

Bodemfauna en beleid

**Een overzicht van 35 jaar
bodemfauna onderzoek en monitoring
in Waddenzee en Noordzee.**

20 oktober 2005

Rapport RIKZ-2005.028

ISSN 0927-3980

Colofon 6

Gegevensblad RWS-RIKZ rapporten 7

Voorwoord 9

1 Inleiding 11

- 1.1 Wat is bodemfauna? 11
- 1.2 Benthos in het mariene ecosysteem 11
- 1.3 Beleid en bodemfauna 14
- 1.4 Doel van dit rapport 15
- 1.5 Literatuur 15

2 Benthos - Rol en Dynamiek 19

- 2.1 Inleiding 19
- 2.2 Probleemstelling 21
- 2.3 Onderzoek 21
 - 2.3.1. Lange termijn gegevens 21
 - 2.3.2. COST 647 21
 - 2.3.3. Benthos- interacties tussen soorten 26
 - 2.3.4. Benthos en sedimentdynamiek 27
- 2.4 Menselijke activiteiten 29
 - 2.4.1. Verontreiniging 29
 - 2.4.2. Zandwinning 30
 - 2.4.3. Baggeren en storten van baggerspecie 30
 - 2.4.4. Zandsuppleties 30
 - 2.4.5. Schelpenwinning 31
 - 2.4.6. Boomkorvisserij op platvis 31
 - 2.4.7. Boomkorvisserij op garnalen 31
 - 2.4.8. Schelpdiervisserij 32
- 2.5 Discussie en Conclusies 32
- 2.6 Literatuur 33

3 De Beleidscyclus 41

- 3.1 Inleiding 41
- 3.2 De beleidscyclus 41
 - 3.2.1. Probleem identificatie en acceptatie 41
 - 3.2.2. Formuleren van beleid 42
 - 3.2.3. Implementatie van beleid 42
 - 3.2.4. Beheer 43
 - 3.2.5. Evaluatie 43
- 3.3 Bodemfauna en Waddenzee beleid 43
- 3.4 Bodemfauna en Noordzee beleid 46
 - 3.4.1. Nationaal 46
 - 3.4.2. Internationaal 47
- 3.5 Bodemfauna en Kaderrichtlijn Water (KRW) 49
- 3.6 Introductie van soorten 51
- 3.7 Discussie en Conclusies 52

3.8	Literatuur	53
4	Het monitoren van benthos	59
4.1	Inleiding	59
4.2	Monitoring principes	60
4.3	Monitoren van benthos	62
4.3.1.	Waarom benthos?	62
4.3.2.	Populatie parameters	63
4.3.3.	Chemische parameters	64
4.4	TMAP 'Common Package'	65
4.5	Kwaliteitsborging	65
4.6	Conclusies	66
4.7	Literatuur	67
5	Verontreiniging en benthos	71
5.1	Inleiding	71
5.2	Het effect van de persleiding Hoogkerk-Waddenzee	72
5.2.1.	Probleemstelling	72
5.2.2.	Onderzoeksaanpak	75
5.2.3.	Resultaten	76
5.2.4.	Discussie	80
5.3	Herstelstudie aan het benthos in de Dollard	81
5.3.1.	Probleemstelling	81
5.3.2.	Onderzoeksaanpak	81
5.3.3.	Resultaten	84
5.3.4.	Discussie	91
5.4	Conclusies	92
5.5	Literatuur	93
6	Effecten van storten van baggerspecie	99
6.1	Inleiding	99
6.2	Het project BAGHWAD	99
6.2.1.	Opzet	99
6.2.2.	Resultaten	100
6.3	Storten van baggerspecie en de Nb-wet	106
6.4	Discussie en Conclusies	107
6.5	Literatuur	108
7	Zand- en schelpenwinning en benthos	113
7.1	Inleiding	113
7.1.1.	Zandwinning	113
7.1.2.	Schelpenwinning	114
7.2	Effecten van zandwinning	115
7.2.1.	Zandwinning in de Waddenzee	115
7.2.2.	Zandwinning t.b.v. kustsuppleties	115
7.2.3.	Tijdelijke zandwin/overslagputten (Punaise)	117
7.3	Effecten van schelpenwinning	118
7.3.1.	Natuurlijke schelpkalkproductie	118
7.3.2.	Begroeiing schelpenbanken	118
7.4	Discussie en Conclusies	118
7.5	Literatuur	120

8	Kustsuppleties en benthos	123
8.1	Inleiding	123
8.2	De suppletie bij Terschelling	124
8.3	Effecten van vooroeversuppleties	124
8.3.1.	Directe effecten	125
8.3.2.	Het herstel proces	126
8.3.3.	Herstelduur	126
8.4	Discussie en Conclusies	127
8.5	Literatuur	128
9	Toekomstperspectief	131
9.1	Noordzee visserij	131
9.2	Klimaatverandering	131
9.3	Veranderingen in estuaria	132
9.4	Monitor technieken	132
9.5	Waarom monitoren?	133
9.6	Beschermde gebieden	133
9.7	Literatuur	134
	Appendix 1	137
	Appendix 2	141
	Appendix 3	149

Colofon

.....

Dit is een uitgave van het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ van het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Het rapport kan als volgt worden geciteerd:

K. Essink (2005). Bodemfauna en beleid. Een overzicht van 35 jaar bodemfauna onderzoek en monitoring in Waddenzee en Noordzee. Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-2005.028

Auteur:

Dr. Karel Essink

Illustraties:

Rob Jungcurt en Karel Essink

Overige: zie bronvermelding

Foto's:

Zie bronvermelding

Opmaak:

Wilma Huisman

Drukwerk:

Rijksuniversiteit Groningen

Facilitair Bedrijf

Informatie:

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Postbus 207

9750 AE Haren

Tel: 050-5331 331

Fax: 050-5340 772

E-mail: receptie-ha@rikz.rws.minvenw.nl

Disclaimer :

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee van Rijkswaterstaat (RWS-RIKZ) heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen.

Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Gegevensblad RWS-RIKZ rapporten

Opdrachtgever / contactpersoon	DGW	I Ir. K. Wieriks
--------------------------------	-----	------------------

Titel	Bodemfauna en beleid. Een overzicht van 35 jaar bodemfauna onderzoek en monitoring in Waddenzee en Noordzee.
Rapportnummer	RWS/RIKZ-2005.028

Samenvatting	In het kader van kennisoverdracht wordt een overzicht gepresenteerd van onderzoeks- en adviesprojecten, achtereenvolgens uitgevoerd bij het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, de Dienst Getijdewateren en het Rijksinstituut voor Kust en Zee. Het betreft de effecten op het bodemfauna systeem van Waddenzee en Noordzee als gevolg van de volgende gebruiksfuncties: lozing van afvalwater, baggeren en storten van baggerspecie, zandwinning, zandsuppleties en schelpenwinning. Het geheel is geplaatst in het kader van de "beleidscyclus". Het rapport is voorzien van uitgebreide literatuurverwijzingen, de publicatielijst van de auteur, en een lijst van rapporten van de auteur en diens medewerkers.
Summary	A review is presented of benthic investigations and advice projects consecutively executed at the following Rijkswaterstaat institutes: "Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater", "Dienst Getijdewateren" (Tidal Waters Division) and "Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ" (National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ). The review focuses at the benthic system of the Wadden Sea and North Sea and the effects of various human activities such as discharge of waste water, dredging and dumping of dredge spoil, sand extraction, sand nourishment of the coast, and shell extraction. This is positioned in the frame of the "policy cycle". The report contains references to the literature, the list of publications of the author, and a list of benthos related reports by the author and his co-workers.

Versie	Eigenaar (= 1 ^{ste} auteur)	Datum	Opmerking	Beoordeeld	Goedgekeurd
1	RWS/RIKZ K. Essink	05/09/2005	Concept	Inhoud. Specialist G.M. Janssen	Verantwoordelijk AH/KKM R.H.B. Kersten
2	RWS/RIKZ K. Essink	15/09/2005	Definitief	Accountmanager G.J. Rotmensen	Verantwoordelijk AH/UM R.H.B. Kersten

Project ID	Waddenzee	RWS-RIKZ projectnummer: 9406
Vertrouwelijk	☐ JA, tot (datum)	☒ NEE
Status	☐ Startversie	☐ Concept ☒ Definitief



Foto: Martin Stock

HORIZON

Ver weg
Waar alles wegzinkt
Tot in het niets
Daar waar de hemel
Het water schijnt te raken
In de einder is
Het kruispunt van de winden

Willem Wad, februari 1971

Voorwoord

.....

Op 1 december 2004 verliet Karel Essink het Rijksinstituut voor Kust en Zee. Hij was een van de dertig collega's die gebruik maakten van het arrangement voor Flexibele Pensionering en Uittreding (FPU). Met dit boeiende rapport, waarin hij de relatie tussen bodemfauna en beleid heeft vastgelegd, deelt hij zijn kennis en ervaring met u.

Onderzoek aan bodemfauna en advisering op basis van kennis over het ecologisch functioneren ervan is de kern geweest van het werk van Karel Essink. Dat begon in 1968 aan de Rijksuniversiteit Groningen met onderzoek in opdracht van Rijkswaterstaat naar de gevolgen voor de waterkwaliteit en de fauna van de Groninger Wadden van lozing van industrieel afvalwater. Na zijn indiensttreding in 1975 bij Rijkswaterstaat breidde zijn onderzoek en advisering zich uit naar de effecten van tal van menselijke activiteiten, zoals o.a. zandwinning en –suppletie, schelpdiervisserij en het storten van baggerspecie. Zijn loopbaan 'eindigde' met zijn voorzitterschap van de Trilateral Monitoring and Assessment group en de supervisie van het tot stand komen van het Wadden Sea Quality Status Report 2004 ter voorbereiding van de Ministerconferentie over de Waddenzee in november 2005. Meer informatie over zijn loopbaan vindt u achterin dit rapport.

Ik waardeer het dat Karel zijn werkzaamheden ter voorbereiding van de Waddenzee ministersconferentie heeft afgerond na zijn uitdiensttreding en ik stel het ook zeer op prijs dat hij het initiatief heeft genomen een overzicht te presenteren van zijn uitgebreide kennis en ervaring, opgedaan bij Rijkswaterstaat.

Ik dank Karel voor zijn inzet en dit bijzondere initiatief.

Ineke van der Hee
Hoofingenieur-Directeur Rijkswaterstaat RIKZ



Haventje van Noordpolderzijl bij laag water (Foto: Gerrit Mollema).

NOORDPOLDERZIJL

Er is veel veranderd, maar ik merk ook dat er in wezen niets veranderd is. [...] Onveranderd steekt de gekanaliseerde slenk honderden meters het wad in, een eerste lang stuk met aan de rechter kant een kade, geschraagd door dicht op elkaar geplaatste meerpalen met witgeverfde koppen, zodat ze aan verkeersagenten doen denken die een weg vrij moeten houden.

Er liggen drie schepen in het langwerpige haventje van Noordpolderzijl, garnalenvissers. Er beweegt zich geen mens op of bij de boten, evenmin op de uitgestrekte wadvlakte, eerst groene weiden vol witte vogelpoep als verspreide papiersnippers, overgaand in moddervlakten, later verdeeld in heggevakjes en dan komt het spiegelvlakke water.

Op de kwelders vooraan grazen wat paarden, een groepje kalveren, schapen. Voortdurend hoor ik gegak van ganzen, soms stijgen grote vluchten vogels op alsof ze ergens van schrikken. Duidelijk blinken de schamele duintjes van Rottumerplaat en Rottumeroog in de zon.[...]

Raymond ten Berge.

1. Inleiding

.....

1.1 Wat is bodemfauna?

Bodemorganismen (ook wel benthos genoemd) is een veel omvattend ecologisch begrip. In zijn algemeenheid verwijst het naar al die organismen die een aan de bodem van watersystemen gebonden leefwijze hebben. Daaronder vallen in ieder geval de microscopische algjes (het microfytobenthos), die een drooggevalen plaat in de Waddenzee zijn bruine kleur kunnen geven, de macroalgen, die onder meer op dijkglooiingen en mosselbanken groeien, en de zeegrassen. Daarnaast is er de uit ongewervelde dieren bestaande bodemfauna (het zoobenthos), die zowel ingegraven in de waterbodem als daarop voorkomt. Bekende voorbeelden van in de zandbodem ingegraven levende soorten, de zg. infauna, zijn de wadpier en de kokkel. Tot de op de zeebodem levende zg. epifauna behoren bijvoorbeeld de mossel, de alikruik en de zeeanjer. Naast deze met het blote oog waarneembare bodemfauna, kortweg: macrofauna, zijn er ook kleinere diersoorten die in en op de zeebodem, en ook op algen en zeegrassen leven, de zg. meio- en microfauna. De meiofauna staat wat afmetingen betreft tussen de macro- en de microfauna in. Tot deze groep behoren vele soorten nematoden (aaltjes), harpacticoide copepoden (roeipootkreeftjes) en borstelwormpjes. Jonge stadia van macrofauna behoren qua afmetingen tijdelijk tot de meiofauna. Het onderscheid tussen macrofauna en meiofauna berust voornamelijk op het verschil in grootte van de individuen. Macrofauna blijft achter op een zeef met 1 mm grote mazen, meiofauna wordt gemakkelijk door die mazen heen gespoeld. In sommige literatuur wordt nog de categorie megabenthos genoemd. Hieronder worden grote soorten begrepen zoals zee kreeft (*Homarus gammarus*), noordzeekrab (*Cancer pagurus*).

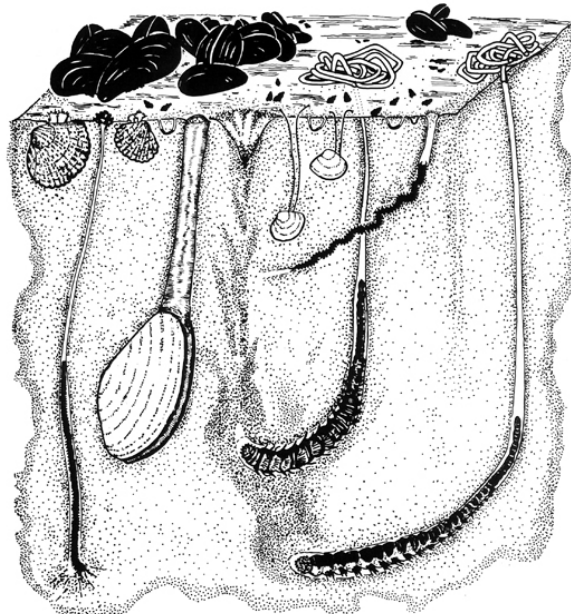
1.2 Benthos in het mariene ecosysteem

In het mariene ecosysteem neemt het benthos een belangrijke positie in. Als primaire producenten staan microfytobenthos, macroalgen en zeegrassen aan de basis van de voedselketen. Ze nemen hier dezelfde positie in als het fytoplankton in het pelagisch deel (de waterkolom) van het ecosysteem. Natuurlijk komen deze planten alleen daar voor waar voldoende zonlicht doordringt. In onze troebele kustwateren is daarom het voorkomen van deze organismen grotendeels beperkt tot de getijdezone. In de Waddenzee produceert het op de droogvallende wadplaten voorkomende microfytobenthos op jaarbasis ongeveer even veel als het fytoplankton dat doet in de waterkolom. Door golfwerking en getijstroom wordt microfytobenthos geregeld van de wadbodem opgewerveld, en verblijft het kortere of langere tijd in de waterkolom.

Hierdoor levert het microfytobenthos een belangrijke bijdrage aan het chlorofyll-a gehalte, en daarmee aan de primaire productie in de waterkolom, zoals door DE JONGE (1995) aannemelijk is gemaakt. De bodemfauna is een belangrijke volgende schakel in de voedselketen. Voor deze groep dient de door de plantaardige organismen geproduceerde organische stof als voedsel, in levende dan wel dode toestand. Sedimenteters onder de bodemfauna, zoals de wadpier (*Arenicola marina*) en de draadworm (*Heteromastus filiformis*) eten het sediment en verteren de daarin aanwezige organische stof. Deze groep wordt in het Engels 'deposit feeders' genoemd. Grazers als het wadslakje (*Hydrobia ulvae*) en de vlokreeft (*Gammarus locusta*) eten het levende materiaal van microfytobenthos en zeesla (*Ulva lactuca*) direct. Mossels (*Mytilus edulis*) en kokkels (*Cerastoderma edule*) zijn voorbeelden van filtrerende bodemfaunasoorten ('suspension'- of 'filter feeders'). Met behulp van hun kieuwen filteren zij fytoplankton en zwevende stof uit het water, en selecteren zij de als voedsel bruikbare bestanddelen van de zwevende stof met behulp van hun zg. labiale palpen. Enkele soorten staan als carnivoor een niveau hoger in de voedselketen; zij prederen op meiofauna en andere macrofauna soorten. Zo'n carnivore slak uit de Waddenzee is het oubliëhorentje (*Retusa obtusa*). Veel bodemfaunasoorten hebben een vrij brede voedingstrategie. Zo functioneert de zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) niet alleen als carnivoor, maar ook als oppervlakkige sedimenteter ('surface deposit feeder') en als filtreerder, waarbij hij het met voedsel verrijkte zelf gemaakte filterzakje op eet ('mucous bag filter feeder'). De bodemfauna van de droogvallende platen in de Waddenzee (Figuur 1.1) is anders van samenstelling dan die in de Noordzee (Figuur 1.2). De hoeveelheid bodemfauna in een systeem is sterk afhankelijk van de primaire productie in dat systeem (Figuur 1.3).

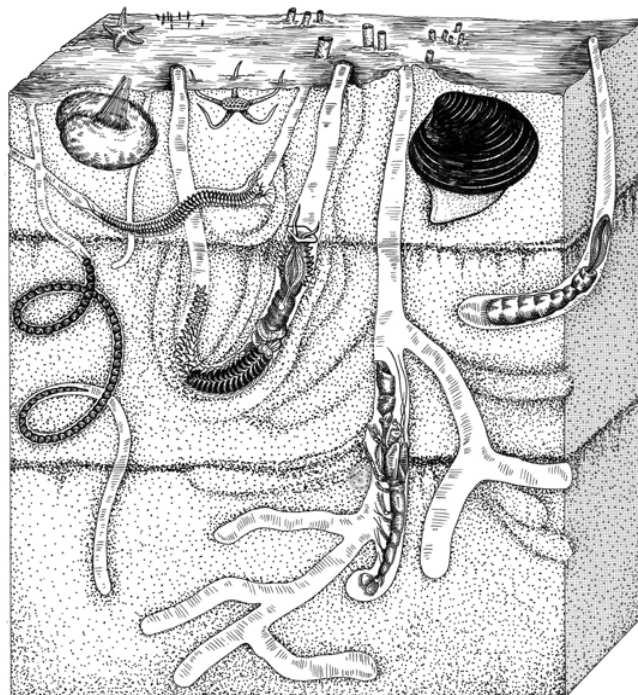
Figuur 1.1

Impressie van de bodemfauna in (kokkel, strandgaper, nonnetje, draadworm, wadpier, zeeduizendpoot) en op (mossel, wadslakje) de droogvallende wadplaten van de Waddenzee. (Bron: Kon. NIOZ, Texel)



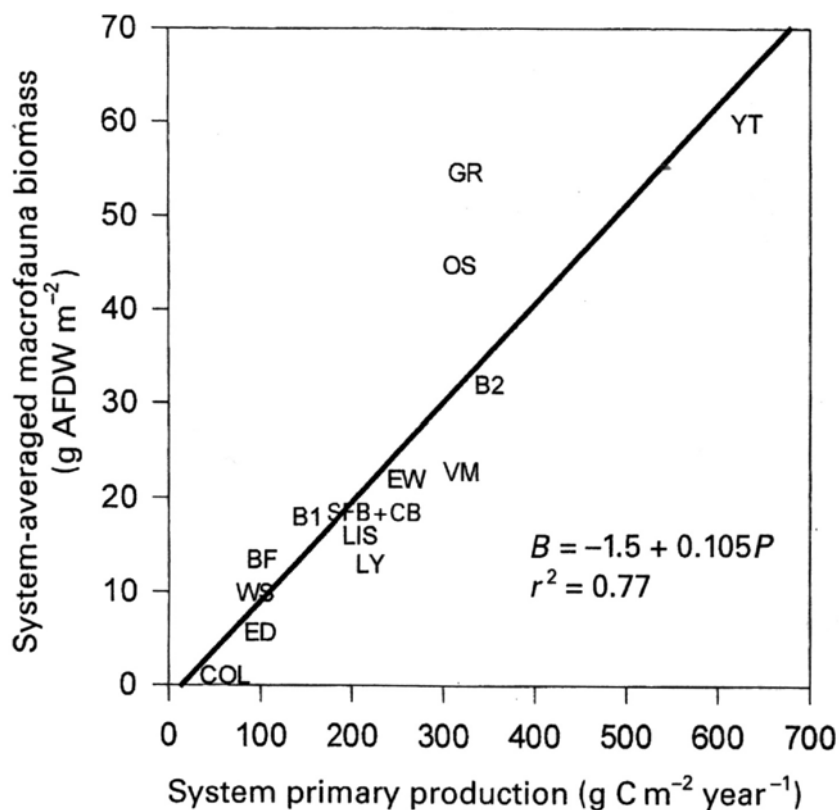
Figuur 1.2

Impressie van de bodemfauna in de Noordzee (o.a. zee-egel, slangster, noordkromp, borstelwormen, perkamentworm, *Callianassa*). (Bron: Kon. NIOZ, Texel).



Figuur 1.3

Relatie tussen primaire productie en gemiddelde bodemfauna biomassa in ondiepe goed gemengde estuariene systemen. YT: Ythan, GR: Grevelingen, OS: Oosterschelde, B1, B2: Balgzand, VM: Veerse Meer, EW: buitenste deel Eems estuarium, ED: Dollard, SFB: San Francisco Bay, LY: Lynher, WS: Westerschelde, BF: Bay of Fundy, COL: Columbia River, LIS: Long Island Sound, CB: Chesapeake Bay. (Bron: HERMAN e.a. 1999).



Op zijn beurt dient bodemfauna ook als voedsel voor grote groepen gewervelde dieren. De wormen, schelpdieren en garnaaltjes op de droogvallende zand- en slikplaten in de Waddenzee vormen tijdens laagwater een belangrijke voedselbron voor grote aantallen wadvogels, voornamelijk steltlopers, en tijdens hoogwater voor platvissen, garnalen en strandkrabben. In dieper water, zowel in de Waddenzee als in de Noordzee, liggen belangrijke voedselgronden voor duikeenden als eidereend en zwarte zeeëend; zij eten o.a. mossels en strandschelpen (*Spisula* spp.).

In wateren als de Noordzee is het een diverse visfauna die de bodemfauna als voedselbron exploiteert. Buiten de Noordzee zijn schelpdieren en andere bodemfaunasoorten zelfs voor zoogdieren als voedsel belangrijk, bijv. voor de zeeotter (*Enhydra lutris*) en de walrus (*Odobenus rosmarus*). Tenslotte, moet ook de mens als consument van bodemfauna genoemd worden. In de Waddenzee en Oosterschelde wordt op kokkels gevist en worden mossels op cultuurpercelen opgekweekt. In landen rond de Middellandse Zee vindt een groot palet aan bodemdieren (schelpdieren en kreeftachtigen) zijn weg naar de menselijke etenstafel.

1.3 Beleid en bodemfauna

Bodemfauna (benthos) in mariene en estuariene ecosystemen heeft reeds lang een belangrijke rol gespeeld in het beleid van regionale en nationale overheden. De betekenis van schelpdieren (oester en mossel) als voedsel voor de mens richtte al vroeg de aandacht van de overheid op de noodzaak van zuivering van communaal afvalwater i.v.m. bacteriële besmetting, en van het monitoren van het voorkomen van toxische planktonsoorten i.v.m. het risico van o.a. 'diarrhetic shellfish poisoning' bij menselijke consumenten. Vanwege hun plaatsgebonden leefwijze en hun vermogen tot bioaccumulatie van verontreinigingen werden mosselen omstreeks 1970 toegepast in soms zeer omvangrijke monitoring programma's ('Musselwatch') voor het meten van de belasting van de kustwateren met zware metalen, pesticiden en andere organische microverontreinigingen. Het verstorend effect op het voortplantingssysteem van mariene slakken (o.a. bij wulk en purperslak) leidde in 2001 tot het verbod van het gebruik van TBT-houdende verf ter voorkoming van aangroei op de scheepshuid (IMO, 2001). In het natuurbeleid speelt benthos een belangrijke rol. Zowel in het nationale als internationale beleid m.b.t. de Waddenzee zijn concrete doelen gesteld t.a.v. de gewenste omvang respectievelijk ontwikkelingsrichting van zeegras velden en litorale mosselbanken (PKB, 1993; WSP, 1997). Daar de internationale betekenis van de Waddenzee voor talrijke vogelpopulaties in sterke mate afhankelijk is van bentische voedselrijkdom (RAMSAR, 1971) is in het beleid m.b.t. de visserij op kokkels en mossels in de Waddenzee een bepaling opgenomen die voorziet in een bepaalde voedselreservering voor schelpdieretende steltlopers (LNV, 1992a, 1992b). Voor het Nederlands deel van de Noordzee zijn ook natuurdoelen ontwikkeld voor benthos (BISSELING e.a., 2001).

Vanwege de betekenis van benthos als medebepalend element in de natuurwaarde van kust- en zee systemen is de Natuurbeschermingwet (Nb-wet) inmiddels ook van toepassing op het storten van baggerspecie. In de Waddenzee wordt slechts dan een Nb-wet vergunning verleend als kan worden aangetoond dat deze activiteit geen schadelijke effecten heeft op de rijkdom van de bodemfauna (zie hoofdstuk 6).

