegehalten van 5.5-6 g Cl/l (Brock, 1980). Buiten de Oostzee is de minimum waarde volgens Muus (1976) 10-12 g Cl/l en volgens Russell en Petersen (1973) 8,3 g/l. Tevens concludeert Brock (1980) dat kokkels goed bestand zijn tegen bestandsfluctuaties in estuaria en minimaal een zoutgehalte van 5,5 g Cl/l nodig hebben (Schuiling en Smaal, 1998).

Platte oester (Ostrea edulis)

De platte oester is minder tolerant is voor een lager zoutgehalte dan de mossel en de kokkel, overleving is niet mogelijk bij een zoutgehalte lager dan 11 g Cl/l. Het optimum zoutgehalte ligt volgens Korringa (1976) bij 14 g Cl/l (Schuiling en Smaal, 1998).

Japanse Oester (Crassostrea gigas)

De Japanse oester heeft een ruime tolerantie voor de condities zoals die zich in Ooster- en Westerschelde voordoen, waarbij een minimum zoutgehalte van ca 10 g Cl/l aan de orde is.

Mesheft (Ensis sp)

Deze soort goed bestand is tegen estuariene condities en komt voor bij zoutgehalten tot 11 g Cl/ l (Schuiling en Smaal, 1998).

Nonnetje (Macoma baltica)

Het Nonnetje is een soort die in zowel volledig marien als brak water voorkomt (Clay, 1967). Aan de hand van zijn verspreiding en enkele laboratorium proeven concluderen McLusky & Allan (1976) dat deze soort erg goed bestand is tegen kortdurende lage saliniteiten. In de Nederlandse estuaria komen ze voor tot een chloridegehalte van 2 g/l tijdens vloed en gemiddelde rivierafvoer (Wolff, 1973).

Strandgaper (Mya arenaria)

Evenals het nonnetje kan de strandgaper vanuit de zee tot ver in het brakke gebied gevonden worden. Wolff (1973) en Barnes (1994) vermelden een minimaal zoutgehalte van 2-2,5 g Cl/l de optimale saliniteit is echter 8-9 g Cl/l of hoger (Malta et al, 1998).

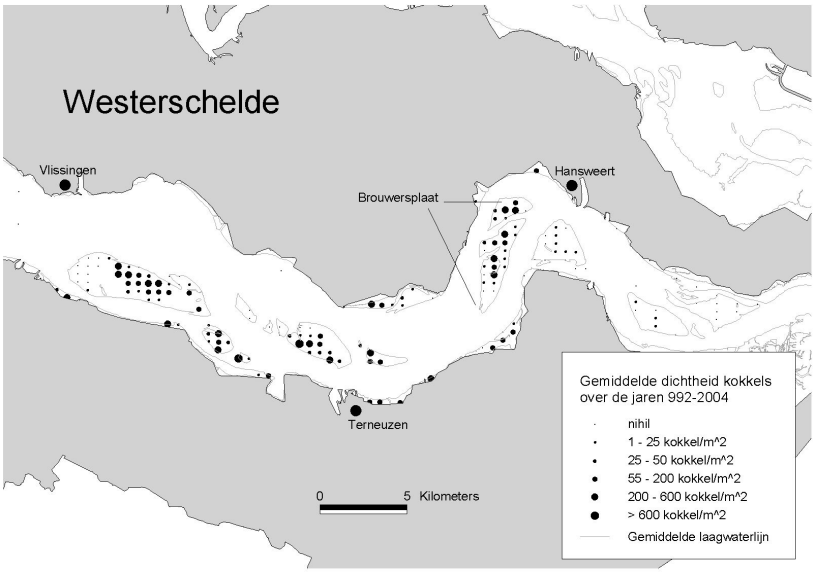
Veel van de zoutgehalten die hier worden genoemd zijn gebaseerd op gemiddelde zoutgehalten in het gebied waar soorten nog kunnen voorkomen. In een estuarium kunnen zoutgehalten echter variëren en daarom wordt verwacht dat de echte minima van deze soorten iets lager liggen.

Tabel 4.4: overzicht tolerantie voor zoutgehalten van volwassen organismen (naar: Schuiling en Smaal, 1998):