Recente ontwikkelingen in het Europees beleid zijn de Habitat Richtlijn en de Kaderrichtlijn Water. Hierin speelt benthos bij de beoordeling van de kwaliteit van (kust)watersystemen een belangrijke rol. Voor het nader uitwerken en operationaliseren van het internationaal beleid t.a.v. de Noordzee is in kader van OSPAR het initiatief genomen tot het ontwikkelen van zg. Ecological Quality Objectives (EcoQO's). Ten behoeve van de Noordzee Ministers Conferentie, voorjaar 2002 (Bergen, Noorwegen) is een aantal EcoQO's nader uitgewerkt, waaronder EcoQO's op basis van benthos (zie hoofdstuk 3).

1.4 Doel van dit rapport

Het doel van dit rapport is een overzicht te geven van de rol die bodemfauna (benthos) in de afgelopen decennia heeft gespeeld in het onderzoek- en advieswerk van het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, en haar voorgangers de Dienst Getijdewateren (DGW) en het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA). Het bijeenbrengen van deze informatie wordt belangrijk geacht in het kader van kennismanagement. Gehoopt wordt dat hiermee een bijdrage wordt geleverd aan overdracht van door de auteur in zijn loopbaan bij de Rijkswaterstaat opgedane kennis naar jonge en toekomstige medewerkers van diensten betrokken bij de advisering t.b.v. het beleid voor en het beheer van de Nederlandse kustwateren en de Noordzee.

1.5 Literatuur

Bisseling, C.M., C.J.F.M. van Dam, A.C. Schippers, P. van der Wielen & W. Wiersinga, 2001- Met de natuur in zee. Rapportage project "Ecosysteendoelen Noordzee", kennisfase. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Expertisecentrum LNV, Wageningen. 124 pp + 2 bijl.

Herman, P.M.J., J.J. Middelburg, J. van de Koppel & C.H.R. Heip, 1999 – Ecology of estuarine benthos. Adv. Ecol. Res. 29: 195-240.

IMO, 2001 - International Convention on the control of harmful anti-fouling systems on ships. International Maritime Organisation.

Jonge, V.N. de, 1995 - Wind-driven tidal and annual gross transport of mud and microphytobenthos in the Ems estuary. In: K.R. Dyer & R.J. Orth (Eds.), Changes in fluxes in estuaries. Olson & Olson, Fredensborg, Denmark: 29-44.

LNV, 1992a - Vissen naar evenwicht. Structuurnota Zee- en kustvisserij. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag..

LVN, 1992b - De voedselbehoefte van vogels in de Waddenzee en Oosterschelde. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Ambtelijke notitie, 13 nov. 1992.

PKB, 1993 - Planologische Kernbeslissing Waddenzee. SDU, Den Haag.

WSP, 1997 - Wadden Sea Plan. In: Ministerial Declaration of the Eighth Trilateral Governmental Conference on the Protection of the Wadden Sea. Stade, October 1997, Annex 1. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

RAMSAR, 1971 - The Ramsar Convention on Wetlands. Ramsar, Iran.



Foto: Maurice Luimes

WAD

Lopende getijden
Opkomend water
Het landgebied loopt vol

Lopende getijden
Afgaand water
Het waterland stroomt leeg

Omlijnd door eilandenrij en dijkenlijn
Ligt nog de Waddenzee
Te rimpelen en te schitteren
Gestreeld door de wind, geblakerd door de zon

Overwelfd door grauwe wolkenluchten
Ligt nu het waddenland
Met zandige hoogten en kleiige laagten
Doorsneden van geulen, geaderd van prielen

WAD is de zee door schepen bevaren,
WAD is het land door mensen betreden

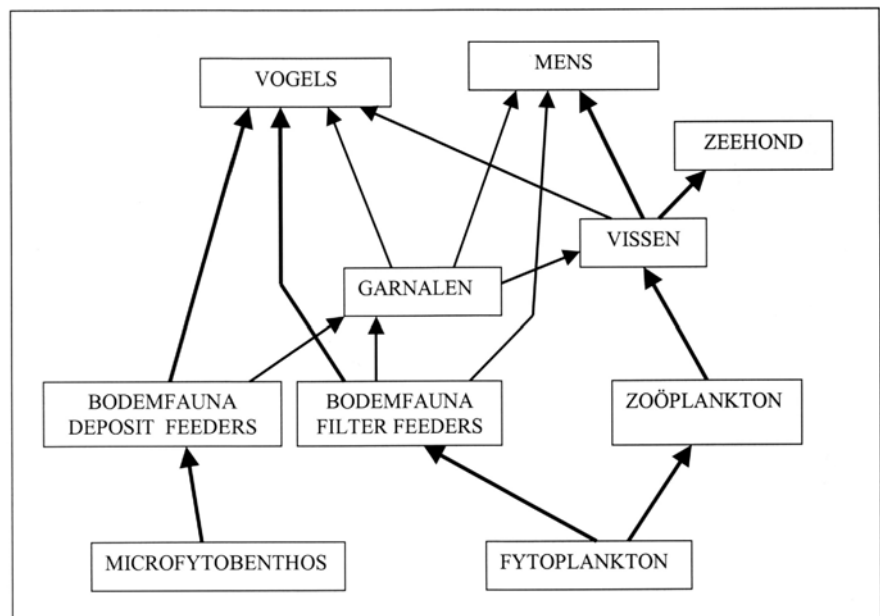
Willem Wad (december 1969)

2. Benthos - Rol en Dynamiek

2.1 Inleiding

Bodemfauna neemt een belangrijke plaats in in de ecologische processen van het mariene en estuariene ecosysteem. Grofweg kan een tweetal voedselketens worden onderscheiden (Figuur 2.1). Enerzijds is er de 'benthische' voedselketen waarin microfytobenthos (o.a. benthische diatomeeën) en organische stof in het sediment voedsel zijn voor de 'deposit feeders' onder de bodemfauna, waarna de ze laatste weer gegeten wordt door epibenthische organismen (bijv. krabben en garnalen) en door steltlopers. Deze voedselketen is sterk vertegenwoordigd in de bij laagwater droog vallende gebieden van de Waddenzee. Anderzijds is er een 'pelagische' voedselketen waarin fytoplankton en zwevend detritus uit het water wordt opgenomen door de 'filter feeders' onder de bodemfauna, die vervolgens weer gegeten worden door duikeenden en bodemvissen, en deze bodemvissen weer door o.a. de zeehond. Mengvormen tussen beide ketens komen ook voor. Zo vormt de op de droogvallende wadplaten voorkomende kokkel (*Cerastoderma edule*), een 'filter feeder' die weer door steltlopers (o.a. kanoetstrandloper en scholekster) gegeten wordt, voor een kortsluiting tussen de pelagische en benthische voedselketen.

Figuur 2.1
Schematisch voedselweb Waddenzee.



Bodemfaunaorganismen zijn gekenmerkt door een sterk plaatsgebonden leefwijze. Weliswaar zijn de larven vaak kortere of langere tijd pelagisch, maar eenmaal in de zeebodem gevestigd zijn ze weinig mobiel, zeker als de vergelijking wordt gemaakt met garnalen en

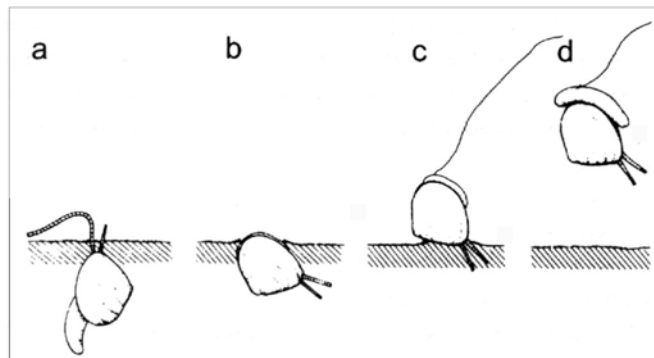
vissen. Die plaatsgebondenheid van bodemfauna organismen is vooral groot bij soorten die zich aan de zeebodem vasthechten (bijv. de slibanemoon *Sagartia troglodytes* en de mossel *Mytilus edulis*), en ook bij soorten met een vrij permanente woongang in het sediment (bijv. de wadpier *Arenicola marina*) en in het sediment ingegraven levende schelpdieren (bijv. nonnetje *Macoma balthica*, strandgaper *Mya arenaria* en platte slijkgaper *Scrobicularia plana*).

Jonge individuen van bodemfaunasoorten kunnen evenwel op bepaalde momenten behoorlijk mobiel zijn. Dit heeft er mee te maken dat ze als postlarven habitats bewonen die eigenlijk niet geschikt zijn voor volwassen dieren. In de Waddenzee zien we dat bijvoorbeeld bij de wadpier, de zeeduizendpoot en het nonnetje die als juveniel een voorkeur hebben voor hoog en beschut gelegen randgebieden (BEUKEMA, 1972, 1975; ESSINK & KLEEF, 1986). Dit fenomeen werd in de Dollard ook bij de uit Noord Amerika afkomstige worm *Marenzelleria* cf. *viridis* waargenomen (ESSINK & KLEEF, 1993). Naar analogie van wat bekend is van de ecologie van platvissen worden deze randgebieden ook wel de 'kinderkamer' voor bodemfauna genoemd.

Wanneer de dieren groter worden treedt op een gegeven moment, vaak voorafgaand aan de winter, migratie op naar andere, meestal wat dieper gelegen, delen van de Waddenzee, het habitat voor de volwassen dieren (ARMONIES, 1994, 1996; ARMONIES & HELLWIG-ARMONIES, 1992; BEUKEMA, 1973; BEUKEMA & DE VLAS, 1989; ESSINK & BEUKEMA, 1991; ESSINK & KLEEF, 1993; HIDDINK, 2002). Bij deze migratie maken schelpdieren gebruik van het mechanisme "byssus-thread drifting" (Figuur 2.2). Het zijn niet uitsluitend de jongere individuen die migratiegedrag vertonen. Ook oudere individuen vertonen migratiebewegingen, zoals werd waargenomen bij de zeeduizendpoot (DANKERS & BINSBERGEN, 1984) en het slijkgarnaaltje (ESSINK e.a., 1989).

Figuur 2.2.

Migratie middels "byssus-thread drifting" bij het nonnetje (*Macoma balthica*). a: normale leefpositie tijdens voedselopname met sifo, b: dier werkt zich uit het sediment, c: schelp enigszins geopend, voet iets uitgestoken, met lange byssus-draad, d: met sterk uitgestulpte voet en byssus-draad vrij drijvend. (Bron: SÖRLIN, 1988)



Berekend werd dat in de Dollard binnen een getij 450 miljoen slijkgarnaaltjes in de waterkolom voorkwamen. Hoewel dit niet meer was dan ca. 0,06% van de in de bodem aanwezige populatie kon dit toch leiden tot aanzienlijke seizoensveranderingen in het verspreidingspatroon.

Ondanks de sterk plaatsgebonden leefwijze van veel bodemfauna organismen is er dus geen sprake van uitgesproken stabiele populaties. Er zal voortdurend sprake zijn van variatie in het voorkomen van deze organismen, variatie zowel in de ruimte als in de tijd.

2.2 Probleemstelling

Bij de advisering ten behoeve van het beleid en beheer van natte ecosystemen als de Waddenzee en Noordzee doet zich vaak het probleem voor van een juiste beoordeling van menselijke ingrepen c.q. beheersmaatregelen. De oorzaak van dit probleem is gelegen in het feit dat in de veldsituatie niet alleen grote ruimtelijke variaties voorkomen, maar dat ook grote temporele fluctuaties optreden in het voorkomen en de talrijkheid van soorten. Temporele variaties die het gevolg zijn van natuurlijke processen bemoeilijken ook het uit monitor gegevens extraheren van een signaal dat er lokaal of regionaal een afwijking van de natuurlijke dynamiek optreedt.

Centrale probleemstelling in een dynamisch systeem is derhalve de vraag hoe een onderscheid gemaakt kan worden tussen de natuurlijke dynamiek in voorkomen en talrijkheid van bodemfaunaorganismen enerzijds en de eventuele menselijke verstoring van die dynamiek anderzijds. Of anders gezegd: hoe kunnen we een effect van menselijke activiteit onderscheiden van de natuurlijke 'ruis' in het mariene ecosysteem?

2.3 Onderzoek

2.3.1. Lange termijn gegevens

Het onderzoek naar natuurlijke dynamiek op een tijdschaal van jaren is sterk afhankelijk van het beschikbaar zijn van lange termijn data series. In de Nederlandse Waddenzee is met het opbouwen van dergelijke data series begonnen door het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (Balgzand, westelijke Waddenzee, sinds 1968) en de Rijksuniversiteit Groningen (Groninger Wad, sinds 1969 - later voortgezet door Rijkswaterstaat). Deze meetseries bestaan uit bemonsteringen uitgevoerd in het vroege voorjaar en in de nazomer, zodat zowel het effect van de winter (bijv. streng of zacht) als van de voortplanting (goede of slechte broedval) op dichtheid en leeftijdsamenstelling van de verschillende bodemfauna soorten in de data sets aanwezig is. Deze data sets hebben een belangrijke rol gespeeld in een door de Commissie van de Europese Gemeenschap gestimuleerd samenwerkingsproject COST 647

2.3.2. COST 647

Het acroniem COST staat voor 'Coopération européenne dans la Domaine de la Recherche Scientifique et Technique'. Het project COST 647 'Coastal Benthic Ecology' startte in 1979 op initiatief van een aantal Europese benthos onderzoekers die zich geconfronteerd zagen met het probleem van een nauwkeurige evaluatie van de biologische veranderingen in het mariene milieu (KEEGAN, 1986). Ecologische studies van het benthos waren toen veelal slechts korte-termijn onderzoeken, die onderling niet goed waren gecoördineerd, en vaak verschilden in methodiek. Daarentegen hadden enkele meer uitgebreide studies al laten zien hoe locale en biologische factoren van invloed waren op de ruimtelijke en temporele variatie in benthos populaties. Door de onmogelijkheid om benthosgegevens in een geografische

context te plaatsen, o.a. als gevolg van verschillen in methodiek, was het onduidelijk of geconstateerde veranderingen in het benthos moesten worden toegeschreven aan locale omstandigheden (natuurlijk of door de mens beïnvloed) dan wel aan een grootschaliger natuurlijk fenomeen (bijv. hydrografisch of klimatologisch bepaald).

Het doel in het COST 647 project werd daarom het verkrijgen van een beter inzicht in de variabiliteit in bentische populaties en gemeenschappen alsmede het oplossen van de vraag welk deel van variatie in populaties veroorzaakt wordt door natuurlijke factoren, en welk deel door menselijke beïnvloeding. De basale hypothese was dat klimatologische en hydrografische omstandigheden sturend zijn voor temporele variabiliteit die zich over een grote geografische range uitstrekt. Locale sturende factoren, zoals veroorzaakt door locale menselijke activiteiten (bijv. lozing van afvalwater), zouden dan afwijking van deze grootschalige variabiliteit laten zien.

Uit de vele bentische habitats en gemeenschappen langs de Atlantische kust van Europa werden vier belangrijke habitats voor gezamenlijke studie geselecteerd: 1) subtidal rock, 2) intertidal rock, 3) subtidal sediment, and 4) intertidal sediment. In 1987 werd een vijfde habitat toegevoegd, namelijk de voor de Middellandse Zee relevante *Posidonia* (een zeegras) gemeenschap. Voor elke van deze vijf habitats werden internationale subgroepen samengesteld. Vanuit Nederland werd deelgenomen aan de subgroepen 'subtidal sediment' (vnl. NIOZ en RIVO) en 'intertidal sediment' (NIOZ, RWS-Dienst Getijdewateren en Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek – nu NIOO-CEME). Coördinator van de subgroep 'intertidal sediment' was van 1979-1988 Dr. J.J. Beukema (NIOZ, Texel) en van 1988 tot het einde van het project (1992) Dr. K. Essink (Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren). In de subgroep 'intertidal sediments' werden vanwege de grote overeenkomst ook enkele ondiepe sublitorale sediment habitats meegenomen.

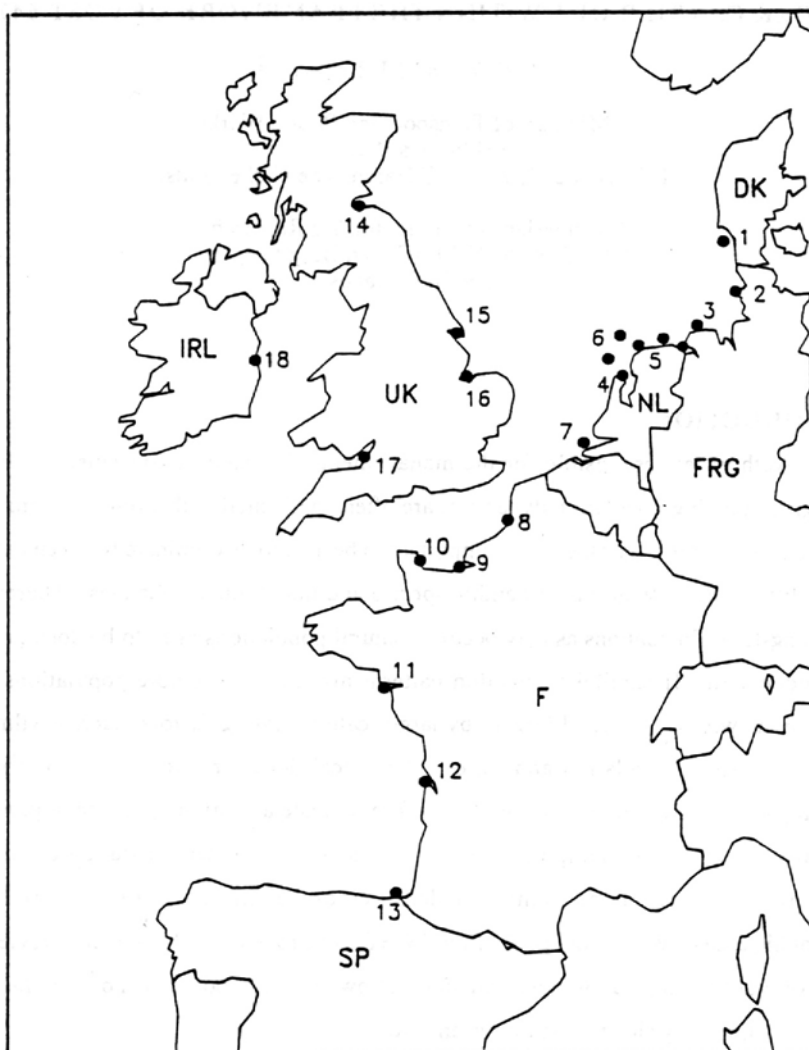
Het COST 647 project bracht een groot aantal onderzoekers uit west Europa bij elkaar, en stimuleerde de start van nieuwe waarnemingsreeksen, o.a. in de Deense Waddenzee, de Baai van de Somme en de Gironde (Figuur 2.3). Een belangrijke stap tot een betere afstemming van bemonsterings- en analysemethodieken werd gezet tijdens een in 1986 te St. Valéry-sur-Somme (Frankrijk) gehouden workshop (ESSINK e.a., 1986).

De resultaten van de eerste vijf jaar van het COST 647 project werden in december 1985 te Brussel gepresenteerd (HEIP e.a., 1986). De tot dan toe verzamelde data series boden mogelijkheden voor analyse van uiteenlopende onderzoeksvragen. Vergelijkende analyses van verschillende data sets waren evenwel nog weinig gedaan, en ook de statistische analysemethodiek was nog weinig ontwikkeld. Aan deze zaken is vooral in de tweede fase van het COST 647 project meer aandacht besteed.

Het onderzoek aan de bodemfauna van sedimenten in de getijdzone ('intertidal sediments') leverde onder meer de volgende resultaten. Een belangrijk deel van de jaar-op-jaar variatie in populatiedichtheid wordt veroorzaakt door variatie in voortplantingssucces (larvenproductie, vestiging en overleving van 'broedjes'). Welke factoren deze variatie bepalen bleef aanvankelijk nog onduidelijk (BACHELET, 1986).

Figuur 2.3

Onderzoekslocaties in het COST 647
"Intertidal Sediment" programma
(Bron: ESSINK & BEUKEMA, 1991)



Vergelijking van de populatiedynamiek op het droogvallende wad bij Norderney met waarnemingen in de ondiepe kustzone ten noorden van dit eiland toonde een grotere temporele dynamiek in laatst genoemd habitat (DÖRJES e.a., 1986). Dit kon in verband worden gebracht met de invloed van golfwerking op de stabiliteit van het sediment, welke invloed bij stormomstandigheden in de kustzone aanmerkelijk groter is dan op het meer beschut gelegen wad ten zuiden van Norderney. Diverse beschikbare data sets maakten aannemelijk dat het karakter van de winter (streng of zacht) van invloed kan zijn op de dynamiek van bodemfauna populaties. Strengere winters leiden enerzijds tot verhoogde sterfte onder koude gevoelige soorten, zoals kokkel (*Cerastoderma edule*), tere platschelp (*Angulus tenuis*), zaagje (*Donax vittatus*), zandzager (*Nephtys hombergi*), zandkokerworm (*Lanice conchilega*) en zeeklit (*Echinocardium cordatum*) (BEUKEMA, 1984; BEUKEMA e.a., 1988), en anderzijds tot een betere voortplanting en vestiging van sommige soorten in het daarop volgende voorjaar (o.a. BEUKEMA, 1982; BEUKEMA e.a., 2001; MADSEN, 1984). Dit laatste bleek echter geen "wet van Meden en Perzen" te zijn, want binnen de Waddenzee zien we regionale verschillen in reactie op een strenge

winter die samen kunnen hangen met verschillen in topografie en verschillen in biotische factoren (STRASSER e.a., 2002).

Binnen de Nederlandse Waddenzee bleken dichtheidsfluctuatiepatronen op 150 km afstand in sterke mate met elkaar gecorreleerd te zijn (BEUKEMA & ESSINK, 1986), maar ook kon een locale afwijking van die natuurlijk bepaalde fluctuatiepatronen door lozing van afvalwater worden aangetoond (ESSINK & BEUKEMA, 1986).

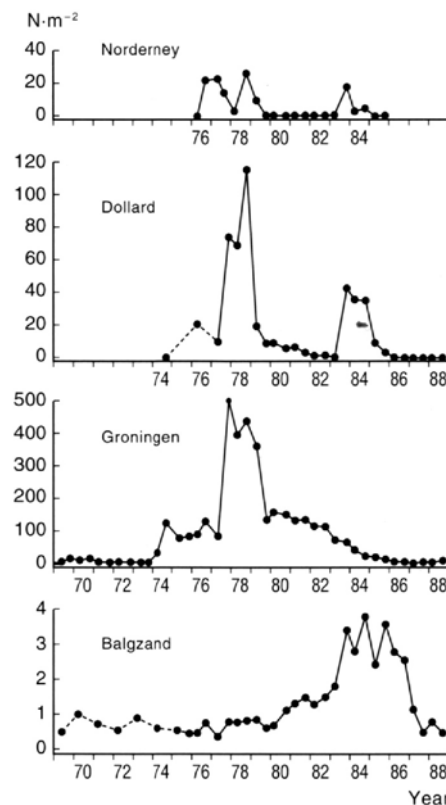
In de tweede fase van het COST 647 project werd aanvullend aandacht besteed aan afstemming van onderzoeksmethodieken (ESSINK, 1991), en veel energie gestoken in numerieke analyse technieken van de data sets. Eerste resultaten van deze numerieke analyses werden gepresenteerd op een tweede COST Symposium dat in 1988 op Kreta werd gehouden (KEEGAN, 1991). Voor een 'within site' analyse werden data sets onder meer onderworpen aan Correspondentie Analyse (CA), Reciproke Analyse (RA) en Principale Componenten Analyse (PCA). Door IBANEZ (1991) werd geconcludeerd dat PCA het meest geschikt was om op de COST 647 data sets toe te passen. Een dergelijke 'within site' analyse werd voor een zestal onderzoekslocaties binnen het 'intertidal sediment' programma (Norderney wad, Groninger wad, Balgzand, Baai van de Somme, Seine estuarium en Kinneil flats in het Forth estuarium) uitgevoerd door SOUPRAYEN e.a. (1991). Het algemene resultaat van deze analyse was dat meerjarige trends in de ontwikkeling van de bodemfauna gemeenschap van elke locatie werden beschreven, waarbij eventueel aanwezige discontinuïteiten in de trends signalen opleverden voor verschillen in aard en mate van beïnvloeding van die gemeenschapsontwikkeling. Aan een deel van deze discontinuïteiten lijken natuurlijke oorzaken ten gronde te liggen. Bij andere is er een samenhang herkenbaar tussen het optreden van de discontinuïteit en een verandering in menselijke beïnvloeding, bijv. het verplaatsen van de ligging van een lozingspunt voor chemisch afvalwater in het Forth estuarium en het aanbrengen van een opening in een stroomgeleidingsdam in het Seine estuarium. Door SOUPRAYEN e.a. (1991) werd ook een voorlopige 'inter site' vergelijking uitgevoerd, waarbij bleek dat grofweg twee types PCA-curves onderscheiden konden worden: 1) een zg. hoefijzervormige curve, indicatief voor een bepaalde mate van successie in (een deel van) de benthische gemeenschap, en 2) een meer complexe curve die indicatief geacht wordt voor in de loop van de tijd sterk variabele gemeenschappen. Multivariate statistische methoden, zoals hierboven aangeduid, zijn gericht op het ontdekken van 'patronen', hetzij in de ruimte, hetzij in de tijd. Patronen of structuren in benthische gemeenschappen geven slechts een beperkt inzicht. Van groter betekenis is het antwoord op de vraag hoe deze structuren samenhangen met de functionele rol van die gemeenschappen. Deze basale vragen, van belang voor het verkrijgen van meer begrip omtrent de factoren die dynamiek van het benthos veroorzaken, werden aangesneden tijdens een workshop te Yerseke, met veldonderzoekers en modellers als deelnemers (HERMAN & HEIP, 1991).

In de eindfase van het COST 647 project werden vergelijkende analyses uitgevoerd van de lang-termijn dynamiek van west-Europese populaties van enkele belangrijke soorten, zoals de kokkel (DUCROTOY e.a., 1991), het nonnetje (DESPREZ e.a., 1991) en de platte slijkgaper (ESSINK e.a.,

1991). Deze analyses werden gepresenteerd op een door de Estuarine and Coastal Sciences Association (ECSA) georganiseerd symposium (Caen, 1989), dat geheel was gewijd aan vergelijkingen in ruimte en tijd (ELLIOTT & DUCROTOY, 1991). Deze studies laten onder meer zien dat er in de populatiedynamiek van soorten lange termijn cycli te onderkennen zijn, en dat deze cycli van locatie tot locatie kunnen verschillen (Figuur 2.4) en niet gerelateerd lijken aan cycli van andere aanwezige soorten. De effecten van grootschalige klimatologische factoren zijn niet altijd goed waarneembaar, hoewel het effect van strenge winters erg uitgesproken kan zijn. Variaties in populatie dichtheden van koude gevoelige soorten kunnen hierdoor worden verklaard.

Figuur 2.4

Gemiddelde dichtheid van de platte slijkgaper (*Scrobicularia plana*) bij Norderney, in de Dollard, op het Groninger wad en het Balgzand in het voorjaar en het najaar. (Bron: ESSINK e.a., 1991)



Lange termijn dynamiek in mariene ecosystemen, zowel pelagische als benthische, bleef langere tijd een belangrijk onderzoeksthema (o.a. BACHELET e.a., 1997). Terugkerend resultaat is de gevoeligheid, in meerdere of in mindere mate, van bodemfaunagemeenschappen voor klimatologische (strengheid van de winter) en meteorologische omstandigheden (bijv. optreden van stormen) (o.a. ZEISS & KRÖNCKE, 1997). Ondanks de ruis die door klimatologische en meteorologische omstandigheden ontstaat in het lange termijn signaal in benthische gemeenschappen kunnen lokaal effecten van eutrofiëring worden waargenomen, met onder meer toename van de totale bodemfauna (BEUKEMA & CADÉE 1986; BONSDORFF e.a., 1997; DE JONGE & ESSINK, 1991; DE JONGE & VAN RAAPHORST, 1995; ZEISS & KRÖNCKE, 1997). Lokale effecten van eutrofiëring zijn evenwel niet altijd gemakkelijk waarneembaar. Dit heeft onder meer te maken met gedifferentieerde voedselbeperking, dat wil zeggen voedselbeperking die in sommige

delen van het platengebied in de Waddenzee wel, en in andere delen niet aanwezig is (BEUKEMA & CADÉE, 1997; BEUKEMA e.a., 2002). Hoe werkt nu die sterke jaar op jaar fluctuatie in dichtheden door in het ecosysteem van de Waddenzee? Leidt dat niet tot een even sterk fluctuerende benthische biomassa en daardoor ook tot een sterk fluctuerend voedselaanbod voor consumenten, zoals steltopers en bodemvissen? Een analyse van 30 jaar bodemfaunagegevens van Balgzand, Groninger wad en wad onder Norderney, toegespitst op de kokkel, het nonnetje, de strandgaper en de mossel die gezamenlijk meer dan 50% van de totale zoobenthische biomassa uitmaken, laat zien dat sterke jaar op jaar fluctuaties in dichtheden niet ook tot sterke fluctuaties in biomassa leiden. Dit heeft een aantal uiteenlopende oorzaken. Niet alleen wordt het effect van sterke fluctuaties in voortplantingssucces afgezwakt doordat bij deze soorten de biomassa wordt opgebouwd door meerdere jaarklassen tezamen, maar ook bereikt niet elk van deze vier schelpdiersoorten zijn maximum biomassa op dezelfde leeftijd. Daarnaast is er ook nog sprake van een terugkoppelingsmechanisme dat er in voorziet dat de natuurlijke sterfte hoger is naarmate de dichtheid hoger is (BEUKEMA e.a., 2001). Deze biomassa afvlakkende mechanismen hebben tot gevolg dat ondanks grote variabiliteit in voortplantingssucces het voedselaanbod voor bijv. vogels veel stabielere c.q. meer voorspelbaar is (BEUKEMA e.a., 1993).

2.3.3. Benthos- interacties tussen soorten

Een deel van de natuurlijke dynamiek van benthische populaties, zoals onder meer onderzocht tijdens de uitvoering van het COST 647 project, bleek niet uitsluitend door abiotische factoren zoals de strengheid van de winter te kunnen worden verklaard. Ook interspecifieke interacties spelen een rol. Zo bleek het patroon van dichtheidsfluctuaties van kleine wormen zoals de wapenworm (*Scoloplos armiger*) en de draadworm *Heteromastus filiformis* in sterke mate samen te hangen met de patronen van de zandzager *Nephtys hombergii* (BEUKEMA, 1987; SCHUBERT & REISE, 1986). De laatste wormensoort predeert op de eerstgenoemde twee wormensoorten, maar de dichtheidsvariaties bij de zandzager worden primair door de strengheid van de winter bepaald. Dus strenge winters leiden primair tot lagere dichtheden van de zandzager, en secundair tot hogere dichtheden van de wapenworm en de draadworm.

Als ander voorbeeld van interacties tussen bodemfaunasoorten kan worden genoemd dat op juveniele kokkels en andere schelpdieren een grote predatiedruk kan worden uitgeoefend door de strandkrab (*Carcinus maenas*) en de garnaal (*Crangon crangon*) (JENSEN & JENSEN, 1985; BEUKEMA & DEKKER, 2005). Hoge dichtheden van de kokkel en wadpier (*Arenicola marina*) hebben een negatief effect op de dichtheid van voorkomen van de slijkgarnaal (*Corophium volutator*) (JENSEN, 1985; FLACH, 1992 a, b).

Om invloeden van menselijke activiteiten op te sporen is het natuurlijk lastig dat in bepaalde jaren de dynamiek van bodemfauna populaties vooral afhankelijk is van de druk die door predatoren wordt uitgeoefend, en dus van de dichtheidsafhankelijke relatie tussen prooidiersoort en predator, terwijl in andere jaren de dynamiek vrijwel

uitsluitend door de strengheid van de winter wordt bepaald. VAN DER MEER e.a. (2000) analyseerden de rol van dichtheidsafhankelijke factoren, zoals de dichtheid van de predator *Nephtys hombergi* en van de prooi *Scoloplos armiger*, en van dichtheidsonafhankelijke factoren, zoals de strengheid van de winter, op de populatiedynamiek van de prooi *Scoloplos armiger*. Zij maakten hierbij gebruik van lineaire en niet-lineaire tijdserie modellen van 29 jaar gegevens van benthos van het Balgzand en wintercondities in de westelijke Waddenzee. Het resultaat van deze analyses was onder meer dat de dynamiek van de *Scoloplos* populatie afhankelijk was van zijn dichtheid, en tevens negatief gecorreleerd met de dichtheid van *Nephtys*. Tegelijkertijd was ook de dichtheidsdynamiek van *Nephtys* dichtheidsafhankelijk, maar in sterkere mate bepaald door de wintertemperatuur. De dynamiek van de predator *Nephtys* was niet afhankelijk van die van zijn prooi *Scoloplos*. Deze zwakke terugkoppeling wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat *Nephtys* op meerdere soorten predeert, en niet exclusief afhankelijk is van één prooidiersoort.

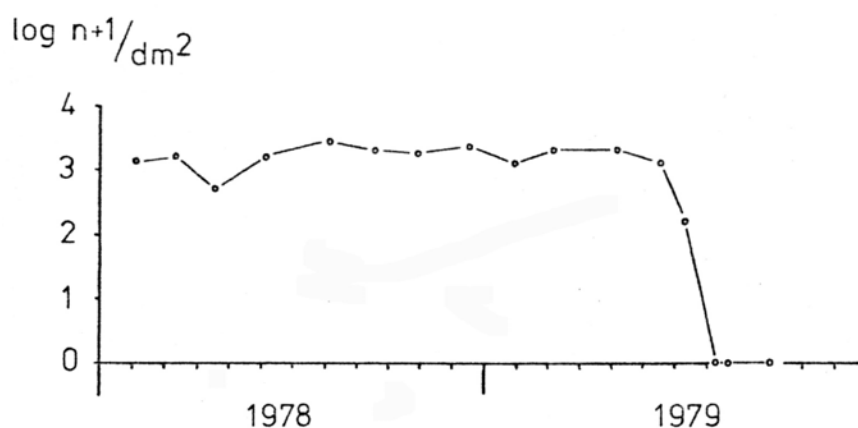
2.3.4. Benthos en sedimentdynamiek

Op de droogvallende platen in de Waddenzee wordt het voorkomen van bodemfauna niet uitsluitend bepaald door abiotische factoren als hoogteligging (bepalend voor het aantal uren overstroming per getij) en het sedimenttype (korrelgroottesamenstelling), ook al komt de hoogste biomassa grofweg voor op plaatsen met een gemiddelde hoogteligging en een gemiddeld slibgehalte van het sediment (DANKERS & BEUKEMA, 1981). In een studie in de westelijke Waddenzee kwam naar voren dat het ondiepe sublitoraal (tot ca 5 m beneden NAP) qua soortenaantal en biomassa even rijk is als de bij laagwater droogvallende platen (DEKKER, 1989). In de grote getijgeulen komt vrijwel geen bodemfauna voor (bijv. BOEDE, 1983). Dit komt omdat hier elk getij de stroomsnelheden zo hoog zijn dat de zandige geulbodem in beweging wordt gebracht. Bodemfauna soorten die een vaste levenspositie in het sediment nodig hebben kunnen zich hier niet handhaven. Een uitzondering hierop vormen echter bodemfauna soorten die biogene structuren bouwen, zoals sublittorale mosselbanken en *Sabellaria*-riffen. *Sabellaria* riffen zijn in en langs de Waddenzee uiterst zeldzaam geworden (VORBERG, 2005); een nieuwe ontwikkeling is de uitbreiding van de Japanse Oester in de Waddenzee (REISE e.a., 2005).

Er zijn evenwel geulen, of gedeelten daarvan, waar de waterbeweging gering is, en de slibrijke bodem vrij stabiel is. Hier kan het Wadslakje (*Hydrobia ulvae*), dat op de droogvallende platen alleen op beschut gelegen plekken talrijk is, in zeer grote dichtheden voorkomen. Dit was bijvoorbeeld omstreeks 1970 het geval in de relatief ondiepe geulen Vlakte van Oosterbierum (nabij Harlingen) en Bocht van Watum (nabij Delfzijl) en meer recent in Javaruggen en Scheurrak (westelijke Waddenzee (bijv. DEKKER & DE BRUIN, 2000). Toen echter in de Bocht van Watum in 1979 als gevolg van het afsluiten van de oude haveningang Delfzijl de stroomsnelheden in de geul toenamen en het slibrijke sediment van de geulbodem werd weggespoeld, verdween de lokale populatie van het wadslakje binnen enkele weken (Fig. 2.5)

Figuur 2.5

Het verdwijnen van het wadslakje (*Hydrobia ulvae*) in de Bocht van Watum na de afsluiting van de havenmond Delfzijl in december 1978. (Bron: ESSINK, 1980).



De invloed van sedimentdynamiek op het voorkomen van bodemfaunasoorten is enkele jaren onderwerp van studie geweest, zowel binnen het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (project INGE*SEBES), als in het Europese onderzoeksproject INTRMUD waaraan werd deelgenomen door de vakgroep fysische geografie van de universiteit van Utrecht, de vakgroep mariene biologie van de universiteit van Groningen, en het Centrum voor Estuarien en Marien Onderzoek (NIOO-CEMO) te Yerseke.

Centrale vraagstelling in het INGE*SEBES project was hoe in dynamische gebieden als de Waddenzee en estuaria de dynamiek van het sediment, zoals veroorzaakt door stroming en golven, een bepalende factor is voor het vestigingssucces van bodemfaunaorganismen na een kortere of langere verblijf als larve in de waterfase. Het onderzoek werd gericht op de kokkel (*Cerastoderma edule*) en het nonnetje (*Macoma balthica*), en uitgevoerd op een dynamische zandplaat in de Westerschelde (Plaats van Baarland) en in een beschut deel van de Waddenzee (Groninger Wad). Voor het meten van de sedimentdynamiek (erosie en depositie) werd gebruik gemaakt van de door RUNTE (1989) ontwikkelde tracermethode met staafjes gekleurd zand, waarvan de korrels bijeengehouden worden door wateroplosbaar polysaccharide.

Op de dynamische Plaats van Baarland was de eerste vestiging van jonge broedjes het omvangrijkst hoog in de getijdezone, daar waar de sedimentdynamiek het geringst was (BOUMA e.a., 2001a). Op meerdere plaatsen in de Waddenzee daarentegen bleek de primaire vestiging van *Macoma*-broed het grootst te zijn laag in de getijdezone (ARMONIES, 1996; ARMONIES & HELLWIG-ARMONIES, 1992; BEUKEMA, 1993; GÜNTHER, 1991), een habitat dat over het algemeen gekenmerkt wordt door een lagere hydro- en sedimentdynamiek. De beperkte waarnemingen op het Groninger wad wijzen op een geringe sedimentdynamiek (KORNMAN e.a., 2001). Door BOUMA e.a. (2001a) wordt geconcludeerd dat met name in hoog dynamische habitats, zoals de Plaats van Baarland, de hydro- en sedimentdynamiek in sterke mate bepalend zijn voor het primaire vestigingsproces van jonge tweekleppige schelpdieren. Secundair kan als gevolg van hoge sedimentdynamiek migratie van broedjes van hoge naar lage platen optreden (BOUMA

e.a., 2001b). Veldonderzoek door EMERSON & GRANT (1991) en TURNER e.a. (1997) kwam tot vergelijkbare conclusies. Dit betekent dat het in onze kustwateren en estuaria aanwezig zijn van gebieden met lage dynamiek van water en sediment een belangrijke voorwaarde is voor vestiging van de jongste stadia van schelpdieren.

WINKELMOLEN & VEENSTRA (1980) beschrijven de effecten van een zware storm (tot 12 Beaufort). In de ondiepe (tot 20 m diep) kustzone buiten Ameland-Schiermonnikoog werd zowel toename als afname van de korrelgrootte waargenomen. Depositie van fijn materiaal in de kustzone is het resultaat van erosief transport vanaf de platen in de Waddenzee. Voor omwoelen van de bodem van zandige platen in de Waddenzee onder stormomstandigheden zijn niet alleen kokkels gevoelig (LEENKNEGT, 1972). Stormeffecten zijn ook waarneembaar als tijdelijke afname van de dichtheid van andere soorten, zowel op de droogvallende wadplaten als in de kustzone (DÖRJES e.a., 1986). Een zware storm kan gemakkelijk grote aantallen, vooral kleinere, bodemfauna organismen uitspoelen en in de waterkolom brengen, waardoor deze over grote afstanden getransporteerd kunnen worden (DOBBS & VOZARIK, 1983). Aan de andere kant kunnen bodemfaunaorganismen zelf ook bijdragen - middels bioturbatie - aan destabilisatie van de sedimenten waarin zij leven (DE DECKERE e.a., 2001). Begrazing door wadslakjes (*Hydrobia ulvae*) van sediment stabiliserende diatomeeën films bevordert ook de erodeerbaarheid van sedimenten (ANDERSEN e.a., 2002).

2.4 Menselijke activiteiten

De bovenstaande paragrafen (2.3.2 – 2.3.4) over de wederzijdse beïnvloeding door bodemfaunasoorten zelf, en over de invloed van abiotische omstandigheden illustreren dat het heel wat voeten in de aarde kan hebben voordat een goed beeld is verkregen van de natuurlijke dynamiek in bodemfauna populaties. Dat maakt het er niet makkelijker op uitsluitsel te geven over welk deel van fluctuatie patronen in dichtheid, biomassa en samenstelling van bodemfauna nu echt het gevolg is van beïnvloeding van het ecosysteem door menselijke activiteiten. Die menselijke beïnvloeding wordt hieronder kort ingeleid; enkele van deze beïnvloedingen worden in de volgende hoofdstukken verder uitgewerkt.

2.4.1. Verontreiniging

Afvalwaterlozingen hebben zeer uiteenlopende effecten. Lozingen van biologisch afbreekbaar organisch materiaal kunnen zuurstofgebrek in het water veroorzaken, en daardoor sterfte onder bodemdieren en vissen. (zie hoofdstuk 5)

Lozing van voedingsstoffen, zoals fosfaten en nitraten, kan enerzijds leiden tot verhoging van de productiviteit van het ecosysteem, maar anderzijds ook ongewenste effecten hebben als door eutrofiering planktonbloei optreedt, soms van giftige soorten, en secundair zuurstofgebrek.

Van een andere aard zijn de effecten van zeer uiteenlopende verbindingen, met elk hun specifieke toxiciteit en effect op de

levensfuncties van organismen. Het meest zorgen baren de moeilijk afbreekbare (persistente) verbindingen, waarbij accumulatie in de voedselketen optreedt, en nieuwe groepen van verbindingen met een hormoonontregelende werking (zie BAKKER e.a, 2005) .

2.4.2. Zandwinning

Bij zandwinning wordt door steek- of sleepopperzuigers zand verwijderd uit de zeebodem. Hierbij wordt ook de bodemfauna opgezogen. Aangenomen wordt dat slechts een klein deel hiervan kan overleven, namelijk die dieren die met de zg. 'overflow' weer terug kunnen keren naar de zeebodem. Zand wordt gewonnen in meer of minder diepe zandwinputten, of als het ware van de zeebodem geschraapt in wingebeden van grotere oppervlakte.

Verwacht kan worden dat er grote directe schade aan de bodemfauna wordt aangericht: grotendeels verdwijnen van aantallen en biomassa. Herstel moet dan komen vanuit de omgeving waar de bodem niet is verstoord, hetzij via migratie, hetzij via vestiging van jonge dieren in het eerstvolgende voortplantingsseizoen. Voor herstel van populaties van langlevende soorten zullen derhalve meerdere jaren (eigenlijk: voortplantingsseizoenen) nodig zijn. Dat herstel zal ook afhankelijk zijn van het herstel van de sedimenteigenschappen van de zeebodem op de zandwinlocatie. (zie hoofdstuk 7)

2.4.3. Baggeren en storten van baggerspecie

Ten behoeve van de scheepvaart vindt regelmatig gebaggerd. Voor zover dit zg. onderhoudsbaggerwerk in de getijgeulen plaats vindt is het effect ervan op de bodemfauna te vergelijken met dat van zandwinning: een oppervlaktelaag sediment met de daarin levende bodemdieren wordt verwijderd.

Onderhoudsbaggerwerk in havens heeft vooral effect daar waar de baggerspecie wordt gestort. Dat is meestal in geulen op enige afstand van de desbetreffende haven. Bodemdieren hebben vooral te maken met twee soorten effecten. Het eerste is de fysieke bedekking met de gestorte baggerspecie: de dieren raken begraven en sterven, tenzij ze in staat zijn zich onder die hoop bagger uit te werken. Het tweede effect is de beïnvloeding van de het voedselopnameproces van filtrerende schelpdieren als gevolg van de door het storten toegenomen zwevende stof concentraties.

Op stortlocaties die periodiek gebruikt worden is de vraag relevant hoe lang het duurt voordat na een stort de bodemfauna zich weer heeft hersteld. Voor bestanden van belangrijke schelpdiersoorten als kokkel en mossel is het van belang in hoeverre door de gestorte baggerspecie de groei van deze dieren wordt geremd, en er mogelijk zelfs sterfte optreedt. (zie hoofdstuk 6)

2.4.4. Zandsuppleties

Bij zandsuppleties om de kust te beschermen tegen erosie wordt in de vooroever een depot zand neergelegd, dat zich vervolgens via natuurlijke transportprocessen zal verspreiden. Net als het geval is bij het storten van baggerspecie raakt ook bij deze activiteit de bodemfauna van de vooroever bedekt door een dikke laag sediment. Met volledig herstel van de bodemfauna na afronding van de suppletie

zal een aantal jaren gemoeid zijn. Overwinterende duikeenden (eidereend, zwarte zeeëend) lopen risico als door kustsuppleties belangrijke *Spisula*-banken tijdelijk verloren zouden gaan (zie hoofdstuk 8)

2.4.5. Schelpenwinning

Hier worden deels schelpenvoorkomens aangeboord, die op enige diepte onder de zeebodem liggen, en deels schelpenvoorkomens die op bepaalde locaties op de geulbodem liggen nadat ze daar door de stromingen terecht zijn gekomen. Winning geschiedt meestal door middel van steekzuigers en betreft schelpen van dieren die korter of langer geleden dood zijn gegaan.

Levende bodemfauna komt alleen voor op schelpenbanken op geulbodems mits deze er lang genoeg ongestoord liggen om een gemeenschap van aangroeiorganismen (o.a. poliepen, mossels, zeeanemonen) tot ontwikkeling te laten komen.

Een andere vraag is of er sprake is van duurzame winning, met andere woorden of de winning in evenwicht is met de natuurlijke schelpkalkproductie door de schelpdieren (voornamelijk kokkels) van de Waddenzee en kustzone. (zie hoofdstuk 7)

2.4.6. Boomkorvisserij op platvis

In de boomkorvisserij wordt voornamelijk gevestigd op platvissen, zoals schol, schar en tong. Deze platvissoorten leven vlak op de bodem, en kunnen zich ook in de bodem ingraven. Om deze dieren te kunnen vangen worden aan de voorzijde van het boomkornet kettingen (de zog. wekkers) of zelfs kettingmatten gemonteerd. Deze worden door de zeebodem getrokken teneinde de platvis op te jagen zodat deze in het boomkornet gevangen wordt. Boomkorvisserij wordt voornamelijk op de Noordzee bedreven. Naar de effecten daarvan op onder meer de bodemfauna is een aantal jaren terug een uitgebreid onderzoek ingesteld (LINDEBOOM & DE GROOT, 1998). Het directe effect is sterfte van 10 – 80% onder de bodemfauna organismen in het “pad” van de boomkor, een en ander afhankelijk van de verschillende mate van kwetsbaarheid van soorten. Hiervan profiteren de aaseters (“scavengers”) die op de zeebodem leven. Als lange-termijn effect is een afname van tweekleppige schelpdieren en een toename van aaseters en predatoren geconstateerd.

2.4.7. Boomkorvisserij op garnalen

In de Nederlandse Waddenzee werd en wordt voornamelijk op garnalen gevestigd met behulp van boomkornetten waarvan de onderpees is voorzien van houten of rubberen rollers. Anders dan bij de boomkornetten voor de platvis visserij wordt de onderkant van het garnalennet niet door de bodem getrokken; de rollenpees rolt of hobbelt over de bodem. Dit is voldoende om de garnalen die op en in de bodem zitten te kunnen opjagen en vangen.

Onderzoekingen die in de 1980er jaren en eerder in de Duitse Waddenzee werden uitgevoerd constateerden onder andere een verarming van vooral de biogene structuren in de geulen: oester- en mosselbanken, *Sabellaria* riffen. Het verdwijnen van deze structuren, en van de daarmee geassocieerde planten- en diersoorten, wordt wel

toegeschreven aan de toegenomen intensiteit van de garnalenvisserij (REISE e.a., 1989; RIESEN & REISE, 1982).

Omtrent het mogelijke effect van garnalenvisserij op de bodemfauna van de Nederlandse Waddenzee is geen gericht onderzoek gedaan. In de oostelijke Nederlandse Waddenzee zal een deel gesloten worden voor schelpenwinning en alle bodemberoerende visserij (LNV, 2004). Door vergelijkend onderzoek van beviste en niet beviste geulen wil men nadere informatie inwinnen met betrekking tot het mogelijke effect van garnalenvisserij op de bodemfauna van geulen.

2.4.8. Schelpdiervisserij

In de Nederlandse Waddenzee worden mossels gekweekt. Jonge mossels, het zg. zaad, worden daarvoor opgevist en uitgezaaid op kweekpercelen. De mechanische kokkelvisserij, waarbij kokkels met een waterstraal uit de bodem worden gespoten en aan boord van het vissersvaartuig worden gezogen, is met ingang van 1 januari 2005 niet meer toegestaan. Er mag alleen nog handmatige kokkelvisserij worden uitgevoerd.

De effecten van de mosselzaadvisserij en de mechanische kokkelvisserij zijn in de afgelopen jaren in opdracht van het Ministerie voor Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit intensief onderzocht in het Evaluatieonderzoek Schelpdiervisserij. Het eindrapport van deze studie is in 2004 verschenen (ENS e.a., 2004).