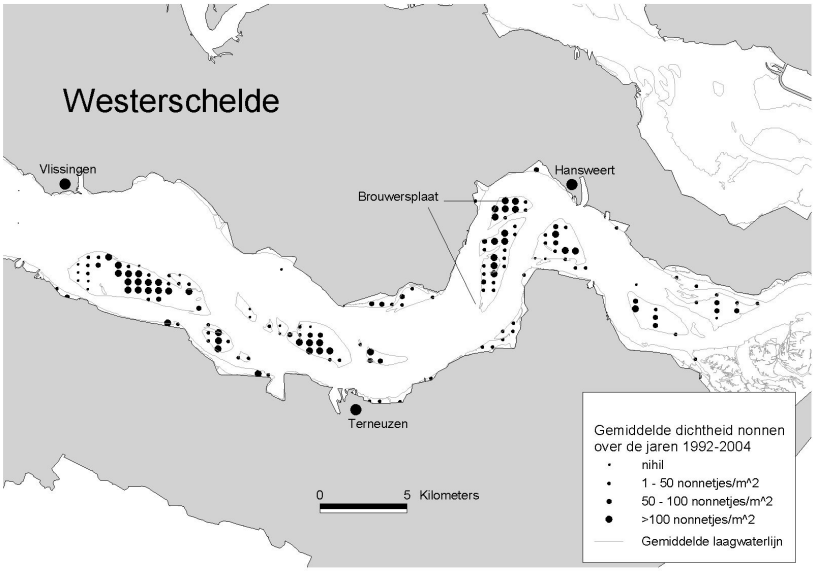
Soort	Minimum Chloridegehalte (g/l)	Opmerkingen	Referentie
Mossel *(Mytilus edulis)*	4-6	Minimum zoutgehalte tijden hoge rivier afvoer	Wolff, 1973
	10	Minimum zoutgehalte om gedurende lange tijd te overleven en te reproduceren	Brenko en Calabrese,1969; Coosen *et al.*, 1990; Eertman en Smaal, 1995; Wolff, 1973
Kokkel *(Cerastoderma edule)*	5,5	Minimum zoutgehalte	Brock, 1980
	10	Minimum zoutgehalte om gedurende lange tijd te overleven en te reproduceren	Smaal en Mosterdijk, 1985; Wolff, 1973; Malta et al, 1998
Platte oester *(Ostrea edulis)*	11	Minimum zoutgehalte	Korringa, 1976
	14	Optimum zoutgehalte	Korringa, 1976
Japanse oester *(Crassostrea gigas)*	10		Prins, 1985; Medcof en Needler, 1941; Korringa 1976
Soort	Minimum Chloridegehalte (g/l)	Opmerkingen	Referentie
Mesheft *(Ensis directeurs)*	10	optimum is relatief laag; soort is goed bestand tegen fluctuaties	Beukema en Dekker,1995
Nonnetje *(Macoma balthica)*	2	Minimum, optimum is waarschijnlijk hoger	Wolff, 1973
Strandgaper *(Mya arenaria)*	2-2,5	Minimum zoutgehalte	Malta, 1998; Wolff, 1973; Barnes, 1994
	> 8 - 9	Optimum zoutgehalte	

4.5.1 Verspreiding van schelpdieren in de Westerschelde

Veel voorkomende schelpdiersoorten in de Westerschelde zijn kokkels (*Cerastoderma edule*) en nonnetjes (*Macoma balthica*). Volwassen kokkels komen voornamelijk voor ten westen van Hansweert, in de polyhaliene zone (figuur 4.3). Nonnetjes komen voor tot in de mesohaliene zone (figuur 4.4). Strandgaper en mesheft worden sporadisch tijdens jaarlijkse RIVO inventarisaties nauwelijks aangetroffen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een te kleine monsterdiepte (Bult et al, 2004). Uit monsteringen uitgevoerd door het NIOO blijkt dat strandgaper wel degelijk voorkomt in de Westerschelde, zelfs in de mesohaliene zone tot de Belgische grens (Craeymeersch, pers comm.)



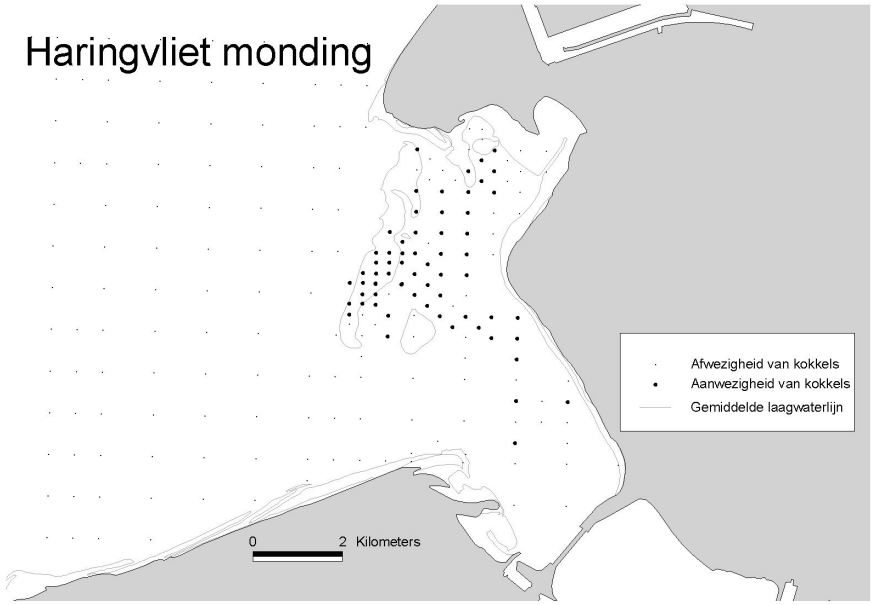
Figuur 4.3: gemiddelde dichtheid van kokkels in de Westerschelde over de jaren 1992-2004 in #/m^2 (RIVO database)



Figuur 4.4: gemiddelde dichtheid van nonnen in de Westerschelde over de jaren 1992-2004 weergegeven in #/m^2 (RIVO database)

4.5.2 Verspreiding van schelpdieren in de Haringvlietmonding

In de Haringvlietmonding zijn in de jaren 1993-1997 de volgende schelpdieren aangetroffen nabij de hinderplaat: kokkel (*Cerastoderma edule*) (figuur 4.5), strandgaper (*Mya arenaria*), nonnetje (*Macoma baltica*) en heel enkel een Strandschelp (*Spisula subtruncata*).