2.5 Discussie en Conclusies

Het wel en wee van bodemdieren in kustwateren zoals de Waddenzee wordt in sterke mate bepaald door de dynamiek van de natuurlijke omstandigheden. Dit betreft dynamiek op korte tijdschaal, zoals getijstromen die van belang zijn voor transport van larven, en stormen, waardoor soms zoveel sediment wordt omgewoeld dat daarin levende dieren uitgespoeld raken. Daarnaast is er dynamiek op langere termijn, waarbij de strengheid van de winter een belangrijke rol speelt. Strengere winters veroorzaken enerzijds sterfte onder koude gevoelige soorten zoals de kokkel en de zandzager, maar dragen anderzijds bij aan voortplantingssucces van tweekleppige schelpdieren. Deze laatste groep heeft het met name moeilijk in zachte winters. Dan kan door het relatief hoge metabolisme zonder dat er voedselopname is weinig energie in voortplanting worden geïnvesteerd, en de postlarven hebben ook nog eens te lijden van epibenthische predatoren zoals de garnaal, die dan vroeger dan gewoonlijk na de winter weer de Waddenzee binnenkomt. In de toekomst, met een verwacht frequenter voorkomen van zachte winters ten gevolge van "global warming" is er dan ook het perspectief dat het met de schelpdieren in de Waddenzee slechter zal gaan. Een breder overzicht van de effecten van klimaatsverandering wordt gegeven door OOST e.a.(2005).

Ondanks de grote natuurlijke dynamiek in kustsystemen zoals de Waddenzee is de invloed van diverse menselijke activiteiten goed waarneembaar. Traditioneel uitgevoerde monitor programma's hebben veel van deze beïnvloeding kunnen documenteren (bijv. DE JONGE e.a., 1993). Voor andere beïnvloedingen was gericht onderzoek noodzakelijk voordat inzicht werd verkregen in de aard en mate van beïnvloeding,

zoals bijvoorbeeld ten aanzien van zandwinning en schelpdiervisserij. In deze beide gevallen was een ingrijpende wijziging van het beleid het gevolg.

Op het belang van het kunnen beschikken over goede monitor gegevens voor de beoordeling van de (natuurlijke) toestand van kustsystemen en het signaleren van veranderingen daarin wordt nader ingegaan in de hoofdstukken 3 (de beleidscyclus) en 4 (het monitoren van benthos).

2.6 Literatuur

Andersen, T.J., K.T. Jensen, L. Lund-Hansen, K.N. Mouritzen & M. Pejrup, M., 2002 - Enhanced erodibility of fine-grained marine sediments by *Hydrobia ulvae*. J. Sea Res. 48: 51-58.

Armonies, W., 1994 - Drifting meio- and macrobenthic invertebrates on tidal flats in Königshafen: a review. Helgol. Meeresunters. 48: 299-320.

Armonies, W., 1996 - Changes in distribution patterns of 0-group bivalves in the Wadden Sea: byssus-drifting releases juveniles from the constraints of hydrography. J. Sea Res. 35: 323-334.

Armonies, W. & M. Hellwig-Armonies, 1992 - Passive settlement of *Macoma balthica* spat on tidal flats of the Wadden Sea and subsequent migration of juveniles. Neth. J. Sea Res. 29: 371-378.

Bachelet, G., 1986 - Recruitment and year-to-year variability in a population of *Macoma balthica* (L.). Hydrobiologia 142: 233-248.

Bachelet, G., J. Castel, J.-C. Dauvin, F. Ibanez & P. Nival (Eds.), 1997 - Long-term changes in marine ecosystems : methods of analysis, case studies and between- site comparisons. Oceanologia Acta 20: 1-318.

Bakker, J.F., M. van den Heuvel-Greve & D. Vethaak, 2005 - Newly emerging xenobiotics . New developments. In: Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystem No. 19-2005, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven: 129-140.

Beukema, J.J., 1972 - De speciale betekenis van hoog en beschut gelegen wad. Waddenbulletin 7(4): 25-27.

Beukema, J.J., 1973 - Migration and secondary spatfall of *Macoma balthica* (L.) in the western part of the Wadden Sea. Neth. J. Zool. 23: 356-357.

Beukema, J.J., 1975 - Bodemfauna. In: Noord-Friesland buitendijks, Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee, Harlingen: 29-35.

Beukema, J.J., 1982 - Annual variation in reproductive success and biomass of the major macrozoobenthic species living in a tidal flat area of the Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 16: 37-45.

Beukema, J.J., 1984 - Zoobenthos survival during severe winters at high and low tidal flats in the Dutch Wadden Sea. In: J.S. Gray & M.E. Christiansen (Eds.), Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. J. Wiley, Chichester: 351-361.

Beukema, J.J., 1987 - Influence of the predatory polychaete *Nephtys hombergii* on the abundance of other polychaetes. Mar. Ecol. Progr. Ser. 40: 95-101.

-
- Beukema, J.J., 1993** - Successive changes in distribution patterns as an adaptive strategy in the bivalve *Macoma balthica* (L.) in the Wadden Sea. Helgol. Meeresunters. 47: 287-304.
- Beukema, J.J. & G.C. Cadée, 1986** - Zoobenthos responses to eutrophication of the Dutch Wadden Sea. Ophelia 26: 55-64.
- Beukema, J.J. & K. Essink, 1986** - Common patterns in the fluctuations of macrozoobenthic species living at different places on tidal flats in the Wadden Sea. Hydrobiologia 142: 199-207.
- Beukema, J.J. & G.C. Cadée, 1987** - Local differences in macrozoobenthic response to enhanced food supply caused by mild eutrophication in a Wadden Sea area: food is only locally a limiting factor. Limnol. & Oceanogr.: 1424-1435.
- Beukema, J.J., J. Dörjes & K. Essink, 1988** - Latitudinal differences in survival during a severe winter in macrozoobenthic species sensitive to low temperatures. Senckenbergiana marit. 20: 19-30.
- Beukema, J.J. & J. de Vlas, 1989** - Tidal-current transport of thread-drifting postlarval juveniles of the bivalve *Macoma balthica* from the Wadden Sea to the North Sea. Mar. Ecol. Progr. Ser. 52: 193-200.
- Beukema, J.J., K. Essink, H. Michaelis & L. Zwarts, 1993** - Year-to-year variability in the biomass of macrozoobenthic animals on tidal flats of the Wadden Sea: how predictable is this food source for birds? Neth. J. Sea Res. 31: 319-330.
- Beukema, J.J., R. Dekker, K. Essink & H. Michaelis, 2001** - Synchrony of reproductive success of the main bivalve species in the Wadden Sea: causes and consequences. Mar. Ecol. Progr. Ser. 211: 143-155.
- Beukema, J.J., G.C. Cadée & R. Dekker, 2002** - Zoobenthic biomass limited by phytoplankton abundance: evidence from parallel changes in two long-term data series in the Wadden Sea. J. Sea Res. 48:111-125.
- Beukema, J.J. & R. Dekker, 2005** - Decline of recruitment success in cockles and other bivalves in the Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. Mar. Ecol. Progr. Ser. 287: 149-167.
- BOEDE, 1983** - Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium. Overzicht van het oecosysteem onderzoek, zoals verricht tussen 1973 en 1982, in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, het Ministerie van Landbouw en Visserij. BOEDE Publ. En Versl. 1983-1
- Bonsdorff, E., E.M. Blomqvist, J. Mattila & A. Norkko, 1997** - Long-term changes and coastal eutrophication. Examples from the Åland Island and the Archipelago Sea, northern Baltic Sea. In: Bachelet, G., J. Castel, J-C. Dauvin, F. Ibanez & P. Nival (Eds.), Long-term changes in marine ecosystems: methods of analysis, case studies and between- site comparisons. Oceanologia Acta 20: 319-329.
- Bouma, H., J.M.C. Duiker, P.P. de Vries, P.M.J. Herman & W.J. Wolff, 1991a** - Spatial pattern of early recruitment of *Macoma balthica* (L.) and *Cerastoderma edule* (L.) in relation to sediment dynamics on a highly dynamic intertidal sandflat. J. Sea Res. 45: 79-93.
- Bouma, H., P.P. de Vries, J.M.C. Duiker, P.M.J. Herman & W.J. Wolff, 1991b** - Migration of the bivalve *Macoma balthica* (L.) and
-

Cerastoderma edule (L.) on a highly dynamic intertidal sandflat in the Westerschelde estuary. Mar. Ecol. Progr. Ser. 224 : 157-170.

Dankers, N. & J.J. Beukema, 1981 - Distributional patterns of macrozoobenthic species in relation to some environmental factors. In: N. Dankers, H. Kühl & W.J. Wolff (Eds.), Invertebrates of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam: 69-103.

Dankers, N. & M.A. Binsbergen, 1984 - Zeeduizendpoten (*Nereis diversicolor*) trekken ook. De Levende Natuur 84(1): 14-15.

Deckere, E.M.G.T. de, T.J. Tolhurst & J.F.C. de Brouwer, 2001. Destabilisation of cohesive sediments by infauna. Est. Coast. Shelf Sci. 56: 665-669.

Dekker, R., 1989 - The macrozoobenthos of the subtidal western Dutch Wadden Sea. I. Biomass and species richness. Neth. J. Sea Res. 23: 57-68.

Dekker, R. & W. de Bruin, 2000 - Het macrozoobenthos op twaalf raaian in de Waddenzee en de Eems-Dollard in 1999. Ned. Inst. voor Onderzoek der Zee, Texel. NIOZ-rapport 2000-8.

Desprez, M., G. Bachelet, J.J. Beukema, J-P. Ducrotoy, K. Essink, J. Marchand, H. Michaelis, B. Robineau & J.G. Wilson, 1991 - Dynamique des populations de *Macoma balthica* (L.) dans les estuaires du Nord-Ouest de l'Europe: Première synthèse. In: M. Elliott & J-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and coasts: spatial and temporal intercomparisons. Olsen & Olsen, Fredensborg: 159-166.

Dobbs F.C. & J.M. Vozarik, 1983 - Immediate effects of a storm on coastal infauna. Mar. Ecol. Progr. Ser. 11: 273-279.

Dörjes, J., H. Michaelis & B. Rhode, 1986 - Long-term studies of macrozoobenthos in intertidal and shallow subtidal habitats near the island of Norderney (East Frisian coast, Germany). Hydrobiologia 142: 217-232.

Ducrotoy, J-P., H. Rybarczyk, J. Souprayen, G. Bachelet, J.J. Beukema, M. Desprez, J. Dörjes, K. Essink, J. Guillou, H. Michaelis, B. Sylvand, J. Wilson, B. Elkaïm & F. Ibanez, 1991 - A comparison of the population dynamics of the cockle (*Cerastoderma edule*, L.) in North-Western Europe. In: M. Elliott & J-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and coasts: spatial and temporal intercomparisons. Olsen & Olsen, Fredensborg: 173-184.

Elliott, M. & J-P. Ducrotoy (Eds.), 1991 - Estuaries and coasts: spatial and temporal intercomparisons. Proceed. ECSA 19 Symposium, Univ. Caen, France, Sept. 1989. Olsen & Olsen, Fredensborg. 390 pp.

Emerson, C.W. & J. Grant, 1991 - The control of soft-shell clam (*Mya arenaria*) recruitment on intertidal sandflats by bedload sediment transport. Limnol. & Oceanogr. 36: 1288-1300.

Ens, B.J., A.C. Smaal & J. de Vlas, 2004. The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde; Final report on the second phase of the scientific evaluation of the Dutch shellfish fishery policy (EVA II). Alterra-report 1011. Alterra, Wageningen.

Essink, K., 1980 - De invloed van de afsluiting van de havenmond Delfzijl op het voorkomen van het wadslakje (*Hydrobia ulvae*) in de Bocht van Watum - Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Sappemeer. Rapport BI-MV 80-07.

-
- Essink, K., 1991** - Commission of the European Communities, The COST 647 project on Coastal Benthic Ecology, Report of the Workshop Intertidal Sediment Programme, Haren (The Netherlands), August 30-31, 1990. In: B.F. Keegan (ed.), COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13984 EN: 217-308.
- Essink, K. & J.J. Beukema, 1986** - Long-term changes in intertidal flat macrozoobenthos as an indicator of stress by organic pollution. *Hydrobiologia* 142: 209-215.
- Essink, K. & H.L. Kleef, 1986** – Bezinkvelden in de Waddenzee. Een kinderkamer voor macroscopische fauna? – Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Rapport GWAO-86.158
- Essink, K., H.L. Kleef & J. Coosen, 1986** – Verslag COST-647 workshop “Intertidal soft sediments”, St. Valéry-sur-Somme (Frankrijk), 7-10 december 1986 – Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Rapport GWAO-86.954
- Essink, K., H.L. Kleef & W. Visser, 1989** - On the pelagic occurrence and dispersal of the benthic amphipod *Corophium volutator*. *J. mar. Biol. Assoc. UK* 69: 11-15
- Essink, K. & J.J. Beukema, 1991** - Long-term changes in intertidal and shallow-subtidal sedimentary zoobenthos. Review of work carried out within the framework of COST 647. In: B.F. Keegan (ed.), Space and time series data analysis in coastal benthic ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 project on coastal benthic ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13978 EN: 43-64.
- Essink, K., J.J. Beukema, J. Coosen, J.A. Craeymeersch, J-P. Ducrotoy, H. Michaelis & B. Robineau, 1991** - Population dynamics of the bivalve *Scrobicularia plana* da Costa : comparisons in time and space. In: M. Elliott & J-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and coasts: spatial and temporal intercomparisons. Olsen & Olsen, Fredensborg: 167-172.
- Essink, K. & H.L. Kleef, 1993** - Distribution and life cycle of the North American spionid polychaete *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873) in the Ems Estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: 237-246
- Flach, E.C., 1992a** – The influence of four macrozoobenthic species on the abundance of the amphipod *Corophium volutator* on tidal flats of the Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 29: 379-394.
- Flach, E.C., 1992b** - Disturbance of benthic infauna by sediment-reworking activities of the lugworm *Arenicola marina*. *Neth. J. Sea Res.* 30: 81-89.
- Günther, C-P., 1991** - Settlement of *Macoma balthica* on an intertidal sandflat in the Wadden Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 76: 73-79.
- Heip, C., B.F. Keegan & J.R. Lewis (Eds.), 1986** - Long-term changes in coastal benthic communities. Proceedings of a symposium, held in Brussels, Belgium, December 9-12, 1985. *Hydrobiologia* 142: 1-340.
- Herman P.M.J. & C. Heip (Eds.), 1991** - Commission of the European Communities, The COST 647 project on Coastal Benthic Ecology, Report of the Workshop Modelling the Benthos, Yerseke (The Netherlands), March 20-22, 1991. In: B.F. Keegan (ed.), COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991. Commission of
-

the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13984 EN: 1-215.

Hiddink, J.G., 2002 - The adaptive value of migrations for the bivalve *Macoma balthica*. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen, 8 november 2002. 172 pp.

Ibanez, F., 1991 - Treatment of the data deriving from the COST 647 project on Coastal Benthic Ecology: the within-site analysis. In: B.F. Keegan (ed.), Space and time series data analysis in coastal benthic ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 project on coastal benthic ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13978 EN: 5-41.

Jensen, K.T., 1985 - The presence of the bivalve *Cerastoderma edule* affects migration, survival and reproduction of the amphipod *Corophium volutator*. Mar. Ecol. Progr. Ser. 25: 269-277.

Jensen, K.T. & J.N. Jensen, 1985 - The importance of some epibenthic predators on the density of juvenile benthic macrofauna in the Danish Wadden Sea. J. exp. Mar. Biol. Ecol. 89: 157-174.

Jonge, V.N. de & K. Essink, 1991 - Long-term changes in nutrient loads and primary and secondary producers in the Dutch Wadden Sea. In: M. Elliott & J-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and coasts: spatial and temporal intercomparisons. Olsen & Olsen, Fredensborg: 307-316.

Jonge, V.N. de, K. Essink & R. Boddeke, 1993 - The Wadden Sea, a changed ecosystem. In: E.P.H. Best & J.P. Bakker (Eds.), Netherlands-Wetland. Hydrobiologia 265: 45-71.

Jonge, V.N. de & W. van Raaphorst, 1995 - Eutrophication of the Dutch Wadden Sea (western Europe), an estuarine area controlled by the river Rhine. In: A.J. McComb (Ed.), Eutrophic shallow estuaries and lagoons. CRC Press, Boca Raton, USA: 129-149.

Keegan, B., 1986 - The COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology – a perspective. In: C. Heip, B.F. Keegan & J.R. Lewis (Eds.), Long-term changes in coastal benthic communities. Proceedings of a symposium, held in Brussels, Belgium, December 9-12, 1985. Hydrobiologia 142: ix-xii.

Keegan, B.F. (Ed.), 1991 - Space and time series data analysis in coastal benthic ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 project on coastal benthic ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13978 EN, 580 pp.

Kornman, B., P. Kamermans & P. Tydeman, 2001 - De handel en wandel van Kokkel en Nonnetje in hun eerste levensjaar. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rapport RIKZ/2001.036.

Leenknecht, M.R., 1972 - De invloed van het lozen van industrieel afvalwater op het migratiepatroon van *Cardium edule* L.. Rijksuniversiteit Groningen, Zoölogisch Laboratorium, Doctoraal verslag.

Lindeboom, H.J. & S.J. de Groot (Eds.), 1998 - IMPACT II. The effects of different types of fisheries on the North Sea and Irish Sea benthic ecosystems. Neth. Inst. for Sea Research, Texel, NIOZ-Rapport 1998-1 / Neth. Inst. for Fisheries Research, IJmuiden, RIVO-DLO Report C003/98.

-
- LNV, 2004.** Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005 – 2020. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- Madsen, P.B., 1984** - The dynamics of the dominating macrozoobenthos in the Danish Wadden Sea 1980-1983. Report of the Danish COST 647 project for the first stage. Rep. Mar. Pollut. Lab., Charlottenlund 7: 1-35.
- Oost, A., G. Becker, J. Fenger, J. Hofstede & R. Weise** – Climate. In: Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystem No. 19, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven: 75-82.
- Meer, J. van der, J.J. Beukema & R. Dekker, 2000** - Population dynamics of two marine polychaetes: the relative role of density dependence, predation, and winter conditions. ICES J. mar. Sci. 57 : 1488-1494.
- Reise, K., E. Herre & M. Sturm, 1989** - Historical changes in the benthos of the Wadden Sea around the island of Sylt in the North Sea. Helgol. Meeresunters. 43: 417-433.
- Reise, K., N. Dankers & K. Essink, 2005** – Introduced species. In: Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystem No. 19, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven: 155-161.
- Riesen, W. & K. Reise, 1982** - Macrobenthos of the subtidal Wadden Sea: revisited after 55 years. Helgol. Meeresunters. 35: 409-423.
- Runte, K.H., 1989** - Methodische Verfahren zur Quantifizierung von Umlagerungen in intertidalen Sedimenten. Meyniana 41: 153-165.
- Schubert, A. & K. Reise, 1986** - Predatory effects of *Nephtys hombergii* on other polychaetes in tidal flat sediments. Mar. Ecol. Progr. Ser. 34: 117-122.
- Sörlin, T., 1988** - Floating behaviour of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.). Oecologia 77: 273-277.
- Souprayen, J., K. Essink, F. Ibanez, J.J. Beukema, H. Michaelis, J.P. Ducrotoy, M. Desprez & D.S. McLusky, 1991** - Numerical analysis of long-term trends of west-European intertidal sedimentary macrozoobenthic communities. In: B.F. Keegan (ed.), Space and time series data analysis in coastal benthic ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 project on coastal benthic ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13978 EN: 66-236.
- Strasser, M., R. Dekker, K. Essink, C-P. Günther, S. Jaklin, I. Kröncke, P.B. Madsen, H. Michaelis & G. Vedel, 2002** - How predictable is high bivalve recruitment in the Wadden Sea after a severe winter? J. Sea Res. 314: 1-11.
- Turner, S.J., J. Grant, R.D. Pridmore, J.E. Hewitt, M.R. Wilkinson, T.M. Hume & D.J. Morrissey, 1997** - Bedload and water-column transport and colonization processes by post-settlement benthic macrofauna: does infaunal density matter? J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 216: 51-75.
- Vorberg, R., 2002** – *Sabellaria* reefs. In: Wadden Sea Quality Status report 2004. Wadden Sea Ecosystem No. 19, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven: 208-210.

-
- Veer, H.W. van der, M.J.N. Bergman & J.J. Beukema, 1985** - Dredging activities in the Dutch Wadden Sea: effects on macrobenthic infauna. *Neth. J. Sea Res.* 19: 183-190.
- Winkelmolen, A.M. & H.J. Veenstra, 1980** - The effect of a storm surge on near-shore sediments in the Ameland-Schiermonnikoog area (N. Netherlands). *Geologie en Mijnbouw* 59: 97-111.
- Zeiss, B. & I. Kröncke, 1997** - Long-term macrofaunal studies in a subtidal habitat off Norderney (East Frisia, Germany) from 1978 to 1994. I. The late winter samples. In: Bachelet, G., J. Castel, J-C. Dauvin, F. Ibanez & P. Nival (Eds.), *Long-term changes in marine ecosystems : methods of analysis, case studies and between-site comparisons*, *Oceanologia Acta* 20: 311-318.



Sporen van kokkelvisserij op het wad (Foto: Jaap de Vlas)

"Scientists don' t make management decisions"
(and why we wish that sometimes we did ...)

C.F. D' Elia & J.G. Sanders
Marine Pollution Bulletin 18 (1987) : 429-434

3. De Beleidscyclus

.....

3.1 Inleiding

In hoofdstuk 1.3 is reeds kort aangestipt dat benthos een aandachtspunt is van het beleid, zowel nationaal als internationaal. Daarmee samenhangend is benthos een erkend onderdeel van monitor programma's zoals het MWTL van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (zie HEINIS e.a., 1995) en het Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP) (TMAP, 2000). Monitoring en ook onderzoek aan benthos spelen beide een rol in de zg. beleidscyclus. Hierop wordt in de volgende paragrafen nader ingegaan, waarbij toelichting vooral ontleend wordt aan het trilaterale beleid met betrekking tot de bescherming van de Waddenzee.

3.2 De beleidscyclus

De beleidscyclus is een politiek proces. In elke beleidsbeslissing worden doelen gesteld die de betrokken beleidsmakers zich stellen te halen. Om na te gaan of die doelen ook werkelijk gehaald worden is een periodieke evaluatie noodzakelijk van de voortgang en het succes van de implementatie van die beleidsbeslissingen. Zo'n evaluatie dient te geschieden op basis van een toegesneden monitorprogramma. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de effectiviteit van de beleidsbeslissingen en de daarbij horende beheersmaatregelen. Indien nodig kan dan worden bijgestuurd. Monitoring en evaluatie spelen een belangrijke rol in de beleidscyclus zoals deze beschreven is door bijv. WINSEMIUS (1986). Globaal gesproken kunnen in de beleidscyclus de volgende fases worden onderscheiden: 1) probleem identificatie en acceptatie, 2) beleidsformulering, 3) beleidsimplementatie, 4) beheer, en 5) evaluatie (Figuur 3.1).

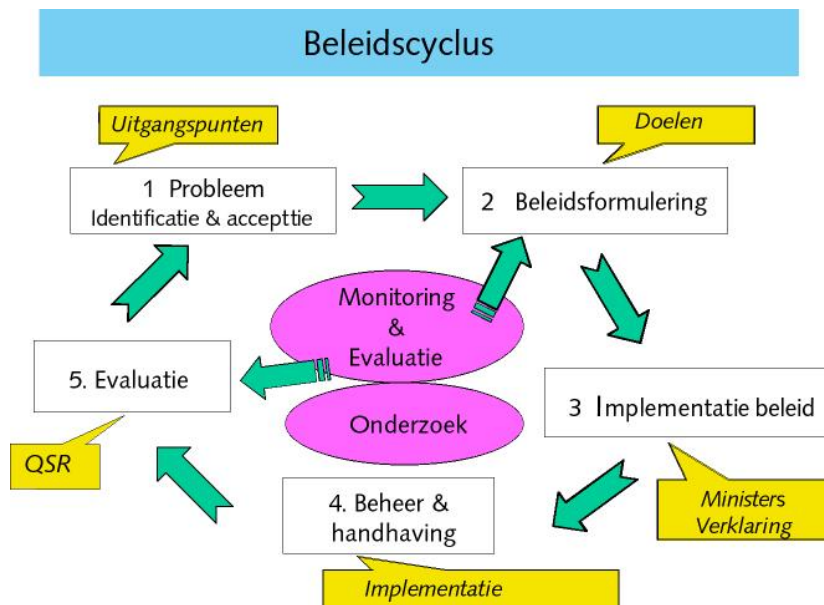
3.2.1. Probleem identificatie en acceptatie

De eerste fase van een beleidscyclus begint gewoonlijk met een analyse van ontwikkelingen en trends die van invloed kunnen zijn op het onderwerp van het desbetreffende beleid, bijvoorbeeld het beheer van de Waddenzee. Signalen over ontwikkelingen en trends (Bijvoorbeeld: "gaat het goed of slecht met de Waddenzee?") kunnen afkomstig zijn uit de bevolking, uit monitor programma's en uit onderzoek. Met betrekking tot de internationale Waddenzee is door de betrokken landen Denemarken, Duitsland en Nederland een gemeenschappelijke probleemerkenning gestalte gegeven in de formulering van een aantal zg. "issues of concern", op basis waarvan voor het trilaterale Waddenzeebeleid een gemeenschappelijk uitgangspunt werd vastgesteld: "to achieve, as far as possible, a natural

and sustainable ecosystem in which natural processes proceed in an undisturbed way" (ESBJERG DECLARATION 1991, § 1).

Figuur 3.1

De "Beleidscyclus" met de rol van monitoren en evaluatie en van onderzoek in het raamwerk van de trilaterale Waddenzee samenwerking.



3.2.2. Formuleren van beleid

Nadat men in de politieke arena overeenstemming heeft bereikt over wat nu de problemen zijn waaraan wat gedaan moet worden, dienen ideeën ontwikkeld te worden over de mogelijke oplossingsrichtingen voor die problemen. Essentieel daarbij is om goed te formuleren wat het doel is dat zal worden nagestreefd, en binnen welk tijdsbestek dat zal moeten worden verwezenlijkt. Meestal wordt door de meest betrokken ministeries een beleidsvoornemen opgesteld, dat uiteindelijk leidt tot een besluit van het parlement.

In het geval van de Waddenzee samenwerking is het vigerend trilaterale beleid en de gestelde doelen, de zg. "Targets", vastgelegd in het Wadden Sea Plan (WSP, 1997), waarover overeenstemming werd bereikt op de Achtste Trilaterale Regeringsconferentie over de Bescherming van de Waddenzee in Stade, Duitsland, 1997.

3.2.3. Implementatie van beleid

De implementatie van eenmaal vastgesteld beleid is gewoonlijk een coproductie van centrale en decentrale overheden. Veelal worden daartoe beheersplannen opgesteld waarin meer in detail wordt uitgewerkt hoe men zich voorneemt de vastgestelde beleidsdoelen te gaan verwezenlijken. Een voorbeeld hiervan is het Beheersplan Waddenzee 1996-2001 (RIJKSWATERSTAAT 1996). Voor de trilaterale Waddenzee worden de prioriteiten voor de beleidsimplementatie periodiek vastgelegd in "Ministers Verklaringen". Zo bevat de Esbjerg Verklaring van 2001 een lijst van afgesproken acties en prioriteiten voor de trilaterale samenwerking in de periode 2002-2005. De acties en prioriteiten voor de periode 2006-2009 worden vermeld in de SCHIERMONNIKOOG VERKLARING (2005).

3.2.4. Beheer

De feitelijke implementatie van vastgesteld beleid is meestal de taak van een grote diversiteit aan beheersinstanties, die vaak ook verantwoordelijk zijn voor de handhaving van de relevante wetten en regels. Beheer wordt vaak nogal sectoraal benaderd, hoewel ook samenwerkingsverbanden bestaan, bijvoorbeeld in de Nederlandse Waddenzee (RCW, 2004). Beheersactiviteiten kunnen uiteenlopen van het sluiten van bepaalde (kwetsbare) gebieden voor het publiek tot het uitvoeren van bijv. natuurherstel programma's.

3.2.5. Evaluatie

De hoeksteen en zeer essentiële fase in de beleidscyclus is de evaluatie. In deze fase wordt nagegaan in welke mate de gestelde doelen zijn gehaald. Hierin kan ook worden betrokken een beoordeling van het al dan niet effectief gebruik van de financiële middelen die beschikbaar waren gesteld om die doelen te halen.

Een absolute voorwaarde voor een goede evaluatie is het kunnen beschikken over relevante monitor gegevens. Aanvullende gegevens kunnen worden ontleend aan onderzoeksprojecten.

In het kader van de trilaterale Waddenzee samenwerking is aan deze voorwaarde ruimschoots voldaan door het Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP) en het periodiek opstellen van een Quality Status Report (ESSINK e.a., 2005; ESSINK 2005). Evaluatie kan leiden tot heroverweging van beleidsprioriteiten, tot bijstelling van beheersmaatregelen als ook tot herdefinitie van de beleidsdoelen.

3.3 Bodemfauna en Waddenzee beleid

In het trilaterale Waddenzee beleid zijn met betrekking tot bodemfauna enkele doelen geformuleerd (Tabel 3.1). In het Waddenzee Quality Status Report 2004 (ESSINK e.a., 2005) lezen we hierover onder meer het volgende.

Tabel 3.1.
Doelen van het trilaterale Waddenzee beleid met betrekking tot bodemfauna
(Bron: Wadden Sea Plan, 1997).

Onderwerp	Doel
Getijdezone	"An increased area of geomorphologically and biologically undisturbed tidal flats and subtidal areas".
Getijdezone	"An increased area of, and a more natural distribution and development of natural mussel beds, <i>Sabellaria</i> reefs and <i>Zostera</i> fields".
Vogels	"A favourable food availability for migrating and breeding birds".

De bij laagwater droogvallende platen in de Waddenzee zijn een belangrijk habitat voor schelpdieren en andere bodemdieren. Voor de vestiging van tweekleppige schelpdieren zijn vooral de hoger gelegen fijnkorrelige sedimenten van betekenis. Als gevolg van eeuwenlange indijking is de Waddenzee smaller geworden, en is de invloed van golfwerking toegenomen. Dit heeft er toe geleid dat veel fijnkorrelig sediment uit de Waddenzee is verdwenen (o.a. DELAFONTAINE e.a., 2002). Meer recent heeft in de Nederlandse Waddenzee de intensieve visserij op kokkels en zaadmossels bijgedragen tot een afname van dergelijke hooggelegen slibrijke platen (ENS e.a., 2004). Deze menselijke activiteiten in de Waddenzee hebben dus een negatieve invloed gehad op het geprefereerde vestigingshabitat van tweekleppige

schelpdieren. Maar ook andere factoren waren van invloed. Analyse van lange termijn gegevens uit de westelijke Waddenzee laat zien dat er in de laatste ca. 15 jaar een verschuiving is opgetreden in de gebieden van vestiging van tweekleppige schelpdieren. Dit moet grotendeels worden toegeschreven aan het meer frequent voorkomen van zachte winters waardoor er in het vroege voorjaar een veel sterkere predatie is van garnalen en strandkrabben op de pas gevestigde broedjes van die schelpdieren (BEUKEMA & DEKKER, 2005). In het Quality Status Report 2004 wordt dan ook geconcludeerd dat het in het Wadden Sea Plan gestelde doel niet is gehaald.

Van de vele vroeger bekende zandriffen, opgebouwd door de worm *Sabellaria spinulosa*, zijn er nu nog hooguit drie bekend, alle in de Duitse Waddenzee. Er zijn onvoldoende beschermingsmaatregelen getroffen om het voortbestaan en uitbreiding van deze bijzondere biogene structuren te waarborgen (VORBERG, 2005).

Een andere belangrijke biogene structuur is die van mosselbanken (*Mytilus edulis*) (Figuur 3.2). Deze genieten een conflictueuze belangstelling van natuurbeschermers enerzijds en mosselkwekers anderzijds. Nadat het oppervlak op de droogvallende platen voorkomende mosselbanken in de gehele Waddenzee sterk was achteruitgegaan, trad in de negentiger jaren van de vorige eeuw een herstel op. Enerzijds was dit een gevolg sluiting van gebieden voor de mosselvisserij, anderzijds werd dit veroorzaakt door enkele achtereenvolgende succesvolle broedvallen. Na 1999 veroorzaakte slechte voortplanting weer een achteruitgang (DE VLAS e.a., 2005). Het Waddenzeeplan doel van toegenomen oppervlak van natuurlijke mosselbanken op de droogvallende platen was in 2004 niet in alle delen van de Waddenzee gehaald. Wel is voortgang geboekt met de bescherming van jonge mosselbanken, vooral als die zich ontwikkelen op zg. oude en stabiele locaties.

Waarom de mossel zich niet regelmatig goed voortplant, en waarom er binnen de Waddenzee belangrijke regionale verschillen in voortplantingssucces zijn wordt nog onvoldoende begrepen. Betere kennis van het voortplantingsproces van de mossel is noodzakelijk om effectiever beleid en maatregelen te kunnen formuleren voor bescherming dan wel exploitatie.

Kennis over de permanent onder water voorkomende mosselbanken, die sterk door mosselvisserij worden geëxploiteerd, is nog erg fragmentarisch (DE VLAS e.a., 2005a).

Het Wadden Sea Plan doel voor trek- en broedvogels heeft betrekking op de beschikbaarheid van voldoende voedsel. Een aantal van deze vogelsoorten zijn vooral van bodemdieren afhankelijk.

In de Noordzeekustzone vormen de tweekleppigen *Spisula subtruncata* en *S. solida* de belangrijkste voedselbron voor duikeenden zoals zwarte zeeëend en eidereend. Voor de eidereend vormen deze schelpdier bestanden een ontsnappingsmogelijkheid wanneer de schelpdier voorraad binnen de Waddenzee beperkt is bijv. als gevolg van een strenge winter of intensieve schelpdiervisserij.

Figuur 3.2
Natuurlijke mosselbank
(Foto: Gerald Millat).



Met de voedselvoorziening voor trekvogels in de Waddenzee is het zorgelijk gesteld. Van 22 soorten namen de laatste decennia de aantallen af (BLEW e.a., 2005). Van deze soorten waren er 19 die voor hun voedselvoorziening afhankelijk zijn van bodemdieren. Dit gegeven is een indicatie voor een niet-gunstige voedselbeschikbaarheid in de Waddenzee. Voor soorten binnen deze groep van 19 die gespecialiseerd zijn op schelpdieren, zoals eidereend, scholekster, kanoetstrandloper en zilvermeeuw, was de voedselbeschikbaarheid beperkt als gevolg van de intensieve schelpdiervisserij. Ook broedvogels met schelpdieren op hun menu (eidereend, scholekster en zilvermeeuw) namen in populatieomvang af, vooral in de Nederlandse Waddenzee (KOFFIJBERG e.a., 2005). Ook deze afname wordt een effect geacht van de intensieve schelpdiervisserij, ondanks dat in het Nederlandse kustvisserijbeleid gebieden voor schelpdiervisserij waren gesloten en er jaarlijks een hoeveelheid kokkels en mossels werd gereserveerd voor deze vogelsoorten (ENS e.a., 2004).

3.4 Bodemfauna en Noordzee beleid

3.4.1. Nationaal

In het jaar 2000 gaf het natuurbeleid van de rijksoverheid (LNV, 2000) als toekomstperspectief voor het jaar 2010 aan dat dan het gebruik van de Noordzee in balans zou zijn met het ecologisch functioneren, en dat doelstellingen en instrumentarium voor de Noordzee als onderdeel van de Ecologische Hoofd Structuur (EHS) dan zouden zijn geconcretiseerd. Die doelstellingen zijn ontwikkeld in het project “Ecosysteendoelen Noordzee” (BISSELING e.a., 2001), waarbij de nadruk is gelegd op het Nederlands Continentaal Plat (NCP). Het ecosysteendoel met betrekking tot bodemfauna was geconcretiseerd in een viertal natuurstreefbeelden, namelijk

- a) herstel van populaties van structuurvormende organismen en bijbehorende specifieke levensgemeenschappen, zoals oesterbanken, *Sabellaria*-riffen en wilde mosselbanken.
- b) herstel van populaties zeldzame soorten, zoals paardenmossel, noordhoorn, wulk, zeeappel, dodemansduim, zeekat en fluwelen zeemuis.
- c) herstel van populaties van langlevende soorten met weinig nakomelingen, zoals noordkromp, geplooid zonnenschelp en witte dunschaal.
- d) behoud en zo nodig herstel van stapelvoedsel, zoals *Spisula* en kokkels, voor vogels

Dit LNV-initiatief tot formulering van natuurdoelen voor de Noordzee heeft echter niet geleid tot een geaccepteerd overheidsbeleid. Met andere woorden: fase 2 van de beleidscyclus (zie boven) kon niet met succes worden afgerond. Inmiddels is wel op 8 juli 2005 een Integraal Beheerplan Noordzee 2015 (IBN 2015) door de ministerraad vastgesteld (ANON., 2005). Dit Beheerplan staat niet op zichzelf; er is een direct verband met de Nota Ruimte (VROM, 2004). De Noordzeeparagraaf uit de Nota Ruimte is richtinggevend voor het ruimtelijk beleid dat in het IBN 2015 nader wordt uitgewerkt. Een belangrijk uitgangspunt in de Nota Ruimte is dat de economische activiteiten op de Noordzee (scheepvaart, olie- en gaswinning, visserij, windenergie, recreatie) op een duurzame wijze ontwikkeld en op elkaar afgestemd moeten worden met inachtneming van de in de Noordzee aanwezige ecologische en landschappelijke waarden. Hierin worden belangrijke visgronden vanwege hun natuurwaarden aangewezen als kwetsbare gebieden. In het IBN 2015 zijn vier gebieden aangewezen die voldoen aan criteria voor Marine Protected Area (OSPAR) en aan criteria voor Speciale Beschermingszones (EU Vogel- en Habitatrichtlijn). Dit zijn (1) de “Kustzee” (ten Noorden van Bergen + de Westerscheldemonding), (2) het Friese Front, (3) de Klaverbank en (4) de Doggersbank. Kenmerken van de bodemfauna (soortenrijk, hoge biomassa, bijzondere soorten) hebben naast de betekenis van deze gebieden voor vogels en vissen een rol gespeeld in de aanwijzing. De Klaverbank heeft een rijke karakteristieke bodemfauna maar staat onder druk door grindwinning (VAN MOORSEL & WAARDENBURG, 1990; VAN MOORSEL, 2003). Het gebied Doggersbank sluit aan bij de door Duitsland in het kader van de EU Habitatrichtlijn aangemelde gebied. De

beschermende maatregelen die voor deze vier gebieden zullen worden genomen, moeten nog worden uitgewerkt.

3.4.2. Internationaal

Voor de Noordzee wordt op initiatief van OSPAR een systeem van ecologische kwaliteitsdoelen (Ecological Quality Objectives – EcoQO's) ontwikkeld om te worden gebruikt als beheersinstrument. Speciaal voor de Noordzee is een pilot-project uitgevoerd (BERGEN DECLARATION 2002). Drijvende kracht voor deze ontwikkeling was de wens tot een meer ecosysteem gerichte benadering bij het beheer van de Noordzee (ANON., 1998, 1999). Enkele van de ontwikkelde EcoQO's hebben betrekking op bodemdieren (Tabel 3.2). Bij het ontwikkelen van de EcoQO's voor de Noordzee waren diverse deskundigen betrokken (o.a. DE BOER e.a., 2001; GUBBAY, 2001). Ook werd advies uitgebracht door de Internationale Raad voor Zeeonderzoek (ICES) (BEWG, 2002, 2003; WGECO, 2003; SGS OBS, 2004).

Tabel 3.2
Ecologische kwaliteitsdoelen voor bodemdieren van de Noordzee.
(Bron: BERGEN DECLARATION, 2002).

Ecological quality element		Ecological quality objective (EcoQO)
(m)	Changes/kills in zoobenthos in relation to eutrophication	There should be no kills in benthic animal species as a result of oxygen deficiency and/or toxic phytoplankton species.
(n)	Imposex in dog whelk (<i>Nucella lapillus</i>)	A low (<2) level of imposex in female dog whelks, as measured by the <i>Vas Deferens Sequence Index (VDSI)</i>
(o)	Density of sensitive (e.g. fragile) species	(Needs development)
(p)	Density of opportunistic species	(Needs development)

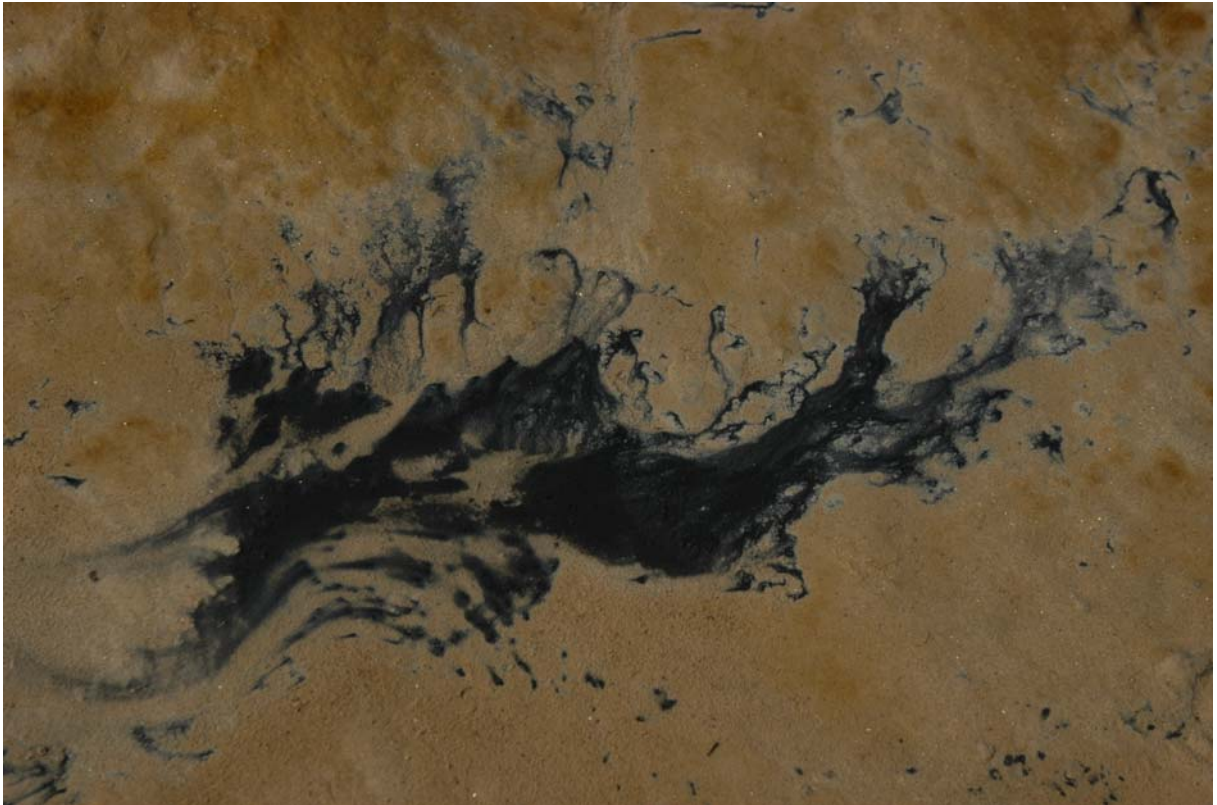
Omvangrijke sterfte onder bodemdieren als gevolg van zuurstofgebrek in het water trad op in de jaren 1981-1990 in de Duitse Bocht (NSTF, 1993). De oorzaak hiervan werd gezocht in (a) een hoge graad van eutrofie en (b) bijzondere hydrografische omstandigheden, waardoor zuurstofgebrek optrad in bodem nabij water dat niet meer werd gemengd met zuurstofrijk oppervlaktewater. Meer recent trad ook in de Waddenzee sterfte onder bodemdieren op, vaak als gevolg van verstikking door pakketten groene algen (PELETIER & GÄTJE, 1999) en lokale "zwarte vlekken" met zuurstofloos sediment (DE JONG e.a., 1999a) (Figuur 3.3). Van bloeien van de toxische fytoplankton soorten *Chrysochromulina* en *Fibrocapsa* in de wateren van de Noordzee zijn tot nu toe alleen gevallen van vissterfte bekend geworden, niet van bodemdieren.

Een evaluatie door ICES (2005) heeft laten zien dat bij EcoQO (m) het causale verband met menselijke activiteiten niet altijd duidelijk is. Veranderingen en/of sterfte in bodemfauna gemeenschappen kan een indirect gevolg zijn van eutrofiëring maar ook van daarvan geheel losstaande veranderingen in hydrografische en klimatologische omstandigheden. Ook andere menselijke activiteiten dan eutrofiëring, bijv. bodemvisserij, zandwinning, storten van baggerspecie, kunnen leiden tot veranderingen in de bodemfauna. Daarom wordt het door OSPAR (2005) noodzakelijk geacht dat een lijst wordt opgesteld van soorten of groepen van soorten die als gebiedsspecifieke indicator

kunnen dienen voor veranderingen in bodemfaunagemeenschappen als gevolg van zuurstofgebrek en/of toxische fytoplanktonsoorten. bekend geworden, niet van bodemdieren.

.....
Figuur 3.3.

Kleine "zwarte vlek" op het wad ten zuiden van Rottumeroog, 9 september 2004. (Foto: RIKZ, Haren).



Imposex is het verschijnsel waarbij onder invloed van toxische stoffen in het mariene milieu vrouwelijke huisjesslakken, zoals purperslak (*Nucella lapillus*) en wulk (*Buccinum undatum*), mannelijke geslachtskenmerken ontwikkelen en zelfs steriel kunnen worden. De veroorzakers van imposex zijn organische tinverbindingen (o.a. TBT) die gebruikt worden in verf die aangroeit op scheepshuiden moet tegen gaan. Imposex komt dan ook vooral voor nabij grote havens en jachthavens (HARDING e.a., 1999) en ook langs scheepvaartroutes op zee (TEN HALLERS-TJABBES e.a., 1994). Het zijn waarschijnlijk vooral de jonge huisjesslakken die gevoelig zijn voor TBT (MENSINK e.a., 1996).

Er is onderkend dat in gebieden waar de purperslak niet of niet meer voorkomt ook verwante soorten gebruikt kunnen worden. Het EcoQ element (n) is daarom gewijzigd in: "Imposex in dog whelks *Nucella lapillus* or other selected gastropods". Voor die verwante soorten gelden deels andere VDSI-waarden als EcoQO, namelijk <2.0 voor (*Neptunea antiqua* - noordhoren) en <0.3 voor *Buccinum undatum* (wulk) en *Nassarius reticulatus* (gevlochten fuikhoorn). OSPAR concludeert dat deze EcoQO in de Noordzee in de praktijk als indicator van verontreiniging met TBT zou moeten worden toegepast (OSPAR, 2005).

Voor gevoelige benthos soorten is nog geen EcoQO overeengekomen (OSPAR, 2005). Gevoelige soorten zoals zeeëgel (*Echinocardium cordatum*), helmkrab (*Corystes cassivelaunus*) en koudwater koralen (o.a. *Lophelia pertusa*) zijn weliswaar zeer gevoelig voor mechanische verstoring van de zeebodem, maar het niet voorkomen van deze soorten wijst niet noodzakelijkerwijs op bodemverstorende menselijke activiteiten als oorzaak hiervan (ICES, 2004). De indicatorwaarde is daardoor beperkt. OSPAR (2005) vindt het daarom noodzakelijk dat meer ontwikkelingswerk wordt gedaan.

Net als het geval is bij de “gevoelige” benthos soorten (zie boven) is het optreden van opportunistische soorten niet altijd uitsluitend toe te schrijven aan menselijke activiteiten die de zeebodem verstoren. Daarenboven kunnen soorten niet altijd eenduidig als opportunist worden gekarakteriseerd. Op basis van advies door ICES (2004) wordt daarom de dichtheid van voorkomen van opportunistische benthos soorten niet geschikt geacht om verder te ontwikkelen tot een EcoQO. Dit advies is door OSPAR (2005) overgenomen.

3.5 Bodemfauna en Kaderrichtlijn Water (KRW)

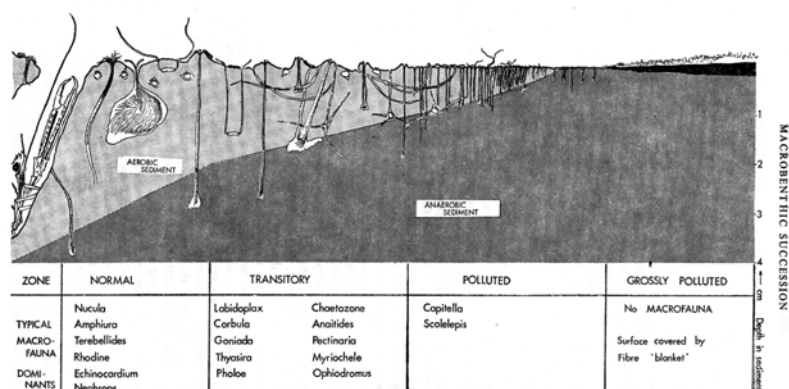
Een recente ontwikkeling binnen de Europese Unie is de invoering van de Kaderrichtlijn Water (WFD, 2000). Het doel van deze richtlijn is het op Europese schaal coördineren van de bescherming van alle oppervlaktewateren en grondwater teneinde te bereiken dat deze wateren in 2015 voldoen aan de criteria voor “goede ecologische toestand”. De uitvoering vindt plaats binnen een aantal nader gedefinieerde beheerseenheden, de zg. stroomgebieden (River basin districts). De internationale Waddenzee is hierdoor opgedeeld over verschillende stroomgebieden: Rijn, Eems, Weser, Elbe, Eider en Deense rivieren.

De samenstelling en talrijkheid van bodemdieren is een van de kwaliteitselementen waarop beoordeling van de ecologische toestand plaatsvindt. Maar hoe dit precies dient te gebeuren is in de Kaderrichtlijn Water niet beschreven. Als gevolg hiervan hebben verschillende landen/onderzoeksgroepen geprobeerd op basis van samenstelling en talrijkheid van bodemfaunasoorten indicatoren te ontwikkelen voor de kwaliteit van het ecosysteem.

Voor de respons van een bodemfaunagemeenschap op organische verontreiniging werd reeds lang geleden door PEARSON & ROSENBERG (1976) een model ontwikkeld (Figuur 3.4). De waarde van dit model werd later ondersteund en versterkt door beelden van het sedimentprofiel (NILSSON & ROSENBERG, 1997; RUMOHR, 1995).

Figuur 3.4.

Diagram van de veranderingen in bodemfauna en sediment structuur langs een gradient van organische verrijking, met overgang van soortenrijke fauna in een zuurstofrijke bodem naar een arme of zelfs levenloze zuurstofarme bodem. (Bron: PEARSON & ROSENBERG, 1978).



Meer recent zijn een groot aantal benthische indicatoren ontwikkeld. Een overzicht hiervan is te vinden in DIAZ e.a., 2004. Een kleine selectie hiervan wordt weergegeven in Tabel 3.3 en kort besproken.

Tabel 3.3.

Drie recent ontwikkelde indicatoren voor habitat kwaliteit die gebruik maken van gegevens over het voorkomen van bodemfauna soorten van zachte sedimenten.