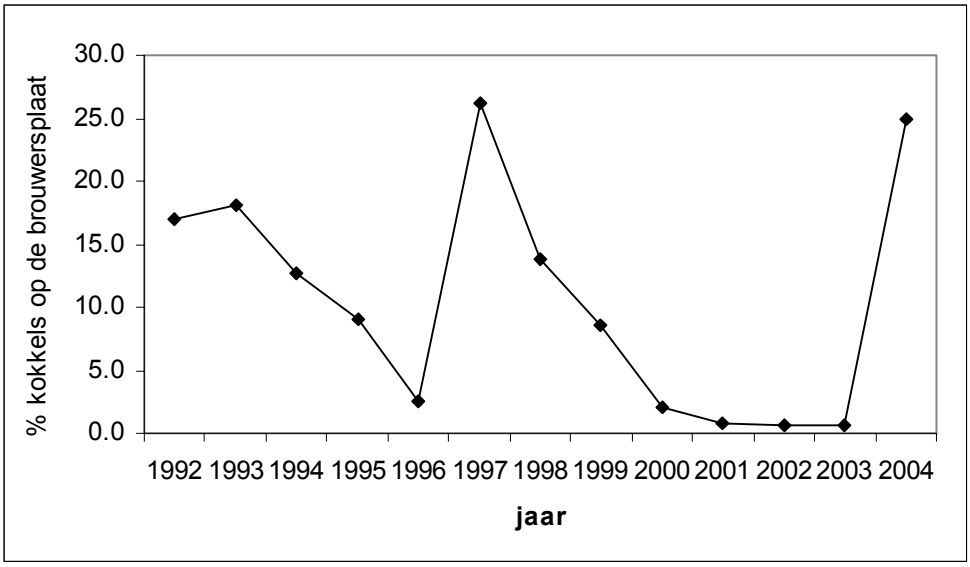
Figuur 4.5: aanwezigheid van kokkels in de Haringvlietmonding over in de jaren 1993-2003 (RIVO database)

4.6 Effecten van zoutschommelingen op overleving

Uit voorgaande paragraaf bleek dat soorten een bepaalde ondergrens hebben voor het zoutgehalte dat ze minimaal aankunnen. In de volgende paragraaf volgen enkele praktijk voorbeelden van overleving kokkels in de Westerschelde en de Haringvlietmonding in relatie tot zoutgehalten.

4.6.1 Kokkels in de Westerschelde

Voor de kokkels in de Westerschelde geldt dat in de mesohaliene zone vaak wel broedval wordt aangetroffen, maar zoals ook te zien is op de verspreidingskaart (figuur 5.1) bereiken deze kokkels nooit het volwassen stadium. Dit duidt erop dat de kokkels zich op deze plekken in de zomer vestigen, wanneer de omstandigheden gunstig zijn; lage rivierafvoeren, hoge zoutgehalten en sterven wanneer in de winter de rivierafvoeren hoger worden waardoor zoutgehalten verlagen. De Brouwersplaat ligt in het polyhaliene deel van de Westerschelde (bijlage I). De kokkel biomassa's op deze locatie vormen meestal een aanzienlijk deel van de totale biomassa's in de Westerschelde (figuur 5.6)



Figuur 4.6: percentage van de kokkelbiomassa dat op de Brouwersplaat is gevonden ten opzichte van de kokkelbiomassa in de gehele Westerschelde.

In de voorjaren van 2000, 2002 en 2003 waren echter extreem lage biomassa's aanwezig op de Brouwersplaat ten opzichte van de totale Westerschelde. In de voorgaande najaren is op de Brouwersplaat tijdens een survey van het RIVO echter wel kokkelbroed aangetroffen. Wanneer het aantal kokkels in het najaar wordt vergeleken met het aantal in het voorjaar kan worden bepaald hoe groot de kokkelsterfte in de winter is. Er komt naar voren dat in de jaren 2000-2003 op de brouwersplaat < 5% van het aantal kokkels uit het najaar in het daaropvolgende voorjaar ook aanwezig is. In de totale Westerschelde echter overleeft 10 – 23 % van de kokkels in die jaren de winter (tabel 4.5).

Tabel 4.5: percentage van de aantallen kokkels uit het najaar die in het daaropvolgende voorjaar nog aanwezig waren.

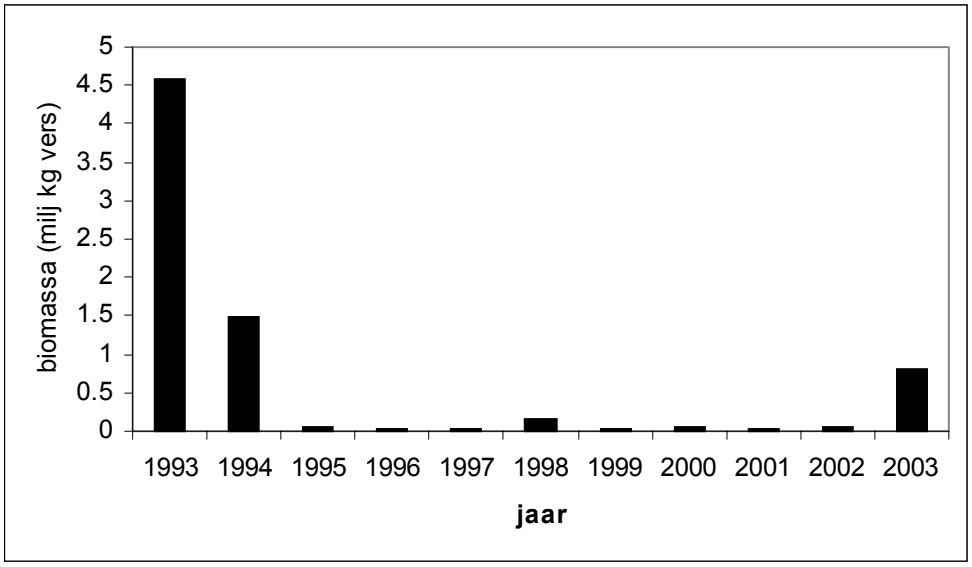
Jaren (najaar-voorjaar)	Brouwersplaat	Westerschelde
2000-2001	1,9	10,1
2001-2002	4,9	22,8
2002-2003	4,7	10,5