Indicator	Referentie
AMBI (AZTI Marine Biotic Index)	Borja, Franco & Perez, 2000 Borja, Muxika & Franco, 2003 Borja & Muxika, 2005
BENTIX	Simbora & Zenetos, 2002
BQI (Benthic Quality Index)	Rosenberg e.a, 2004

De AMBI maakt gebruik van de getalsmatige verhoudingen van dichtheden van soorten die ingedeeld zijn in vijf ecologische groepen, elk met een verschillende mate van gevoeligheid of tolerantie voor stress in het leefmilieu. Groep I wordt gevormd door soorten die erg gevoelig zijn voor organische verrijking en tegelijkertijd aanwezig zijn zonder dat van verontreiniging sprake is (bijv. gespecialiseerde carnivoren en sediment etende buisbewonende wormen). Soorten van Groep II zijn ongevoelig voor organische verrijking en altijd in lage dichtheden aanwezig (bijv. suspensie eters en minder selectieve carnivoren en aaseters). Groep III bevat soorten die tolerant zijn voor bovenmatige verrijking met organische stof (bijv. buisbewonende spionide wormen). Groep IV wordt gevormd door tweede-orde opportunisten (bijv. kleine wormen. Groep V tenslotte bestaat uit eerste-orde opportunisten. Dit zijn sedimenteters die in zuurstofarme omstandigheden kunnen leven. De AMBI is een continue coëfficiënt die kan variëren van 0 tot 6. Essentieel voor een zinvolle toepassing van de AMBI is het juist classificeren van de verschillende bodemfaunasoorten in een van de vijf ecologische groepen.

De AMBI is inmiddels op diverse data sets van kustgebieden binnen en buiten Europa toegepast (BORJA e.a., 2003; MUNIZ e.a., 2005), ook op data sets uit de Waddenzee van Schleswig-Holstein (CWSS, 2005). De laatste toepassing leverde evenwel nog geen eenduidige resultaten op. De toepasbaarheid van de AMBI in de trilaterale Waddenzee wordt momenteel door Karin Heyer (Univ. Hamburg) verder onderzocht in opdracht van de Trilateral Monitoring and Assessment Group (TMAG). De BENTIX is eveneens een indicator voor bodemfaunakwaliteit in mariene sedimenten, vooral in de Middellandse Zee. Anders dan voor de AMBI worden hier de soorten ingedeeld in drie ecologische groepen: GI = soorten die gevoelig zijn voor verstoring in het algemeen; GII = soorten tolerant voor verstoring of stress, en GIII = eerste-orde opportunisten, pionierssoorten, koloniseerders en soorten ongevoelig voor zuurstofloosheid.

Vergelijking van de AMBI en de BENTIX, die van een vergelijkbaar principe uitgaan, voor eenzelfde set bodemfauna gegevens uit de Adriatische Zee leverde ongeveer vergelijkbare resultaten. De verschillen zijn voor een deel terug te voeren tot verschillen in scoren van soorten in een van de ecologische groepen (OCCHIPINTI-AMBROGI e.a., 2005).

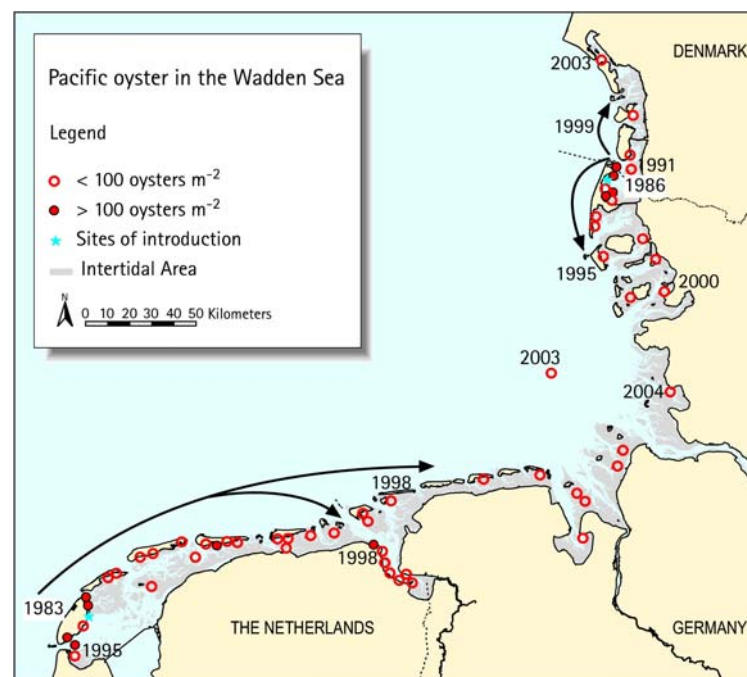
De in Zweden ontwikkelde Benthic Quality Index (BQI) is gebaseerd op toepassing van de rarefactie techniek van HURLBERT (1971) om bodemfaunasoorten te classificeren in verschillende mate van gevoeligheid voor verstoring zoals aangegeven in de Kaderrichtlijn Water. De BQI, die gebaseerd is op data sets van de Zweedse westkust, geeft bij lage zoutgehaltes, bijv. in de Botnische Golf, wat afwijkende resultaten, o.a. omdat daar in verstoorte milieus niet meer de worm *Capitella capitata* voorkomt, maar het nonnetje (*Macoma balthica*) en oligochaeten.

3.6 Introductie van soorten

De flora en fauna van de Nederlandse kustwateren en estuaria telt ca. 150 soorten die er vroeger niet voorkwamen (WOLFF, 2005). Zo'n 100 soorten zijn afkomstig van gebieden buiten Europa. Een klein deel van deze "exoten" is doelbewust in onze wateren geïntroduceerd. Een voorbeeld hiervan is de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) ten behoeve van het opzetten van een nieuwe oestercultuur in de Oosterschelde en nabij Sylt. Het merendeel der "exoten" is op passieve manier door de mens geïntroduceerd, bijv. als aangroei op scheepshuiden, in ballastwater en tussen ladingen schelpdieren. Verdere verspreiding binnen Europa is in veel gevallen geschied met behulp van de zeestromingen (bijv. ESSINK 1985). "Exoten" in de Waddenzee hebben tot nu toe niet geleid tot het verdringen van de daar levende soorten (REISE e.a., 2005). De Japanse oester is echter wel met een opmars bezig (Figuur 3.5). In de Oosterschelde is ca. 5% van de droogvallende platen inmiddels bedekt met dichte bestanden, soms in de vorm van 'riffen', waardoor habitat voor kokkels en mosselbanken verloren dreigt te gaan. Ook in de Waddenzee komen riffen voor (Figuur 3.6). Van "exoten" zijn evenwel ook voorbeelden bekend van desastreuze beïnvloeding van de oorspronkelijke levensgemeenschappen, zoals in de Middellandse Zee door de alg *Caulerpa taxifolia*. De uit de

Figuur 3.5

Verspreiding van de Japanse oester in de Waddenzee in 2003 (rode cirkels), met verspreidingsroutes (pijlen; jaartallen) vanuit eerste introductielocaties Texel (1983) en Sylt (1986) (Bron: REISE, DANKERS & ESSINK, 2005)



Figuur 3.6

Rif van Japanse oester (*Crassostrea gigas*) ten zuiden van Rottumeroog, 9 september 2004) (Foto: RIKZ, Haren)



Pacifische oceaan afkomstige roofslak *Rapana venosa* is al in de USA en Bretagne (Frankrijk) aangetroffen (MANN e.a., 2004) en wordt als serieus risico voor de daar levende schelpdieren beschouwd. Deze en andere voorbeelden hebben onder meer geleid tot internationale afspraken m.b.t. ballastwater (IMO, 2004). Verdere maatregelen zijn voorgesteld (GOLLASCH, 2002; ICES, 2005). In Nederland is in het kader van het ontwikkelen van beleid ten aanzien van exoten een analyse gemaakt van de risico's (ecologische zowel als sanitaire en veterinaire) die verbonden zijn aan verplaatsingen van schelpdieren (SNIJDELAAR e.a., 2004).

3.7 Discussie en Conclusies

Vanwege hun veelal plaatsgebonden leefwijze en hun belangrijke rol in het voedselweb zijn bodemfaunasoorten en gemeenschappen vaak toegepast als indicator voor door de mens dan wel door de natuur veroorzaakte veranderingen in het mariene ecosysteem. Dit heeft vooral succes gehad daar waar één overheersende verstoring (stressor) aanwezig was, bijv. organische verontreiniging of TBT. In de praktijk zullen vaak verschillende stressoren tegelijkertijd werkzaam zijn, en zal de gevoeligheid van een bodemfaunasoort voor die verschillende stressoren verschillend zijn. Wanneer gebruik gemaakt wordt van indicatoren die gebaseerd zijn op de volledige soortensamenstelling van een benthos gemeenschap, zoals bij de AMBI en BENTIX zal men de specifieke gevoeligheden van elke soort voor een groot aantal van relevante stressoren moeten kennen. Dat lijkt welhaast onmogelijk. Toch is het mogelijk met behoorlijke kennis over de biologie en ecologie van soorten uitspraken te doen over de mate van totale stress in een ecosysteem. Een voorbeeld hiervan is de voor vrij levende nematoden op hun levensstrategie gebaseerde Maturity Index (BONGERS, 1990; BONGERS e.a, 1991) waarmee veranderde milieuomstandigheden in de Dollard konden worden beschreven (ESSINK & ROMEIJN, 1994; ESSINK & KEIDEL, 1998). Een ander voorbeeld is

"Taxonomic distinctness" in bodemfaunagemeenschappen, waarmee het effect van oliewinplatforms op de bodemfauna van de Noordzee op gevoelige wijze kon worden aangetoond (CLARK & WARWICK, 1998). Toepassing van eenzelfde indicator in kustwater en overgangswater (estuaria) zoals bij de implementatie van de Kaderrichtlijn Water (KRW) wordt beoogd zal vermoedelijk problemen opleveren i.v.m. verschillende mate van zoutstress zonder dat dit noodzakelijkerwijze impliceert dat er verschillen zijn in de kwaliteit van het benthisce systeem.

Kustwateren zijn open systemen, waarin planten- en diersoorten van elders (zg. exoten) gemakkelijk kunnen binnendringen. In enkele gevallen bestaan er risico's voor de bestaande levensgemeenschap.

3.8 Literatuur

- Anonymus, 1998** - Workshop on the ecosystem approach to the management and protection of the North Sea. TemaNord 1998:579.
- Anonymus, 1999** - Workshop on ecological quality objectives (EcoQOs) for the North Sea. Scheveningen, The Netherlands, 1-3 Sept. 1999. TemaNord 1999:591.
- Anonymus, 2005** - Integraal Beheerplan Noordzee 2015. Interdepartementaal Directeurenoverleg Noordzee (IDON), Ministeries van VenW, LNV, EZ en VROM, Den Haag.
- Bergen Declaration 2002** - Fifth International Conference on the Protection of the North Sea, 20-21 March 2002, Bergen, Norway. - Ministry of the Environment, Oslo, Norway.
- Beukema J.J. & R. Dekker, 2005** - Decline of recruitment success in cockles and other bivalves in the Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. Mar. Ecol. Progr. Ser. 287: 149-167.
- BEWG, 2002** - International Council for the Exploration of the Sea, Report of the benthos ecology working group, ICES CM 2002/E:07.
- BEWG, 2003** - International Council for the Exploration of the Sea, Report of the benthos ecology working group, ICES CM 2003/E:09.
- Bisseling, C.M., C.J.F.M. van Dam, A.C. Schippers, P. van der Wielen & W. Wiersinga, 2001** - Met de natuur in zee. Rapportage project "Ecosysteendoelen Noordzee", kennisfase. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Expertisecentrum LNV, Wageningen. 124 pp + 2 bijl.
- Blew, J., K. Eskildsen, K. Günther, K. Koffijberg, K. Laursen, P. Potel, H-U. Rössner, M. van Roomen & P. Südbeck, 2005** - Migratory birds. In: Essink et al. (eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004. - Wadden Sea Ecosystem No.19, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. Pp. 287-304.
- Boer, W.F., P. Daniels & K. Essink, 2001** - Towards ecological quality objectives for North Sea benthic communities. Koeman en Bijkerk BV, Haren, Report nr. 2001-11.
- Bongers, T., 1990** - The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia 83: 14-19

-
- Bongers, T., R. Alkemade & G.W. Yeates, 1991** - Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 76: 135-142.
- Borja, Á., J. Franco & V. Pérez, 2000** - A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar. Pollut. Bull.* 40: 1100-1114.
- Borja, Á., I. Muxika & J. Franco, 2003** - The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 46: 835-845.
- Borja, Á. & I. Muxika, 2005** - Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Mar. Pollut. Bull.* 50: 787-789.
- Clark, K.R., & R.M. Warwick, 1998** - A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *J. Appl. Ecol.* 35: 523 - 531.
- CWSS, 2005** - Report of the TMAP-WFD workshop on reference values, Hamburg, 29 - 30 November 2004. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group.
- Diaz, R.J., M. Solan & R.M. Valente, 2004** - A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *J. Environm. Manag.* 73: 165-181.
- Delafontaine, M.T., B.W. Flemming & S. Mai, 2000** - The Wadden Sea squeeze as a cause of decreasing sedimentary organic loading. In: Flemming, B.W., M.T. Delafontaine & G. Liebezeit (Eds.), *Muddy coast dynamics and resource management*. Elsevier Science. P.p. 273-286.
- Ens, B.J., A.C. Smaal, A.C. & J. de Vlas, 2004** - The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde; Final report on the second phase of the scientific evaluation of the Dutch shellfish fishery policy (EVA II). Alterra-report 1011. Alterra, Wageningen.
- Esbjerg Declaration 1991** - Man and Wadden Sea. Ministerial Declaration of the 9th trilateral governmental conference on the protection of the Wadden Sea, Esbjerg, October 31, 2001. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Esbjerg Declaration 2001** - Sixth Governmental Wadden Sea Conference, Esbjerg, 1991. Ministerial Declaration, Seals Conservation and management Plan, Memorandum of Intent, Assessment Report. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, pp. 152.
- Essink, K., 1985** - On the occurrence of the American Jack-knife clam *Ensis directus* (Conrad, 1843) (*Bivalvia*, *Cultellidae*) in the Dutch Wadden Sea. *Basteria* 49: 73-80.
- Essink, K. & K. Romeyn, 1994** - Estuarine nematodes as indicators of organic pollution; an example from the Ems estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28: 213-219.
- Essink, K. & H. Keidel, 1998** - Changes in estuarine nematode communities following a decrease of organic pollution. *Aquatic Ecology* 32: 195-202.
- Essink, K., 2005** - TMAP and QSR 2004 supporting conservation and management of the Wadden Sea. *Proceedings 11th Scientific Wadden Sea Symposium*, Esbjerg, 4-8 April, 2005
- Essink, K., C. Dettmann, H. Farke, K. Laursen, G. Lüerßen, H. Marencic & W. Wiersinga (Eds.), 2005** - Wadden Sea Quality Status Report
-

2004. - Wadden Sea Ecosystem No.19, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany.

Gollasch, S., 2002 - Ballast Water Management in the North-East Atlantic. Report to aid decision making on Ballast Water in OSPAR BDC. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, North Sea Directorate. November 19th, 2002.

Gubbay, S., 2001 – Development of ecological quality objectives for the North Sea; Threatened and declining species. Working paper, BirdLife International.

Harding, M.J.C., I.M. Davies, S.K. Bailey & G.K. Rodger, 1999 - Survey of imposex in dogwhelks (*Nucella lapillus*) from North Sea coasts. Appl. Organometallic Chem. 13: 512-538.

Heinis, F., I. Akkerman, K. Essink, F. Colijn & M.J. Latuhihin, 1995 - Biologische monitoring zoute rijkswateren 1990-1993. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Den Haag. Rapport RIKZ-95-059.

Hurlbert, S.H., 1971 - The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. Ecology 52: 577-586.

ICES, 2004 - Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management and Advisory Committee on Ecosystems, 2004. ICES Advise 1 (2). 1544 pp.

ICES, 2005 - ICES Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms 2004. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.

IMO, 2004 - International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water & Sediments. International Maritime Organisation.

Jong, F. de, Bakker, J.F., van Berkel, C.J.M., Dankers, N.M.J.A., Dahl, K., Gätje, C., Marencic, H. & Potel, P. 1999 - Wadden Sea Quality Status Report 1999. - Wadden Sea Ecosystem No. 9. Common Wadden Sea Secretariat; Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group. Wilhelmshaven, Germany.

Jong, F. de, K. Kolbe & J. van Beusekom, 1999a - Anoxic sediment surface. In: De Jong e.a. (Eds), Wadden Sea Quality Status Report 1999. Wadden Sea Ecosystem No. 9, Common Wadden Sea Secretariat; Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group. Wilhelmshaven, Germany: 121-123.

Koffijberg, K., L. Dijkse, B. Hälterlein, K. Laursen, P. Potel & P. Südbek, 2004 - Breeding birds. In: Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004. - Wadden Sea Ecosystem No.19, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. Pp. 275-286.

LNV, 2000 - Natuur voor mensen, mensen voor natuur. Nota natuur, bos en landschap in de 21^e eeuw. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Den Haag.

Mann, R.; Occhipinti, A.; Harding, J.M. (Eds.), 2004 - Alien species alert: *Rapana venosa* (veined whelk). ICES Cooperative Research Report 264. ICES, Copenhagen, Denmark

Mensink, B.P., J.M. Everaarts, J. Kralt & C.C. ten Hallers-Tjabbes, 1996 - Tributyltin exposure in early life stages induces the development of male sexual characteristics in the common whelk, *Buccinum undatum*. Mar. Environm. Res. 42: 151-154.

Moorsel, G.W.N.M. van & H.W. Waardenburg, 1990 - Impact of gravel extraction on geomorphology and the macrobenthic community of the Klaverbank (North Sea) in 1989. Bureau Waardenburg BV.

Moorsel, G.W.N.M. van, 2003 - Ecologie van de Klaverbank. Biota survey 2002. Ecosub, Doorn

Muniz, P., N. Venturini, A.M.S. Pires-Vanin, L.R. Tommasi & A. Borja, 2005 - Testing the applicability of a marine biotic index (AMBI) to assessing the ecological quality of soft-bottom benthic communities, in the South America Atlantic region. *Mar. Pollut. Bull.* 50: 624-637.

Nilsson, H. & R. Rosenberg, 1997 - Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *J. Mar. Systems* 11: 249-264.

NSTF, 1993 - North Sea Quality Status Report 1993. North Sea Task Force, Oslo and Paris Commissions, London. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark. 132 + vi pp.

Occhipinti-Ambrogi, A., G. Forni & A. Marchini, 2005 - Testing different approaches for quality assessment using the benthic community: examples from the Northern Adriatic Sea. In: P. Magni, J. Hyland, G. Manzella, H. Rumohr, P. Viaroli & A. Zenetos (Eds.), *Indicators of stress in the marine benthos*. UNESCO, International Oceanographic Commission, Workshop Report No. 195: 23-26.

OSPAR, 2005 - Report on North Sea Pilot Project on Ecological Quality Objectives. Meeting of the OSPAR Commission, Malahide, Ireland, 27 June – 1 July 2005. Documents OSPAR 05/5/2-E and OSPAR 05/5/2 Add.1-E(L).

Pearson, T.H. & R. Rosenberg, 1978 - Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution in the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16: 229-311.

Peletier, H. & C. Gätje, 1999 - Macroalgae. In: De Jong e.a. (Eds), *Wadden Sea Quality Status Report 1999*. - Wadden Sea Ecosystem No. 9. Common Wadden Sea Secretariat; Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group. Wilhelmshaven, Germany: 134.

RCW, 2004 - Maatregelenprogramma Waddenzee 2004-2009 waarin opgenomen Handhavingsprogramma Waddenzee. - Regionaal Coördinatiecollege Waddenzeegebied, Leeuwarden.

Rosenberg, R., M. Blomquist, H.C. Nilsson, H. Cederwall & A. Dimming, 2004 - Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distribution: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Mar. Pollut. Bull.* 49: 728-739.

Rumohr, H., 1995 - Monitoring the marine environment with imaging methods. *Scientia Marina* 59: 129-138.

Rijkswaterstaat, 1996 - Beheersplan Waddenzee 1996-2001. - Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland, Leeuwarden.

Schiermonnikoog Declaration, 2005 - Ninth Governmental Wadden Sea Conference, Schiermonnikoog, The Netherlands, November 3, 2005. (in prep.)

SGSOBS, 2004 - International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Report of the study group on ecological quality objectives for sensitive and for opportunistic benthos species. ICES CM 2004/ACE:01.

Simboura, N. & A. Zenetos, 2002 - Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottoms marine

ecosystems, including a new biotix index. *Mediterranean Marine Science* 3/2: 77-111.

Snijdelaar, M., W. Wiersinga, T. Greutink, C. van Dam & J. Pasman, 2004 – Deskundigenoordeel verplaatsingsproblematiek schelpdieren. Ministerie van landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Expertisecentrum LNV, Rapport EC-LNV nr. 2004/301.

Stade Declaration, 1997 - Ministerial Declaration of the Eighth Governmental Conference on the Protection of the Wadden Sea. Stade, October 22, 1997.

TMAP, 2000. TMAP Manual, version June 2000. - Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.

Ten Hallers-Tjabbes, C.C., J.F. Kemp & J.P. Boon, 1994 - Imposex in whelks (*Buccinum undatum*) from the open North Sea: Relation to shipping traffic. *Marine Pollution Bulletin* 28 : 311-313.

Vlas J. de, B. Brinkman, C. Buchsbaum, N. Dankers, M. Herlyn, P.S. Kristensen, G. Millat, G. Nehls, M. Ruth, J. Steenbergen & A.

Wehrman , 2005 - Intertidal blue mussel beds. In: Essink et al. (eds.), *Wadden Sea Quality Status Report 2004*. - Wadden Sea Ecosystem No.19, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. Pp. 190-200.

Vlas J. de, B. Brinkman, C. Buchsbaum, N. Dankers, M. Herlyn, P.S. Kristensen, G. Millat, G. Nehls, M. Ruth, J. Steenbergen & A.

Wehrman, 2005a - Subtidal blue mussel beds. In: Essink et al. (eds.), *Wadden Sea Quality Status Report 2004*. - Wadden Sea Ecosystem No.19, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. Pp. 211-218.

Vorberg, R., 2005 - *Sabellaria* reefs. In: Essink et al. (eds.), *Wadden Sea Quality Status Report 2004*. - Wadden Sea Ecosystem No.19, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. Pp. 208-210.

VROM, 2004 - Nota Ruimte. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Den Haag.

WFD, 2000 - Water Framework Directive. Council Directive 2000/60/EC on establishing a framework for Community action in the field of water policy. European Commission.

WGECO, 2003 - International Council for the Exploration of the Sea, Report of the working group on ecosystem effects of fishing activities. ICES CM 2003/ACE:05.

Winsemius, P. 1986 - Gast in eigen huis: beschouwingen over milieumanagement. Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen a/d Rijn. 227 pp.

Wolff, W.J. , 2005 - Non-indigenous marine and estuarine species in The Netherlands. *Zool. Meded. Leiden* 79: 1-116.

WSP, 1997 - Trilateral Wadden Sea Plan. - In: Ministerial Declaration of the Eighth Trilateral Governmental Conference on the Protection of the Wadden Sea. Stade, October 1997, Annex 1. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.



Karel Essink en Wim Visser bemonsteren bodemfauna op de Heringsplaat (Foto: Rob Jungcurt, RIKZ-Haren)

“Why do ecological monitoring?”

John S. Gray
Marine Pollution Bulletin 11 (1980): 62-65

4. Het monitoren van benthos

4.1 Inleiding

Rijkswaterstaat heeft een lange traditie van meten. Decennialang was het motto van deze overheidsdienst “meten is weten”. En dat meten kreeg veelal gestalte in de vorm van lange meetreeksen. Waarschijnlijk is *waterhoogte* een van de langst gemeten parameters, een gegeven van cruciaal belang in relatie tot een van de hoofdtaken van Rijkswaterstaat, het beschermen van het land en haar bewoners tegen overstroming. Andere parameters die een langdurige meetgeschiedenis kennen zijn watertemperatuur en zoutgehalte (VAN DER HOEVEN, 1982). In 1965 werd het monitoren door Rijkswaterstaat degelijker aangepakt. Het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (het “oude” RIZA) begon toen in de grote rivieren (Maas, Rijn en zijtakken) met haar Grote Routine Programma (KOOLEN, 1970). In dit monitoring programma werden alleen fysische en chemische parameters gemeten met als doel het verkrijgen van een overzichtelijk en samenhangend beeld van de waterkwaliteit. In het begin van de zeventiger jaren werd dit programma uitgebreid met metingen in de Eems-Dollard (DIEKEMA, 1977) en later in de Waddenzee.

Enige jaren later werd bij Rijkswaterstaat de behoefte gevoeld om in geheel Nederland via monitoring basisgegevens in te winnen, en dan niet alleen fysisch/chemisch maar ook biologisch. Deze ontwikkeling was sterk gekoppeld aan de invoering van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) in 1970 en de Wet Verontreiniging Zeewater (WVZ) in 1977. Door de Dienst Getijdewateren, gevormd uit onderdelen van de opgeheven Deltadienst, Dienst Waterhuishouding en Waterbeweging en het oude RIZA, werd een integraal monitoring programma geconcipeerd voor de zoute rijkswateren, bestaande uit een fysisch, een chemisch en een biologisch meetnet (BROLSMA e.a., 1987; COLIJN & COFINO, 1989; COLIJN & AKKERMAN, 1990). Het biologisch programma omvatte verschillende trofische niveaus van het ecosysteem, n.l. fytoplankton, zeegrassen, kwelders, bodemfauna, vogels en zeezoogdieren. Parallel ontstond een waterkwaliteitsmeetnet voor de zoete rijkswateren. Beide programma's werden onderdeel van het MWTL-programma van Rijkswaterstaat (MWTL = Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand des Lands) (DGW/RIZA, 1993). De behoefte aan een gestructureerd biologisch monitoring programma kwam voort uit de in het kader van de Derde Nota Waterhuishouding ontwikkelde AMOEBE-benadering (AMOEBE = **A**lgemene **M**ethode voor **O**ecosysteembeschrijving en -**B**oordeling) (TEN BRINK e.a., 1991). Het doel van het MWTL-programma was tweeledig;

1. signaleren van langjarige ontwikkelingen (trends) in de toestand van watersystemen,

2. evalueren van het (inter)nationale waterbeleid door periodieke toetsing van de watersysteemtoestand aan criteria, die voortkomen uit de (ecologische) functie van de watersystemen. Een verbinding tussen het chemisch en biologisch monitorprogramma werd gelegd door ook in geselecteerde organismen (mossel, bot) de ophoping in de voedselketen van verontreinigende stoffen te meten. De invoering van chemische monitoring in organismen is gestimuleerd door de Oslo en Parijs Conventies ter voorkoming van verontreiniging van de zee, en door ontwikkelingen bij instituten zoals TNO. Later, in 1999, werd in het kader van de trilaterale Waddenzeesamenwerking begonnen met het monitoren van contaminanten in eieren van scholekster en visdief (BECKER e.a., 2001, 2004).

4.2 Monitoring principes

In zijn simpelste vorm kan het begrip monitoring gedefinieerd worden als het met regelmaat uitvoeren van dezelfde metingen op een aantal (meer of minder vaste) locaties. Het gebruik van een zelfde of van goed vergelijkbare meetmethodes is een voorwaarde voor het verkrijgen van een consistentie reeks van meetwaarden.

Afhankelijk van de verschillende doelen waarvoor monitoring programma's gebruikt worden kunnen de volgende typen van monitoring worden onderscheiden:

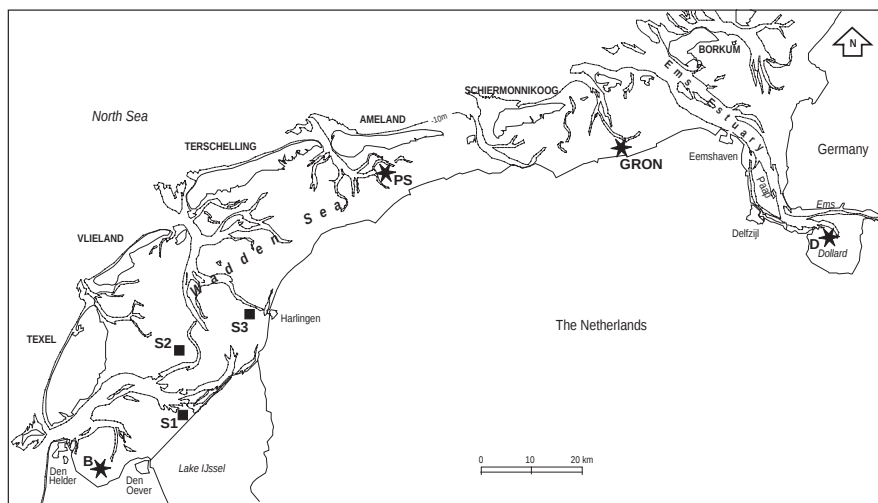
1. *Trend monitoring* heeft tot doel het signaleren van langjarige veranderingen (toename dan wel afname). Deze veranderingen kunnen van natuurlijke aard zijn of een gevolg van menselijke activiteiten. In de Kaderrichtlijn Water wordt dit "surveillance monitoring" genoemd;
2. *Compliance monitoring* heeft betrekking op monitoring activiteiten die tot doel hebben na te gaan of genomen beheersmaatregelen wel precies leiden tot het vooraf gestelde doel, bijv. tot het bereiken van bepaalde grenswaarden.
3. *Operational monitoring* is een begrip uit de Kaderrichtlijn Water, en wordt uitgevoerd om na te gaan of in een watersysteem getroffen maatregelen wel het bedoelde effect hebben;
4. *Investigative monitoring* is het type monitoring dat binnen de Kaderrichtlijn Water wordt uitgevoerd om te achterhalen waarom in een watersysteem de ecologische toestandsdoelstelling niet gehaald is, of niet gehaald wordt ondanks dat maatregelen zijn genomen ter verbetering.

Voor elk monitoring programma zijn vier vragen cruciaal: waarom? - wat? - waar? - hoe? Om te beginnen moet het duidelijk zijn *waarom* moet worden gemonitord, met andere woorden: welk doel het monitoring programma moet dienen. Hier ligt een directe link naar de beleidscyclus (zie hoofdstuk 3). *Wat* precies gemonitord moet worden wordt bepaald door de informatievraag. Deze informatievraag dient gekoppeld te zijn aan de meer concreet geformuleerde te evalueren beleidsdoelen. De vragen *waar?* en *hoe?* hebben betrekking op de bemonsteringsstrategie en de analytische en statistische methoden die gebruikt moeten worden om de bedoelde evaluatie mogelijk te maken.

Bij het ontwerpen van monitorprogramma's kan gekozen worden voor verschillende strategieën van ruimtelijke monsternamen. Traditioneel werden monitor programma's ontworpen als een meetnet met vaste locaties (stations) of raaien met vaste stations. Bij de keuze van vaste stations wordt impliciet aangenomen dat elk van deze stations meetwaarden oplevert die representatief zijn voor een groter omringend gebied. In deze impliciete aanname schuilt het gevaar dat voorbijgegaan wordt aan habitat heterogeniteit die men niet kent of niet gemakkelijk kan waarnemen, bijv. in permanent onder water staande gebieden. De bodemfauna monitorprogramma's van Rijkswaterstaat en het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) maken in de Waddenzee gebruik van vaste locaties, waarbij merendeel van die vaste locaties bestaat uit een raai (rechte lijn) van 800 – 1000 m lang waarlangs equidistant monsters worden genomen. Bij bemonsteren van raaien wordt kleinschalige habitat heterogeniteit uitgemiddeld.

Figuur 4.1

Locaties voor bodemfauna monitoring in Waddenzee en Eems-Dollard. B = Balgzand, S1-S3 = sublitoraal westelijke Waddenzee, PS = Piet Scheveplaat, GRON = Groninger Wad, D = Dollard (Heringsplaat).

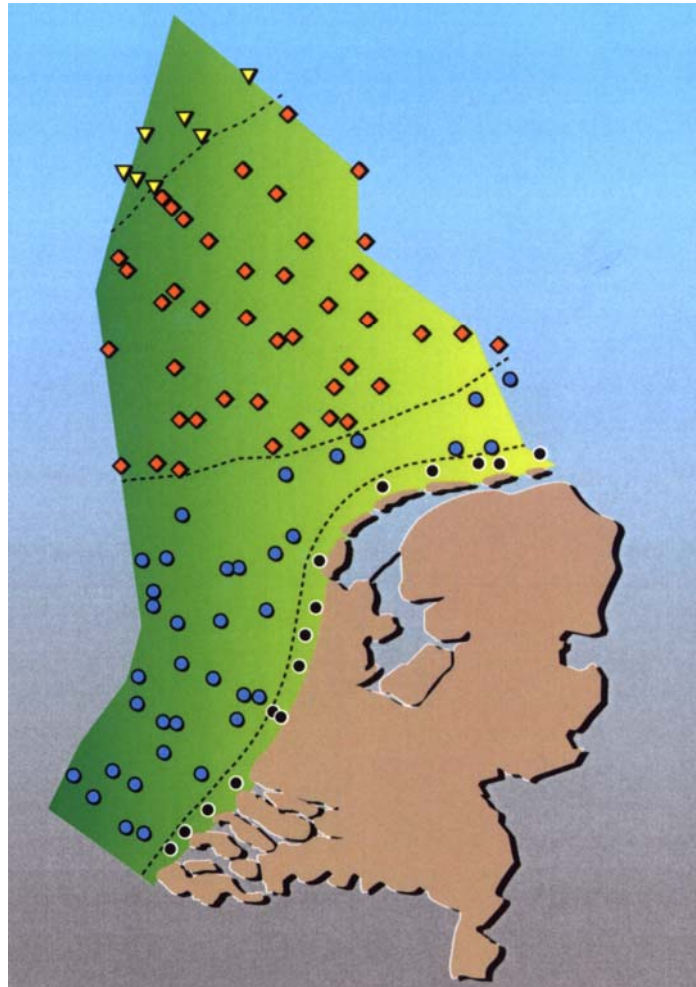


Raaien met vaste stations zijn en worden nog gebruikt in situaties waar zich bekende gradiëntsituaties voordoen. Deze gradiëntsituaties kunnen te maken hebben met factoren als sedimenttype (slib-zand-grind), zoutgehalte (rond riviermondingen in zee) of zg. puntbronnen van verontreiniging. Het waterkwaliteitsmeetnet van Rijkswaterstaat op het Nederlands Continentaal Plat bestond aanvankelijk vrijwel uitsluitend uit monsterpunten op loodrecht op de kust georiënteerde raaien. Wanneer het monitoren moet voorzien in het leveren van gebiedsdekkende informatie kan gekozen worden een raster van monsterlocaties. Zo'n raster of 'grid' kan meer of minder dicht zijn afhankelijk van de mate van detail van de informatie behoefte. Een 'random' verdeling van monsterlocaties over het gebied biedt echter voor statistische gegevensverwerking voordelen. In gebieden met een bekende habitat heterogeniteit (bijv. bodemsamenstelling of diepteligging) kan voor 'stratified random' monsternamen gekozen worden. In 1995 is er voor gekozen het monitoren van bodemfauna op het Nederlands Continentaal Plat, aangevangen in 1991, uit te voeren met een 'stratified random' bemonsteringsprogramma (ESSINK, 1995) (Figuur 4.2). De gekozen strata waren onder meer gebaseerd op de

uitkomsten van een analyse van bodemfauna gemeenschappen in de Noordzee door HOLTSMANN e.a.(1996) en KÜNITZER e.a. (1992). De nauwkeurigheid waarmee trendmatige veranderingen kunnen worden vastgesteld is niet voor alle monitor strategieën dezelfde (ESSINK & KLEEF, 1991). Er is sprake van een duidelijk verschil in 'statistical power'(VAN DER MEER, 1994).

Figuur 4.2

Stratified random bemonstering strategie voor het monitoren van bodemfauna op het Nederlands Continentaal Plat sinds 1991. Strata: Doggersbank (geel), Oestergronden (rood), Offshore (blauw) en Kustzone (paars). (Bron: NIOZ, Texel/Henk Hobbelink).



4.3 Monitoren van benthos

4.3.1. Waarom benthos?

Bodemdieren zijn om meer dan een reden geschikt om te gebruiken in een monitor programma. Deze ongewervelde dieren, die in en op de bodem van onze kustwateren en de Noordzee leven zijn voor het merendeel sterk plaatsgebonden. Dat wil zeggen dat ze, na zich als jong dier ergens gevestigd te hebben, zich niet meer over grote afstanden verplaatsen, zoals dat wel het geval is bij vissen, vogels en zeezoogdieren. Veranderingen die optreden in bodemfauna gemeenschappen zullen daarom een afspiegeling zijn van veranderingen in de lokale omstandigheden, hetzij door menselijke activiteiten veroorzaakt dan wel van nature optredend. In het marien/estuariene voedselweb neemt bodemfauna een strategische middenpositie in. De 'filter feeders' onder de bodemfauna

voor hun voedselvoorziening afhankelijk van de primaire productie door het fytoplankton. Maar ook de 'deposit feeders' hebben diezelfde afhankelijkheid, aan de ene kant via primaire productie door bentische microalgen (het microfytobenthos), aan de andere kant via organische detritus, ontstaan na afsterven der primaire producenten, die op en in de zeebodem terecht komt. Zelf vormt de bodemfauna weer voedsel voor vele andere diergroepen, waaronder vissen en vogels. Informatie over veranderingen in bodemfauna geeft daardoor ook informatie over veranderingen in de voedselsituatie voor diergroepen die bodemfauna als voedsel benutten.

4.3.2. Populatie parameters

De bodemfauna van onze kustwateren en Noordzee bestaat in belangrijke mate uit de volgende systematische groepen: 1) weekdieren (tweekleppige schelpdieren en huisjesslakken), 2) wormen, 3) stekelhuidigen (slangsterren, zeeëgels; vooral in de Noordzee) en 4) kreeftachtigen.

In monitor programma's worden van deze diergroepen doorgaans voor elke soort niet alleen de numerieke dichtheid (= aantal individuen dat per m² voorkomt) bepaald, maar ook de hoeveelheid biomassa. De biomassa wordt doorgaans uitgedrukt in grammen asvrij drooggewicht (AVDG; Engels: AFDW) per m². Deze beide parameters leveren belangrijke informatie over de ontwikkeling van de populaties der bodemfaunasoorten.

Bij een beperkt aantal soorten is het mogelijk meer precieze informatie te verkrijgen over de populatieopbouw en de groei. Hiervoor is het nodig metingen uit te voeren van de afmetingen der individuen, bij voorkeur voor elk van de leeftijdsgroepen (jaarklassen, cohorten) die kunnen worden onderscheiden. Dergelijke informatie is het gemakkelijkst te verkrijgen bij soorten met een hard uitwendig skelet, waaraan gemakkelijk metingen kunnen worden uitgevoerd. Bij tweekleppige schelpdieren zijn doordat, net als bij bomen, de groei in de winter stopt, jaarringen te onderscheiden, waardoor de leeftijdssamenstelling kan worden bepaald, alsmede de groeisnelheid van elke jaarklasse. Jaarringen in de schelpen van langlevende schelpdieren, zoals de noordkromp (Figuur 4.3), verschaffen zodoende een historisch archief betreffende de groeiomstandigheden in het leefgebied van de soort (WITBAARD, 1997).

.....
Figuur 4.3.
De noordkromp (*Cyprina islandica*)



4.3.3. Chemische parameters

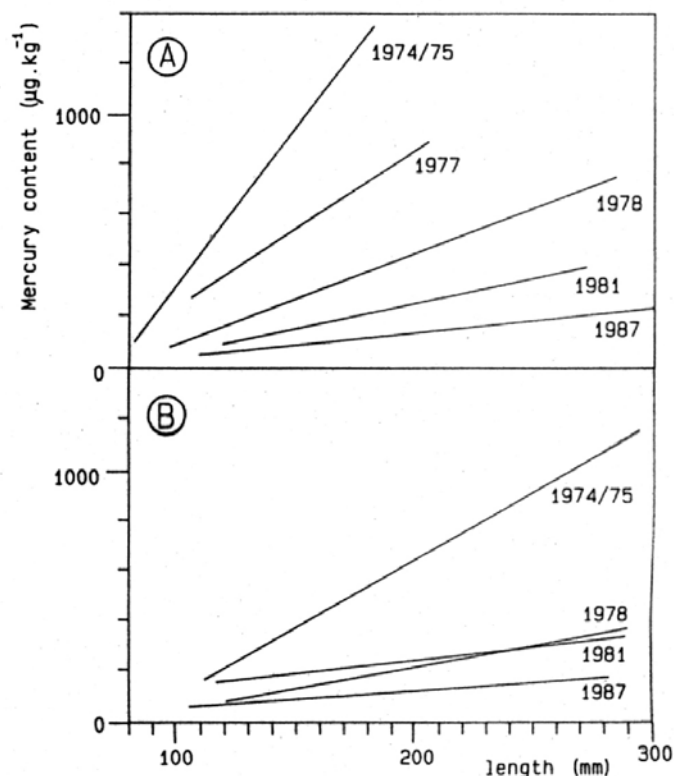
Persistente verontreinigingen, zoals zware metalen en pesticiden, hebben de eigenschap zich in de voedselketen tot steeds hogere concentraties op te hopen. Dit maakt plaatsgebonden organismen, zoals bodemdieren, een geschikt medium voor het uitvoeren van chemische monitoring. Het gebruik van accumulerende organismen heeft bovendien het voordeel dat de in de weefsels van deze dieren voorkomende contaminant gehalten een temporele integratie zijn van vaak variabele concentraties in het water. Daarenboven zijn de hogere concentraties in organismen chemisch analytisch veelal gemakkelijker te bepalen dan de lage concentraties in de waterfase.

Mossels (*Mytilus edulis*) zijn en worden veel gebruikt in chemische monitor programma's (DE WOLF & LEWIS, 1972; PRIES e.a., 1982; BOVELANDER & AKHIAT, 2003). Hierbij kunnen twee werkwijzen worden gevolgd. De ene maakt gebruik van lokaal voorkomende mossels (z.g. passief monitoren), de andere van uniform uitgangsmateriaal, afkomstig van relatief schone wateren (zg. actief monitoren). De "actieve" methode heeft als belangrijk voordeel dat het uiteindelijk meetresultaat minder spreiding vertoont, en daardoor een duidelijker beeld geeft van de verontreinigingssituatie, en van de ontwikkeling daarin.

Sommige vissoorten zijn gedurende hun leven ook vrij sterk plaatsgebonden. Daarom is de puitaal (*Zoarces viviparus*) gebruikt om de veranderingen in de mate van kwikverontreiniging in Waddenzee en Eems-Dollard estuarium te monitoren (ESSINK, 1985, 1988, 1989).

Figuur 4.4.

Relatie tussen lengte en kwikgehalte van puitaal (*Zoarces viviparus*) in het Eems estuarium (A) en de westelijke Waddenzee (B). (Bron: ESSINK, 1988).



4.4 TMAP 'Common Package'

In het Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP) is een gemeenschappelijk basispakket van te monitoren parameters afgesproken (Tabel 4.1). Dit pakket is zodanig samengesteld dat het in staat is die basisinformatie te leveren die nodig is om de beoogde evaluatie van de 'doelen' van het Wadden Sea Plan mogelijk te maken.

Tabel 4.1.
Parameters van het "Common Package" van het Trilateral Monitoring en Assessment Programma (TMAP)

Chemische parameters • Voedingsstoffen (nutriënten) • Metalen in sediment • Contaminanten in mossel, bot en vogeleieren • TBT in water en sediment • Olieslachtoffers (aangespoelde vogels)	Habitat parameters • Mosselbanken • Kwelders • Stranden en Duinen
Biologische parameters • Fytoplankton • Macroalgen • Zeegras • Macrozoobenthos • Broed- en trekvogels • Gewone zeehond	Menselijk gebruik parameters • Visserij • Recreatie activiteiten • Landbouw • Kustverdediging Algemene parameters (ondersteunende)

4.5 Kwaliteitsborging

Een essentieel, maar nog al eens stiefkinderlijk bedeed aspect van monitoring is de kwaliteitsborging. Kwaliteitsborging is ondermeer noodzakelijk om te zorgen dat een consistente meetreeks ontstaat, waarbij getallen verkregen in verschillende perioden, waarin nogal eens verschillende personen de analyses uitvoerden, toch goed met elkaar vergeleken kunnen worden. Dit is niet alleen een nationaal, maar ook een internationaal belang als nationale monitor programma's onderdeel vormen van internationale programma's zoals bijvoorbeeld in het kader van OSPAR.

In de praktijk moet kwaliteitsborging betrekking hebben de volgende aspecten:

1. Kennis van het doel van de activiteit (monitoring of onderzoek)
2. Beschikbaarheid van op het doel toegesneden laboratorium faciliteiten en apparatuur;
3. Beschikbaarheid van taxonomische determinatiewerken, en regelmatige updates hiervan, met de mogelijkheid ook nieuw geïntroduceerde soorten te herkennen;
4. Beschikbaarheid en training van personeel ten behoeve van het uitvoeren van bemonsteringen en analyses;

5. Handleidingen voor een juiste wijze van monstername, conservering, transport en opslag van monsters en de daarna volgende analyse (Standard Operating Procedures);
6. Gebruik van een nauwkeurig documentatiesysteem voor alle handelingen in het gehele werkproces;
7. Opstellen van checklijsten van alle soorten die in een monitor- of onderzoeksprogramma kunnen worden verwacht, met toepassing van up-to-date nomenclatuur;
8. Controle op de geschiktheid van de gebruikte analysemethoden opdat de meetresultaten de kwaliteit hebben die nodig is voor het nagestreefde doel;
9. Uitvoeren van regelmatige intercalibraties of ringonderzoeken met andere laboratoria om de kwaliteit van het eigen personeel en systeem te checken;
10. Het beheren van de verkregen informatie in een geschikte data base resp. informatiesysteem.

Voor diverse parameters en parametergroepen van het MWTL-programma, waaronder bodemfauna, zijn als Standard Operating Procedures (SOPs) zg. standaardvoorschriften opgesteld (Tabel 4.2). Hierin staat nauwkeurig beschreven hoe de monstername, en de diverse aspecten van monsterbehandeling en analyse moeten worden uitgevoerd. Deze standaardvoorschriften maken bij uitbesteding van onderdelen van het MWTL aan externe instituten deel uit van de afgesloten contracten.

Enkele jaren geleden is voor het werk van de afdeling Biologie van het RIKZ een rapport opgesteld met een overzicht relevante aspecten van kwaliteitsborging (ESSINK & PEETERS, 2002). Door medewerkers van het Rijksinstituut voor Kust en Zee is ook meegewerkt aan een door de Internationale Raad voor Zeeonderzoek (ICES) opgesteld rapport met richtlijnen voor kwaliteitsborging bij biologische monitoring (REES, 2004).

Tabel 4.2

Standaardvoorschriften in gebruik bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ met betrekking tot het monitoren van macroscopische bodemfauna.

- Bemonstering en analyse van macroscopische bodemfauna van het sublitoraal van de Waddenzee, Oosterschelde, Westerschelde, Voordelta, Noordzee, Veerse meer en Grevelingenmeer.
- Bemonstering en analyse van macroscopische bodemfauna van het sublitoraal van de Waddenzee.
- Bemonstering en analyse van macroscopische bodemfauna van de droogvallende platen in de Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde (litoraal).
- Bemonstering en analyse van macroscopische bodemfauna van de Voordelta en de Noordzee (Nederlands Continentaal Plat).

4.6 Conclusies

Voor elk monitor programma moet van aanvang aan *waarom* moet worden gemonitord. Hieruit volgt dan automatisch *wat* precies gemonitord moet worden om de informatievraag(en) te kunnen beantwoorden. Die informatie vraag is ook sturend voor *waar* en *hoe* de monitoring moet worden uitgevoerd, en heeft onder meer betrekking op de bemonsteringsstrategie en de analytische en statistische methoden die nodig is om de bedoelde conclusies te kunnen trekken. Te vaak is het voorgekomen dat het doel van monitoren

onvoldoende helder is geformuleerd, hetgeen ook het risico inhoudt van een ongunstige kosten-baten verhouding (vgl. GRAY, 1980). Onontbeerlijk is een goed werkend systeem van kwaliteitsborging en een operationele data base voor het opslaan en verwerken van de monitorgegevens.

4.7 Literatuur

- Becker, P.H., J. Muñoz Cifuentes, B. Behrends & K.R. Schmieder, 2001** - Contaminants in bird eggs in the Wadden Sea. Spatial and temporal trends 1991 – 2000. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Wadden Sea Ecosystem No. 11: 1-67.
- Becker, P.H. & J. Muñoz Cifuentes, 2004** - Contaminants in bird eggs. Recent spatial and temporal trends. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Wadden Sea Ecosystem No. 18: 5-24.
- Boveland, R.W. & A. Akhiat, 2003** - National evaluation report of the Joint Assessment and Monitoring Programme of the Netherlands 2001. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Den Haag, Report RIKZ/2003.004.
- Brolsma, P., W. Cofino & K. Essink, 1987** - Monitoren zoute watersystemen. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Nota GWIO 87.018.
- Colijn, F. & W. Cofino, 1989** - Biologisch monitoren zoute wateren. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Nota GWAO 89.003.
- Colijn, F. & I. Akkerman, 1990** - Biologisch monitoringprogramma zoute wateren, stand van zaken 1990. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Nota GWAO-90.018.
- DGW/RIZA, 1993** - Monitoring Rijkswateren. Rijkswaterstaat, DGW/RIZA. Dienst Getijdewateren, Rapport DGW-93.024.
- Diekema, K., 1977** - Waterkwaliteit in het Eems-Dollard estuarium 1972 – 1975. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Lelystad.
- Essink, K., 1985** - Monitoring of mercury pollution in Dutch coastal waters by means of the teleostean fish *Zoarces viviparus*. *Neth. J. Sea Res.* 19: 177-182.
- Essink, K., 1988** - Decreasing mercury pollution in the Dutch Wadden Sea and Ems Estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 19: 317-319.
- Essink, K., 1989** - Chemical monitoring in the Dutch Wadden Sea by means of benthic invertebrates and fish. *Helgol. Meeresunters.* 43: 435-446.
- Essink, K., 1995** - Change of strategy for monitoring macrozoobenthos in the Dutch sector of the North Sea. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Haren. Working Document nr. RIKZ/OS-95.606x.
- Essink, K. & H.L. Kleef, 1991** - Comparison of sampling strategies for trend monitoring of intertidal sedimentary macrozoobenthos. In: B.F. Keegan (Ed.), *COST 647 Coastal benthic Ecology. Activity Report 1988 – 1991*. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 287-294.