Op de brouwersplaat vond in de winters van 2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003 duidelijk een veel hogere kokkelsterfte plaats in de brouwersplaat dan in rest van de Westerschelde. Waarschijnlijk heeft de sterfte van de kokkels op de Brouwersplaat in te maken met lage zoutgehalten die optreden in de winter. In deze jaren was geen sprake van extreem hoge rivierafvoeren, maar de periode van hoge afvoer was vrij lang. Opvallend is wel dat in 1994 meer dan 10% van alle kokkels in de Westerschelde is aangetroffen op de Brouwersplaat, terwijl er in de voorgaande winter sprake van een zeer hoge afvoer. Hoe groot de sterfte is geweest is niet duidelijk omdat er van die periode geen najaarsgegevens bekend zijn. Feit is

echter wel dat een groot deel van de kokkels op de Brouwersplaat die hoge rivierafvoer wel heeft overleeft. Een verband tussen zoutgehalte en sterfte ook is dus niet altijd eenduidig te maken. De kokkel staat bekent om grote fluctuaties in bestandgroottes en dit kan worden gestuurd door meer factoren dan alleen zoutgehalten. Zo was in 1996 de kokkelbiomassa in de hele Westerschelde erg laag, waarschijnlijk is in jaar sprake geweest van verhoogde sterfte door een strenge winter.

4.6.2 Kokkels in de Haringvlietmonding

In de Haringvlietmonding zijn in de winter van 1994-1995 vrijwel alle kokkels in het gebied verdwenen, terwijl er voor die tijd nog praktisch overal kokkelbroed en op vele plaatsen meerjarige kokkels werd gevonden (figuur 4.7). Eind januari, begin februari was sprake van extreem hoge rivierafvoeren van de Rijn, tot wel 11.000 m^3/s bij de Bovenrijn te Lobith (§ 3.3.2). Dit wordt door Craeymeersch en van der Land (1998) dan ook aangevoerd als de reden voor de massale sterfte van het kokkelbroed. Ook bij de nonnen vond sterfte plaats, maar aangezien de non beter bestand is tegen lage zoutgehalten was dit minder extreem dan bij de kokkels.



Figuur 4.7: kokkelbiomassa's in de Haringvlietmonding (RIVO database)

Tot 2002 is in de Haringvlietmonding gebied geen broedval van kokkels meer opgetreden (pers comm. Johan Craeymeersch). Dit verklaart weliswaar de zeer lage kokkelbiomassa's in de jaren 1995-2002, waarom de broedval is uitgebleven is niet bekend. Waarschijnlijk zal het niet aan de zoutgehalten hebben gelegen, vooral 1996, 1997 en 1998 waren jaren met relatief lage rivierafvoeren en er zal in die jaren dus ook geen sprake zijn geweest van extreem lage zoutgehalten. In 2002 heeft weer een broedval plaatsgevonden die zorgde voor een redelijke kokkelbiomassa in 2003.

5. Discussie

Voorkomen en verspreiding van benthische soorten in een estuarium hangen onder meer af van het gemiddelde zoutgehalte op een bepaalde plaats en de fluctuaties rond dit gemiddelde. Een vergelijking van de saliniteitsgradiënten in Westerschelde en de Haringvlietmonding laat zien dat:

- De saliniteitsgradiënt in de Westerschelde geleidelijk verloopt over een grote afstand, terwijl deze in het Haringvliet zeer steil verloopt.
- In beide gebieden sprake is van grote verschillen in zoetwaterafvoer per seizoen. Dit leidt tot een grote variatie in de omvang van de brakke zone. In de Westerschelde schuift de brakke zone zeewaarts op tijdens hoge rivierafvoeren – veelal in winter en voorjaar. De Haringvlietmonding is ongeveer 35 % van het jaar een marien gebied met zoutgehalte boven de 17 g Cl/l. In de overige 65% van de tijd is het gebied een brakke zone, met een zeer steile zoutgradiënt. Tijdens eb schuift het zoete water verder de zee op al na gelang de rivierafvoer en tijdens vloed schuift de zoetwatergrens weer op richting de kust door het sluiten van de sluizen. Bij hoge rivierafvoeren ontstaat er een zoetwaterbel die slecht mengt met het zeewater.

In die gebieden in de Westerschelde waar grote fluctuaties in zoutgehalten optreden bleken de diversiteit en biomassa het laagst te zijn. De Jonge (1974) vond een afname van het aantal mariene soorten en bij toenemende fluctuaties. Dit komt doordat de soortenrijkdom van een gebied het resultaat is van kolonisatie en sterfte als gevolg van te lage zoutgehalten (Smidt-van Dorp. 1979). Wanneer kolonisatie optreedt tijdens een gunstig seizoen, leidt dit tot uitbreiding van het verspreidingsareaal van soorten. Wanneer later in het jaar de zoutgehalten ter plaatse dalen, moet het verspreidingsareaal inkrimpen en daalt het aantal soorten. Ook in de studie van Wollf (1973) kwam naar voren dat de gebieden die onderhevig waren aan zoutfluctuaties relatief soortenarm waren.

In de Haringvlietmonding is nabij de spuisluis, op 2,5 km van de sluizen een zoute benthische gemeenschap wordt aangetroffen (Reinhold-Dudok van Heel, 1995). Bovendien is de diversiteit in Haringvlietmonding hoger dan in de Westerschelde (Ysebaert, 1993; Craeymeersch 1999). Dit zou verklaard kunnen worden uit het gegeven dat de periodieke hoge zoetwaterafvoer in de Haringvlietmonding niet vanzelfsprekend grote invloed heeft op de bodemgemeenschap omdat het zoete water over het zoute water heen stroomt, en de bodem dus relatief hoge zoutgehalten behoudt, waardoor een soortenrijke mariene gemeenschap kan bestaan. Daar komt bij dat in veel gevallen de meest zoete omstandigheden optreden tijdens eb, terwijl tijdens vloed geen zoetwatertoevoer meer is. Slechts bij extreme afvoer wordt ook de bodem zoet en treedt er (massale) sterfte op. Vanwege het grote reservoir aan zoute bodemdieren in de Voordelta wordt het gebied nabij de spuisluis echter weer snel gekoloniseerd. Massale sterfte

van de kokkelpopulatie is inderdaad beschreven na hoge zoetwaterafvoer door Craeymeersch & van der Land (1998), en is uit waarnemingen van kokkelvissers eveneens bekend. Het gaat dus wat bodemdieren betreft om periodieke en lokale effecten. Dit sluit aan bij resultaten van een studie naar de effecten van extra spuisluizen in de Afsluitdijk op kokkel en mosselpopulaties. Er is op basis van saliniteitsgegevens geconcludeerd dan de invloed van verzoeting als gevolg van extra spui zich beperken tot de directe omgeving (ca 10 km^2, Aerts, 2002).

Als referentie van duurzame zoet-zoutovergangen kunnen estuariene gradiënten dienen die niet door waterbeheersmaatregelen zijn onderbroken. Kenmerkend is de menging van zoet en zout water, teweeggebracht door de geomorfologie van het estuarium. Onderscheid kan worden gemaakt in zoete, brakke en zoute zones, gedefinieerd op basis van een oplopend zoutgehalte. Parallel aan de zoutgradiënt zijn er vele andere gradiënten zoals in troebelheid (niet lineair), in nutriënten- en zuurstofgehalte, en in menging over de verticale waterkolom. Deze gradiënten kunnen zich over een kort of lang traject uitstrekken, en de ligging van de gradiënt kan gedurende het jaar van plaats veranderen. Een estuariene gradiënt wordt aldus gekenmerkt door een grote dynamiek. De levensgemeenschappen in het estuarium vertonen een grote veerkracht, en bestaan in hoofdzaak uit soorten met een opportunistische leefwijze. Dat wil zeggen dat er een grote tolerantie is ten opzichte van omgevingsfactoren (zoutgehalte) en een grote reproductie en kolonisatie capaciteit. Vooral de bodemdiergemeenschap is onderhevig aan grote wisselingen aangezien deze een plaatsgeboden leefwijze hebben. Toch zijn er grenzen aan de toleranties van deze soorten (Schuiling & Smaal, 1998). Een duurzame zoet-zoutovergang zou dan kunnen worden gedefinieerd in termen van maximum en minimum zoutgehalte per zone in het overgangsgebied. Daarbij is onderscheid te maken naar de zouttoleranties voor de levensgemeenschap, op basis van de toleranties van adulte dieren, dan wel op basis van de meest gevoelige levensstadia.
Van belang blijft het gegeven dat zoet-zoutovergangen gekenmerkt zijn door grote wisselingen. Wanneer tolerantiegrenzen worden overschreden (verstoring) ontstaan lege plekken, waardoor nieuwe organismen zich kunnen vestigen en de concurrentie wegvalt. De invloed van de verstoring hangt af van de frequentie waarin een verstoring optreedt. Wanneer er een regelmatige verstoring optreedt, zal in dat gebied een pioniersgemeenschap tot ontwikkeling komen. Deze bestaat uit soorten die zijn aangepast aan de omstandigheden. Zodra de verstoring uitblijft of minder frequent wordt kunnen ook minder tolerantie soorten zich in het gebied gaan vestigen (Begon et al, 1996). Deze theorie kan worden vertaald naar de situatie die zich voordoet in de Westerschelde en het Haringvliet. De effecten van zoutwater in gebieden met spuisluizen en in mesohaliene zones van estuaria kenmerken zich door sterfte van mariene organismen die zich in dat gebied hebben gevestigd tijdens gunstige omstandigheden. Om een duurzame zoet-zoutovergang te verkrijgen is aandacht nodig voor de menging van zoet en zout water. Dit vereist een vorm van de waterbodem die voorkomt dat zoetwater lange tijd als bel in

het zeewater blijft bestaan. Bestaande estuaria hebben veelal een trechtervorm met platen en geulen. De getijdynamiek levert de energie voor menging en de morfologie bepaalt de omvang van de mengzones.

6. Conclusies & Aanbevelingen

Effecten van zoetwater in een estuarium zijn zichtbaar in een groot gebied en komen het sterkst naar voor in de mesohaliene zone. In de mesohaliene zone van een natuurlijk estuarium zijn de effecten regelmatig als functie van de rivierafvoer en het getij. Is in de Haringvlietmonding een deel van het jaar sprake van zoutgehalten boven de 17 g Cl/l, in de mesohaliene zone van een estuarium komen zoutgehalten zelden boven de 14 g/l. Ook zal het verschil tussen eb en vloed in de Westerschelde waarschijnlijk minder groot zijn dan in de Haringvlietmonding waar tijdens vloed geen invloed meer is van zoetwater. Juist doordat de zoutgehalten minder hoog zijn kenmerkt deze zone door een relatief soortenarme leefgemeenschap die voornamelijk bestaat uit brakwatersoorten. In de polyhaliene zone wordt neemt de invloed van zoetwater af, met als gevolg dat de leefgemeenschappen in deze zone is soortenrijker worden. In periodes van extreem hoge afvoer kan ook in deze zone sterfte optreden van mariene soorten zoals de kokkel.

De effecten van zoetwater in gebieden die onder invloed staan van zoetwaterspui zijn over het algemeen beperkt tot de directe omgeving van een sluis (Aerts, 2002). Binnen dat gebied zijn de effecten van het zoetwater slechts periodiek, als functie van de omvang van de zoetwaterspui. Zodra de zoetwatertoevoer is afgenomen treedt er een veerkrachtige respons van de bodemdiergemeenschap, waardoor in dit gebied ook mariene soorten worden aangetroffen. In de Haringvlietmonding is dan ook plaats voor een relatief soortenrijke bodemdiergemeenschap die zich qua soortsamenstelling het laat vergelijken met een gemeenschap in een estuarium, met dien verstande dat ook soorten van de nabije gelegen kustzone zeer abundant kunnen zijn (Craeymeersch, 1999). Voor bepaalde soorten, zoals de kokkel, is bekend dat een groot spuidebiet direct leidt tot sterfte, en dat herstel optreedt na succesvolle broedval. Dit laatste wordt door allerlei factoren beïnvloed en kan onder ongunstige omstandigheden (veel predatoren bijv.) wel eens jaren uitblijven.

Aangezien de effecten van zoetwater in een spuigebied zich lijken te beperken tot de directe omgeving zijn meer data over vorkomen van soorten in relatie tot het spuiwater op gedetailleerd schaalniveau nodig. Daarnaast ontbreken van zoutgehalten vaak gedetailleerde gegevens van fluctuaties op de bodem.
Tot slot wordt er met betrekking tot de duurzaamheid van zoet-zoutovergangen aanbevolen zoet-zoutovergangen te definiëren in termen van minimum en maximum zoutgehalte per zone, op basis van tolerantiegrenzen van kenmerkende soorten, en bij de inrichting van zoet-zoutovergangen rekening te houden met de geomorfolgische karakteristieken die nodig zijn om een goede menging te verkrijgen.

7. Literatuur

Anoniem, 1996. Evaluatie milieu effect rapportage slurfter over de periode 1986 tot en met 1996.

Anoniem, 1998. MER Beheer Haringvlietsluizen. Over de grens van zout en zoet. Deelrapport Water- en zoutbeweging. RWS 98/093.

Anoniem, 1999. De Schelde atlas. Een beeld van een estuarium. Schelde informatie centrum (SIC)

Anoniem, 2003. De Delta in zicht. Een integrale visie op de deltawateren. Provincie Zuid-Holland, Provincie Zeeland en Provincie Brabant.

Aerts, L.A.M., 2002. Zouttolerantie van kokkels en mosselen. Literatuurstudie uitgevoerd naar de effectenstudie [ES]2 Afsluitdijk. Royal Haskoning ref.: 26814/R00002/THIE/Gron.

Barnes, R.S.K., 1994. The brackish-water fauna of northwestern Europe; Cambridge, Cambridge University press, 287 p.

Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R., 1996. Ecology. Individuals, populations an communities. Third edition, Blackwell Sciences Ltd Oxford.

Berchum, A.M. van, Wattel, G., 1997. De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm: bekken rapportage 1991-1996. RIKZ: rapportnr. 97.034.

Beukema, J.J. en R. Dekker, 1995. Dynamics and growth of a recent invader into european coastal waters: The American razor clam, *Ensis directus*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 75, 351-362.

Brummelhuis, E.B.M., Hummel, H., Dimmers, W.J., Markusse, M.M., Sistermans W.C.H., 1999. Het macrobenthos van de Westerschelde, de Oosterschelde, het Veerse meer en het Grevelingenmeer in het najaar 1998. Rapportage in het kader van het biologisch monitoring programma, NIOO

Brenko, M. en A. Calabrese, 1969. The combined effects of salinity and temperature on larvae of the mussel *Mytilus edulis*. International Journal of Life in Oceans and Coastal Waters, 4 (3), 224-226.c

Bult, T.P., Ens, B.J., Baars, D., Kats, R., Leopoldt., M., 2004. B3: Evaluatie van de meting van het beschikbare voedselaanbod voor vogels die grote schelpdieren eten. RIVO rapport nr: C018/04.

Clay, E., 1967b. Literature survey of the common fauna of estuaries, 10. *Macoma balthica* and *Tellina tenuis*. Imperial Chemical Industries Limited, Brixham Laboratory, BL/A/705.

Coosen, J., P. Meire, J.J. Stuart en J. Seys, 1990. Trophic relationships in brakish lake Veere: the role of macrophytes. Trophic Relationships in the Marine Environment, Proceedings of the 24th European Marine Biology Symposium, 404-423.

Craeymeersch J.A., Brummelhuis, E.B.M., Dimmers, W.J., Sistermans W.C.H., Wessel, E.G.J., 1995. Het macrobenthos van de Westerschelde, de Oosterschelde, het Veerse meer en het Grevelingenmeer in het voorjaar 1994. Rapportage in het kader van het biologisch monitoring programma, NIOO

Craeymeersch, J.A., Land, M.A. van der, 1998. De schelpdierbestanden in de voordelta 1993-1997. RIVO rapportnr. C056/98.

Craeymeersch, J.A., 1999. The use of macrobenthic communities in the evaluation of environmental change. Phd thesis, university of Gent.

Eertman, R.H.M. en A.C. Smaal, 1995. Habitat karakterisering van de Nederlandse kustwateren. Werkdocument Watersysteemverkenningen. Rapport RIKZ 95.042. Rapport NIOO-Cemo 1995-02.

Eertman, R., Smaal, A.C., 1997. De ecologische functies van geleidelijke zoet-zoutovergangen in estuaria en kustwateren. NIOO Rapporten 1997-02/Werkdociment RIKZ/OS-97.803x.

Eysink, W.D., 1990. Buitendelta van het Haringvliet. Morfologische ontwikkelingen en zoutgehalten bij het huidige en een gewijzigd spuiregime. Waterloopkundig laboratorium.

Hartog, C., den, 1959. The epilithic algal communities occuring along the coast of the Netherlands. Proefschrift. North-Holland Publishing company, Amsterdam.

Haas, H.A., 1998. Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. RIKZ: rapportnr. 98.036.

Haas, H.A., Tosserams, M., 2001. Balanceren tussen zoet en zout: ruimte voor veerkracht en veiligheid in de delta. RIKZ: rapportnr. 2001.18/RIZA rapportnr. 2001.014

Holland, A.M.B., Smit, H., 1994. Zoet water in het Schelde-estuarium: veranderingen in de saliniteit. Rapport DGW-93.057.

Hoog, J.E.W. de, Steenkamp, B.P.C., 1989. Eutrophication of the fresh waters of the delta. Pages 27-47 *in* J.C. Hooghart en C.W.S. Posthumus eds. Hydro-ecological relations in the Delta Waters of the South-West Netherlands: Technical Meeting 46, Rotterdam, The Netherlands, 8 maart 2989. TNO Comittee on hydrological research, Den Haag, Proceedings and information / TNO Comittee on hydrobiological research; no 41.

Janssen, G.M., 2000. Herstel van estuariene gradienten in het Waddengebied. Een onderbouwing van de ecologische meerwaarde van dit herstel en een eerste aanzet tot uitwerking.

Jonge, V.N., de, 1974. Classification of brakisch coastal inland waters. Hydrobiological bulletin Vol. 8 (1/2), 29-39.

Leeuw, C.C. de, Backx, J.J.G.M., 2001. Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland. Een literatuurstudie naar de algemene principes van estuariene gradiënten, ten behoeve van herstelmaatregelen langs de Nederlandse kust. RIKZ: rapportnr. 2000.044, RIZA rapportnr 2000.34

Paalvast, 1999. Zoet zout Zuid-Holland. Autoecologie van enige karakteristieke estuariene organismen. Ecoconsult

Malta, E., Stikvoort, E., Craeymeersch, J., Herstel van estuariene gradienten in de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op de bodemdieren van het zachte substraat. NIOO Rapporten 1998-01.

McLusky, D.S.& Allan, D.G., 1976. Aspects of the biology of *Macoma balthica* (L.) from the estuarine Firth of Forth. *Journal of Molluscan Studies*, **42,** 31-45.

Mclusky, D.S., 1993. Mariene and estuariene gradients – an overview. Netherlands journal of aquatic ecology 27 (2-4), 489-493.

Medcof, J.C. en A.W.H. Needler, 1941. The influence of temperature and salinity on the condition of oysters (*Ostrea virginica*). J. Fish. Res. Bd. Can. 5 (3).

Prins, T.C., 1985. De gevolgen van gebruik van de stormvloedkering voor verspreiding en broedval van de schelpdierlarven. Rijkswaterstaat, project BARCON.

Reinhold-Dudok van Heel, E., 1995. Verkennend onderzoek naar het voorkomen van brakwatermacro-evertebraten aan de oost- en westzijde van de Haringvlietsluizen. RIZA werkdocument: 95.059X

Smit, H., 1995 Macrozoobenthos in the enclosed Rhine-Meuse Delta. Proefschrift, Katholieke Universiteit Nijmegen

Schmidt-van Dorp, A.D., 1979. Literatuuronderzoek naar de soortenrijkdom van het makrozoobenthos in relatie tot het zoutgehalte. Delta Instituut voor Hydrobiologisch onderzoek Onderzoek. Rapportnr. 1979-5.

Schuiling, E., Smaal, A., 1998. Het zoet in de pap. Een literatuurstudie naar de effecten van verhoogde zoetwatertoevoer op commercieel belangrijke soorten in de Oosterschelde. RIVO-dlo. Rapportnr. C041/98

Smaal, A.C., Hoek, A. van der, 1997. Managing the ecology and economy of modified Estuaries: the delta project in The Netherlands. In: Large-scale constructions in coastal environments, conflict resolution strategies. Vollmer and Grann (Eds.). Springer, Berlin, 194 pp.

Smaal, A.C. en H. Mosterdijk, 1985. Experimentele bepaling van de acute sterfte van bodemdieren bij verlaagde zoutgehalten. Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren. Rapport OMAR 1985-1, Nota: GWAO-86.102.

Ysebaert, T., Meire, P., 1991. Het macrozoöbenthos van de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Rapport W.W.E. 12 Rijksuniversiteit Gent, Gent / I.N. A92.085 Instituut voor Natuurbehoud, Hasselt, België.

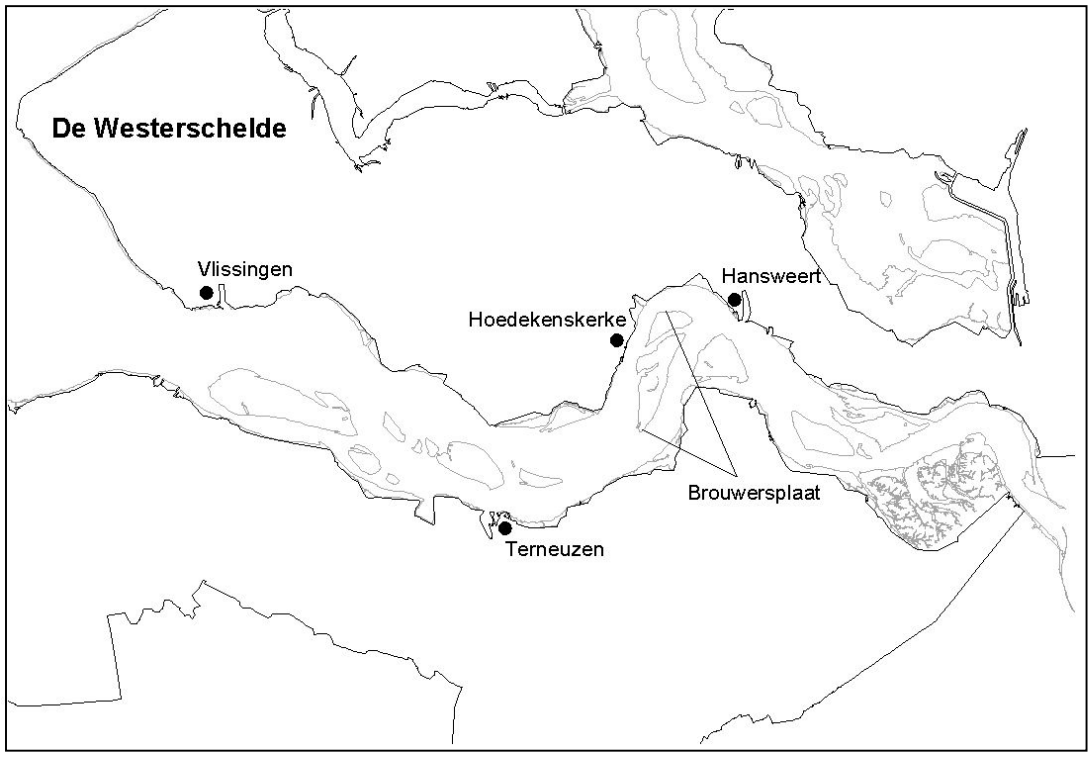
Ysebaert, T., Meire, P., Coosen, J., Essink, K., 1998. Zonation of intertidal macrobenthos in the estuaries of Schelde and Ems. Aquatic ecology 32: pp 53-71

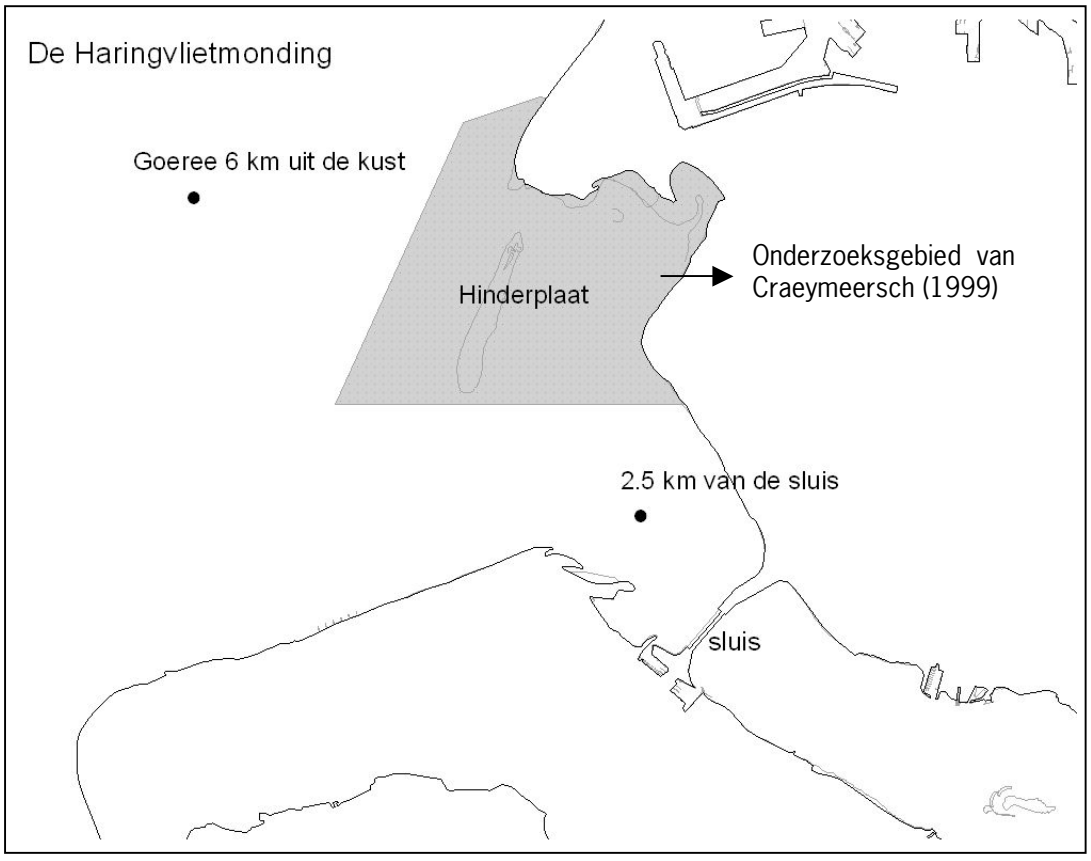
Ysebaert, T., Meire, P., Herman, P.M.J., Verbeek, H., 2002. Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradiënts: prediction by logistic regression. Marine Ecology Progress Series volume 225 pp 79-95

Vethaak, D., Jol, J., Pieters, J., 2004. Zieke vis en spuisluizen. Onderzoek naar ziekte bij bot (*Platichthys flesus*) voor en achter de afsluitdijk. Eindrapport van de onderzoeksjaren 1988-2001. Rapport RIKZ 2004.003

Wolff WJ, 1973. The estuary as a habitat. An analysis data on the softbottom macrofauna of the estuariene area of the rivers Rhine, Meuse, and Scheldt. In: Zoologische Verhandelingen, No. 126. Delta instituut voor hydrobiologisch onderzoek, Rapport 106

Bijlage I


De Westerschelde
Vlissingen
Hansweert
Hoedekenskerke
Brouwersplaat
Terneuzen


De Haringvlietmonding
Goeree 6 km uit de kust
Hinderplaat
Onderzoeksgebied van
Craeymeersch (1999)
2.5 km van de sluis
sluis