-
- Essink, K. & K. Peeters, 2002** - Kwaliteitsborging van onderzoek en advies bij de afdeling OSB. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Den Haag. Werkdocument RIKZ/OS/2002.602x.
- Gray, J.S., 1980** – Why do ecological monitoring? Mar. Pollut. Bull. 11: 62-65.
- Hoeven, P.C.T. van der, 1982** - Watertemperatuur en zoutgehalte waarnemingen van het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek: 1860-1981. KNMI, De Bilt, Wetenschappelijk Rapport W.R. 82-8.
- Holtmann, S.E., A. Groenewold, K.H.M. Schrader, J. Asjes, J.A. Craeymeersch, G.C.A. Duineveld, A.J. van Bostelen & J. van der Meer, 1996** - Atlas of the zoobenthos of the Dutch Continental Shelf. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, North Sea Directorate, Rijswijk, 244 pp.
- Koolen, J.L., 1970** - Het onderzoek van oppervlaktewater en de activiteiten van de laboratoria. In: 50 jaar zuivering van afvalwater. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage: 45-58.
- Künitzer, A., G.C.A. Duineveld, D. Basford, J.M. Dewarumez, J. Dörjes, A. Eleftheriou, C. Heip, P.M.J. Herman, P. Kingston, U. Niermann, H. Rumohr & P.A.W.J. de Wilde, 1992** - The benthic infauna of the North Sea: species distribution and assemblages. ICES Journal of marine Science 49: 127-143.
- Meer, J. van der, 1994** - Sampling design of monitor programmes for marine benthos. A comparison between the use of fixed versus randomly selected stations. Netherlands Institute for Sea Research, Texel. (unpubl. Report).
- Pries, C., W.C. de Kock & J.M. Marquenie, 1982** - Specimen banks and monitoring of surface water pollution by organisms. TNO, Delft, Report P82/03a: 1-13.
- Rees, H. (Ed.), 2004** - Biological monitoring: General guidelines for quality assurance. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Denmark. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences No. 32.
- Ten Brink, B.J.E., S.H. Hosper & F. Colijn, 1991** - A quantitative method for description & assessment of ecosystems: the AMOEBA-approach. Mar. Pollut. Bull. 23: 265-270.
- Witbaard, R., 1997** - Tree of the sea. The use of the internal growth lines in the shell of *Arctica islandica* (Bivalvia, Mollusca) for the retrospective assessment of marine environmental change. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.
- Wolf, P. de & W.E. Lewis, 1972** - Een meetnet voor zware metalen langs de Nederlandse kust. TNO-nieuws 27: 504-511.



Uitlaatwerk afvalwaterleiding Hoogkerk – Waddenzee, najaar 1971 (Foto: Karel Essink)

SMEERPIEP

Tuzzen gladde billen van priel deur
zöcht vloud speulend en zingend zien pad
noar bonde bluiende kwellerraand.
Ien t hellere wotter snapt gernoat
en akkelaai ien swart wit bont pak
stapt aal strunend laans wotterkaant.

n Grode graauwe bek van beton mit
rood verroste verniende tanden
spijt stinkend drek en meurend sliet
maank noakende onschuld van gernoat.
Ook akkelaai zel t nait laank fenaaiern
bie dij smeerpiep ien t wad, achter diek.

Vloud, op pad noar lêste blom en blui,
smoort aal zuikend in t geutgat van mîns...
Dij het van akkelaai gain verlet.
Dij zöcht allain 'welvoart'! Bloots gêld, gêld!
En overt doarveur t rje leven.
Mor woart joe!!!
Ook le heuren tou dij levensket!!!

Wim Faber

5. Verontreiniging en benthos

5.1 Inleiding

In Nederland werd eigenlijk pas in 1953 een wettelijke regeling van kracht waarmee de gevolgen van afvalwaterlozingen op oppervlaktewater konden worden tegengegaan. De bepalingen in deze nieuwe Hinderwet (Staatsblad 274; 15 mei 1952) boden echter niet afdoende mogelijkheden voor de inmiddels noodzakelijk geachte bescherming van het oppervlaktewater. Dit kwam onder meer doordat lozingen van huishoudelijk afvalwater niet onder deze wet vielen, en het ook moeilijk was tegen reeds bestaande industriële lozingen op te treden (JANSEN, 1970). De geheel nieuwe Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO), die in 1970 van kracht werd, bracht hierin verregaande verandering.

Tijdens de zestiger jaren, waarin de WVO werd voorbereid, kende Nederland een grote bewustwording van de problematiek van water-, bodem en luchtverontreiniging. De aandacht beperkte zich aanvankelijk nog tot het zoete binnenwater, waar meetprogramma's werden gestart om de waterkwaliteit te onderzoeken (KOOLEN, 1970). Het routinematig onderzoek naar de kwaliteit van de Nederlandse badstranden kwam rond 1960 tot stand. Hydrobiologisch onderzoek van de waterkwaliteit startte bij Rijkswaterstaat in 1966.

De boeken van o.a. Rachel CARSON (1963, 1963a) leidden internationaal tot een sterk toegenomen bewustwording van de risico's van verontreiniging van het milieu voor het planten- en dierenleven en voor de mens. Ook in Nederland nam de bezorgdheid om de kwaliteit van het milieu een grote vlucht (o.a.: PETERS, 1971; QUISPEL e.a., 1970; VAN DE KAMER, 1970).

In de provincies Groningen en Drenthe was er sinds het midden van de 19^e eeuw sprake van ernstige verontreiniging van het oppervlaktewater. Dit "*biggest waste problem in the world*" (RIBBIUS, 1961) werd veroorzaakt door lozing van afvalwater door de vele in die regio aanwezige strokarton- en aardappelmeelfabrieken. Een deel van het organisch afval verdween via rotting in de kanalen, de rest werd via de Westerwoldsche Aa op de Dollard geloosd. Het duurde tot 1956 dat serieuze plannen werden gemaakt om te komen tot oplossing van dit zogenaamd 'veenkoloniaal afvalwaterprobleem' (zie ESSINK, 1998).

Hierbij werden een drietal fasen onderkend, namelijk 1) verbetering van het fabricageproces zodanig dat grondstoffen optimaal worden omgezet in producten, 2) biologische zuivering van de toch resterende afvalstromen (PETERS, 1970), en 3) afvoer van de restvervuiling via een persleiding (de zg. "smeerpip") naar het Eems-Dollard estuarium (EGGINK, 1965). Deze persleiding werd in 1977 in gebruik genomen en loosde in de Bocht van Watum nabij Bierum.

Ten westen van de stad Groningen waren de kanalen, en ook deels het Leekstermeer, vervuild door lozing van afvalwater van een tweetal

suikerfabrieken en een strokartonfabriek. Om een eind te maken aan deze situatie en om toekomstige problemen in het toen nog door indijking te vormen Lauwersmeer te voorkomen werd besloten tot afvoer van dit afvalwater via een persleiding van Hoogkerk naar de Waddenzee (DE GLOPPER e.a., 1960; WINKLER, 1961).

Zowel het plan voor de aanleg van de persleiding Hoogkerk-Waddenzee als het plan voor de Veenkoloniale Afvalwaterleiding (VKA) naar de Eems-Dollard (de zg. 'smeerpip') leidde tot felle discussies tussen natuur- en milieubeschermers (o.a. BAERENDS, 1970; VERWEY, 1971) en de overheid (zie Box 1 en 2). Dit leidde er toe dat de verantwoordelijke minister van Verkeer en Waterstaat in 1967 besloot tot het laten uitvoeren van een onderzoek naar de effecten van lozing via de persleiding Hoogkerk-Waddenzee door de Rijksuniversiteit te Groningen in samenwerking met Rijkswaterstaat Directie Groningen en het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA) (ESSINK, 1976, 1978). Iets later werd door de gezamenlijke ministeries van Verkeer en Waterstaat, Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Onderwijs en Wetenschappen en Landbouw en Visserij besloten in het Eems-Dollard estuarium een uitgebreid onderzoek te laten uitvoeren. Dit Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium (BOEDE) werd uitgevoerd door biologen en chemici van de Rijksuniversiteit Groningen en het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (BOEDE, 1983) en leverde onder meer een ecosysteemmodel op van het Eems-Dollard estuarium (BARETTA & RUARDIJ, 1988).

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van het benthos onderzoek op het Groninger Wad naar de effecten van de lozing via de persleiding Hoogkerk-Waddenzee, en van het benthos onderzoek in de Dollard naar het effect van de sanering van de veenkoloniale afvalwaterlozingen. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om de effecten van lozing van organisch afval op het ecosysteem van de Waddenzee.

5.2 Het effect van de persleiding Hoogkerk-Waddenzee

5.2.1. Probleemstelling

Het oorspronkelijk plan was de persleiding te laten uitmonden in een permanent watervoerende getijgeul, de Warffumerlaag, teneinde een grote initiële verdunning en effectieve verspreiding van het afvalwater te verkrijgen (DE GLOPPER e.a., 1960). Tijdens de aanleg van de persleiding buitendijks ontstonden echter zodanige problemen, dat besloten werd de lengte in te korten. Het uitlaatwerk werd gepositioneerd in een van de noordelijkste bezinkvelden van de toenmalige landaanwinningswerken (Figuur 5.1), een netwerk van rijshouten dammen en regelmatig uitgediepte greppels waarin slib tot bezinking kwam (KLINKHAMER, 1987). Een kleine priel te midden van droogvallende wadplaten zou het afvalwater naar de diepere getijgeul moeten afvoeren. Hierdoor zou de initiële verdunning van het afvalwater aanzienlijk geringer zijn, en omvangrijke sterfte onder de voor wadvogels als voedsel belangrijke bodemfauna tot gevolg kunnen hebben. Deze sterfte zou het directe gevolg kunnen zijn van het lozen

Ir. J. H. Jansen van Rijksdienst voor Zuivering van Afvalwater:

Geen reden voor ongerustheid over vervuiling van het Wad

„Zuivering van vuil water niet nodig”

(Van onze redactie in Den Haag)
Er is geen reden voor ongerustheid over vervuiling van de Waddenzee door afvalwater.

Afvalwaterleiding wordt 23 september in gebruik gesteld

De minister van Verkeer en Waterstaat, drs. J. A. Bakker, zal op dinsdag 23 september de afvalwaterleiding Hoogkerk-Waddenzee in gebruik stellen. Die dag wordt er om drie uur een bijeenkomst gehouden in de kantine van de Coöperatieve Strokkartonfabriek De Halm in Hoogkerk.

„Het resultaat van het ingrijpen in een biologische gemeenschap is alomtegenwoordig moeilijk voorspelbaar,” zegt de onafhankelijke universiteit.

Donderdag 24 April 1969

FATALE PERSLEIDING SEPTEMBER IN GEBRUIK van Waddenzee zal de beerput van Groningen worden

Nadelen van vervuiling Wad lichtvaardig weggewuifd

In de komende september maand zal de persleiding voor industrie afvalwater van de beerput van Groningen worden aangelegd.

Drs. K. Essink: Persleiding doodt dieren in Waddenzee

(Van een onzer verslaggevers) De verwachting is dat een aantal dieren dat nu nog leeft in de Waddenzee, dood zal gaan nu de persleiding is aangelegd.

Winschoter Courant 23 juni 1970

Prof. Baerends in Groningen „Rijk moet vervuiling van Wadden zelf gaan onderzoeken”

(Van onze redactie in Groningen)

„De overheid zal zelf de gevolgen van lozing van ongezond afvalwater moeten onderzoeken, als we op meerdere plaatsen langs onze kust persleidingen in zee laten uitmonden. Men kan dit dan niet meer „zomaar even” overdoen aan de universiteit die daar dan een bioloog mee belast en daarbij parasiteert op andere universiteitsdiensten. Bovendien zullen de rapporten openbaar gemaakt moeten worden”.

Voor deze aanpak pleitte prof. Baerends, hoofd van het zoölogisch instituut van de Rijksuniversiteit Groningen.

„Vuil water op wad is grafzerk van vissers”

In uw blad van donderdag 2 oktober staat: „Nog geen merkbare gevolgen van de lozing van afvalwater in de Waddenzee”. Daarbij werd ik geschokt door de ondeskundigheid van 'n deskundige over vloedschade naar de Oude Wester Eems van de heer C. T. Bergman van de dienst landaanwinning van de Rijkswaterstaat te Baflo. Iedere visser, van Termunten Usqueet, kan het tegendeel bewijzen.

WADDEN BULLETIN: Geen reden voor feest als persleiding begint met vergifigen Wadden

Er is geen enkele reden voor feestelijkheid bij de aanstaande ingebruikneming van de persleiding Hoogkerk-Waddenzee, vindt de heer J. G. W. Bolomey, die schrijft in de vandaag verschenen aflevering van het Waddend Bulletin, het orgaan van de Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee.

„We kunnen nog slechts één ding vragen: bespaar ons de officiële gebruiksname met toespraken, gen, ballonnetjes, bloemen-jong en druk-op-de-knop, want het publiek juichend ziet hoe een de stroom van stinkend vuil zich met levens uithoudigste en prachtigste mensgemeenschappen die de natuur ons bieden kan”, schrijft de heer Bolomey, vice-voorzitter van de vereniging en ex-directeur van de werken Den Haag.

Hij pleit er voor de kraan van de persleiding „in het holst van de nacht” op een heel klein kiertje open te zetten en dan met een scheepje open te gooien met de modernste apparatuur en de bestuderen, zodat eventueel ongunstige uitslag van het onderzoek, de kraan meteen weer dichtgevoerd kan worden.

De heer Bolomey vreest het ergste van de Waddenzee van de persleiding: „stinkende water en dood, in de Waddenzee”.

lijking tot andere gemeenschapskosten, vrij goedkoop, aldus het artikel in Waddend Bulletin. Mocht het toch zo zijn dat een industrie te duur moet gaan produceren (in verhouding tot buitenlandse concurrenten) door de buitensporige kosten, dan is het maar een economisch probleem, er de landbouw de

Nog geen merkbare gevolgen van afvalwater in Waddenzee 3.4.69



Box 1

Persleiding van Veenkoloniën naar de Eems komt in zicht

NvA 31-12-1968
(Van een onzer verslaggevers)
Het eerste gesprek tussen de colleges van Gedeputeerde Staten van Groningen, Drenthe en Overijssel over het plan voor de afvoer van het industriële afvalwater uit de Groninger Veenkoloniën, Drenthe en Overijssel naar de Eems heeft plaats op 22 januari aanstaande. Aangenomen mag worden dat dan onder meer gesproken zal worden over de tussen het rijk en de drie provincies te treffen financiële regelingen inzake verdeling van kosten voor de aanleg van een ding.

Gedeputeerde hebben 21-1-69 dat

Commissie gevraagd voor
persleiding van Veenkoloniën

Duitsers bang
voor
vuile Eems

NvA 26-6-69
(Van een onzer verslaggevers)
De Duitsers zijn bang dat de persleiding voor afvalwater voor de Veenkoloniën de Eems zal vervuilen nog eens met Westland.

Gedeputeerde mr. J. J. Prins, die gisteravond gezegd bij de in Oude Pekela over de proble- de vuilwaterafvoer.

Technisch kan de aanleg in de eerste helft van het volgende jaar beginnen. De volgende jaren dat dit ook zou kunnen gebeuren, wa- zou zijde waren er ge- (meer).

Dezer dagen, zei mr. Prins, opnie- de Duitsers echter gezegd van overleg te willen door instelling van een commissie. "Ben ik goed ingelicht, dan zal ook de provincie hierin ver- tegenwoordig zijn," zei mr. Prins. Maar zelfs al zou het overleg soe- tenen, dan nog treedt er- Maar zelfs al zou het overleg soe- tenen, dan nog treedt er-

Ministerie studeert op biologisch onderzoek in Eems-Dollard

NvA 13-8-70
Op het departement van Verkeer en Waterstaat wordt op het ogenblik nagegaan op welke wijze binnen af- zienbare tijd begonnen kan worden met het biologisch onderzoek in het Eems-Dollard gebied. Dat heeft minis- ter Bakker van Verkeer en Waters gisteren aan de Tweede Kamer ge- gedeeld in antwoord op vragen PvdA-Kamerlid Wierenga.

De minister bevestigt de ber- van het Rijksinstituut voor Zu- van Afvalwater (RIZA), dat t- van magnetijd van de aard- magneetveld van de aard- magneetveld van de aard-

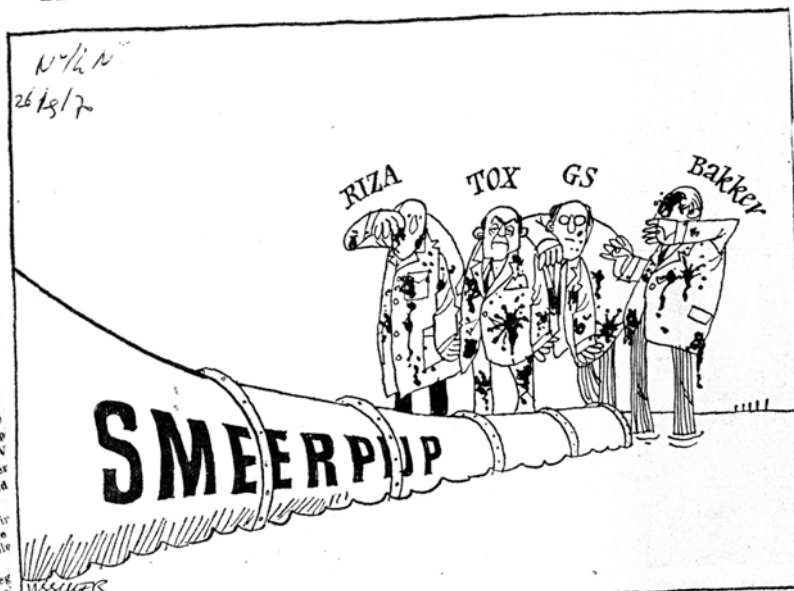
„Zuivering
afval aan
bron niet
duurder”

Box 2

Door
D. A. C. VAN DEN HOORN

DEN HAAG, vrijdag
De oppositie in West- land teken de door- lande vuil- in

HET VIEZE DING WERKT NOG NIET...



...en iedereen zit al onder de prut

VEEL KRITIEK OP HET RIZA

NvA 4-6-70
Vereniging tot behoud van de Waddenzee:

'Afvalwater bij bron zuiveren'

Zuiv- onderhavige problematiek hebben bezig- die de ..havens..

Duitse oppositie tegen „smeerpip”

Steun gezocht bij
Bondskanselier

van grote hoeveelheden zuurstofloos afvalwater, en van de zuurstofvraag bij de bacteriële afbraak van de grote hoeveelheid geloosd organisch afval.

Figuur 5.1

Het uitlaatwerk van de persleiding Hoogkerk-Waddenzee in de bezinkvelden van de landaanwinning, 4 uur na hoogwater, 14 oktober 1970. Meeuwen (witte stipjes) concentreren zich op het geloosde afvalwater (donker). (Bron: ESSINK, 1978)



In verband met de onvoorziene noodzaak tot inkorting van de persleiding was de hoofdplicht voor het uit te voeren onderzoek na te gaan of dit zou leiden tot onacceptabele gevolgen voor de organismen in de Waddenzee. Indien onacceptabele effecten zouden worden aangetoond, dan was het verantwoordelijk ministerie van Verkeer en Waterstaat bereid de leiding alsnog tot in de getijgeul te verlenging. Beoordelingscriteria voor het al dan niet acceptabel zijn van te constateren effecten werden evenwel niet vooraf geformuleerd.

5.2.2. Onderzoeksaanpak

Het onderzoek begon in het najaar van 1968, één jaar voor de ingebruikname van de persleiding op 23 september 1969. Dit betekende dat minder dan een jaar beschikbaar was om veldgegevens te verzamelen uit de onbeïnvloede periode (de zg. T-nul gegevens). Er moest een onderzoeksstrategie ontworpen worden om het mogelijk te maken de aard en omvang van de effecten van de afvallozing goed in beeld te krijgen. Er werd besloten het onderzoek vooral te richten op de waterkwaliteit, de macroscopische bodemfauna van de droogvallende wadplaten en de vissen en garnalen in de geulen. De waterkwaliteit werd gekozen omdat hierin de primaire effecten op de zuurstof- en nutriëntenhuishouding zouden kunnen worden waargenomen, die vervolgens zouden kunnen doorwerken op de bodemfauna en de vissen en garnalen. De analyses in de watermonsters werden uitgevoerd door het RIZA laboratorium te Sappemeer. De bodemfauna is van belang als voedselbron voor wadvogels en jonge platvis. Omdat de Waddenzee een belangrijke kinderkamer en opgroeigebied is voor platvissen en garnalen werden deze ook in het onderzoeksprogramma opgenomen.

Om te kunnen bepalen op welke ruimtelijke schaal het onderzoek zou moeten worden uitgevoerd werd bij gebrek aan operationele waterverspreidingsmodellen gebruik gemaakt van beschikbare stroom- en debietmetingen van Rijkswaterstaat uit 1958, 1962, 1965 en 1968, aangevuld met metingen in 1968 door het RIZA. Hiermee werd inzicht verkregen in de meer grootschalige waterbeweging op het Groninger en Uithuizer Wad, en de afhankelijkheid daarvan van windcondities (REENDERS e.a., 1975). Op basis van deze inzichten werden voor het onderzoek van zowel de waterkwaliteit, de bodemfauna als de vissen en garnalen bemonsteringslocaties gekozen op verschillende afstanden van het uitlaatwerk van de persleiding (ESSINK, 1978).

Een indruk van de verspreiding van het afvalwater op kleinere schaal kon pas worden verkregen ná aanvang van de lozingen. Hiervoor werd gebruik gemaakt van infrarood foto's vanuit een vliegtuig aangezien het door de suikerfabrieken geloosde afvalwater ca. 15 °C warmer was dan het ontvangende Waddenzee water. Aanvullend werd de verspreiding van het geloosde afvalwater m.b.v. waarnemingen vanuit een vliegtuig twee keer bestudeerd door het afvalwater te merken met kleurstoffen (Fluoresceïne resp. Rhodamine). Het waren vooral deze laatste waarnemingen die een redelijk gedetailleerd beeld opleverden van de primaire verspreiding van het afvalwater, en daardoor ondersteuning gaven aan de interpretatie van de bodemfaunagegevens die op de droogvallende platen werden verzameld (ESSINK, 1978).

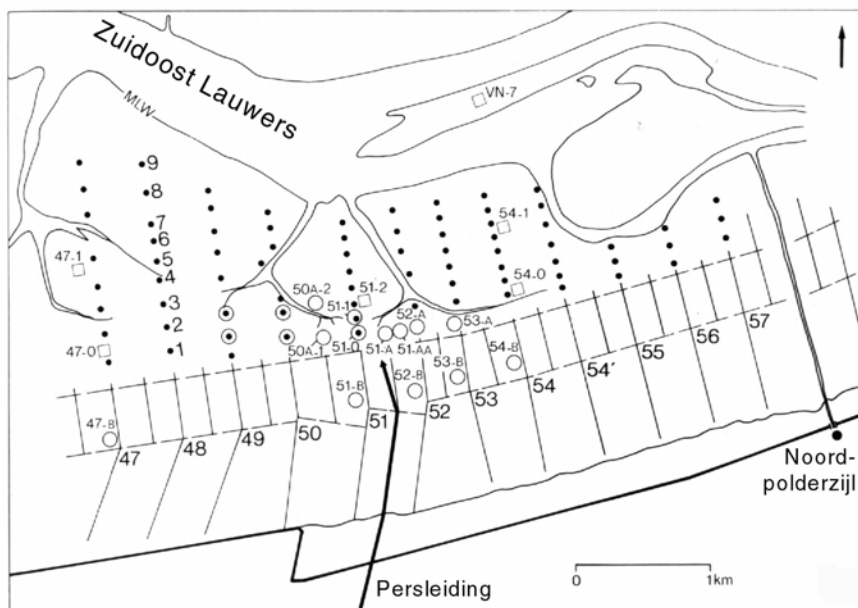
Voor de bodemfauna werd een tweeledige onderzoeksstrategie gevolgd voor meting van dichtheden, biomassa en groei van de verschillende soorten. Enerzijds werd een consistent monitorprogramma uitgevoerd, met hoogfrequente meting (ca. 10 keer per jaar) op permanente plots op uiteenlopende afstanden van het uitlaatwerk, en met laagfrequente meting (2 keer per jaar) op een fijnmazig net van monsterpunten op raaien op relatief geringe afstand van het uitlaatwerk (Figuur 5.2). Anderzijds werden kortdurende detailstudies uitgevoerd, waarvoor studenten werden ingeschakeld. De ruimtelijke spreiding van monsterlocaties had tot doel een vergelijking te kunnen maken tussen locaties die wel en locaties die niet door de afvalwaterlozing werden beïnvloed. De frequente metingen op permanente plots had tot doel de seizoens- en jaarlijkse dynamiek goed te beschrijven als basis voor het vergelijken van de beïnvloede en de niet beïnvloede gebieden. Omdat het geloosde afvalwater enkele honderden mg/l zwevende stof bevatte (o.a. tarra van de suikerbieten), die voor ongeveer de helft uit organische stof bestond, werden op alle bodemfauna meetlocaties ook sedimentmonsters genomen voor bepaling van het gehalte aan slib (fractie < 16 µm) en organische stof. Ook werden op enkele locaties metingen uitgevoerd van het zuurstofgehalte in het water, zowel in getijgeulen als boven de bij laagwater droogvallende platen. Het onderzoek van de bodemfauna besloeg een periode van 6 jaar (1969 t/m 1975).

5.2.3. Resultaten

In september 1969 werd de persleiding van Hoogkerk naar de Waddenzee in gebruik genomen. Gedurende de campagne van de suikerfabrieken in 1969-1973 werd dagelijks een hoeveelheid organisch

Figuur 5.2

Bemonsteringslocaties voor bodemfauna op het Groninger Wad: raaien (●) en permanente plots (□). (Bron: Essink, 1978)



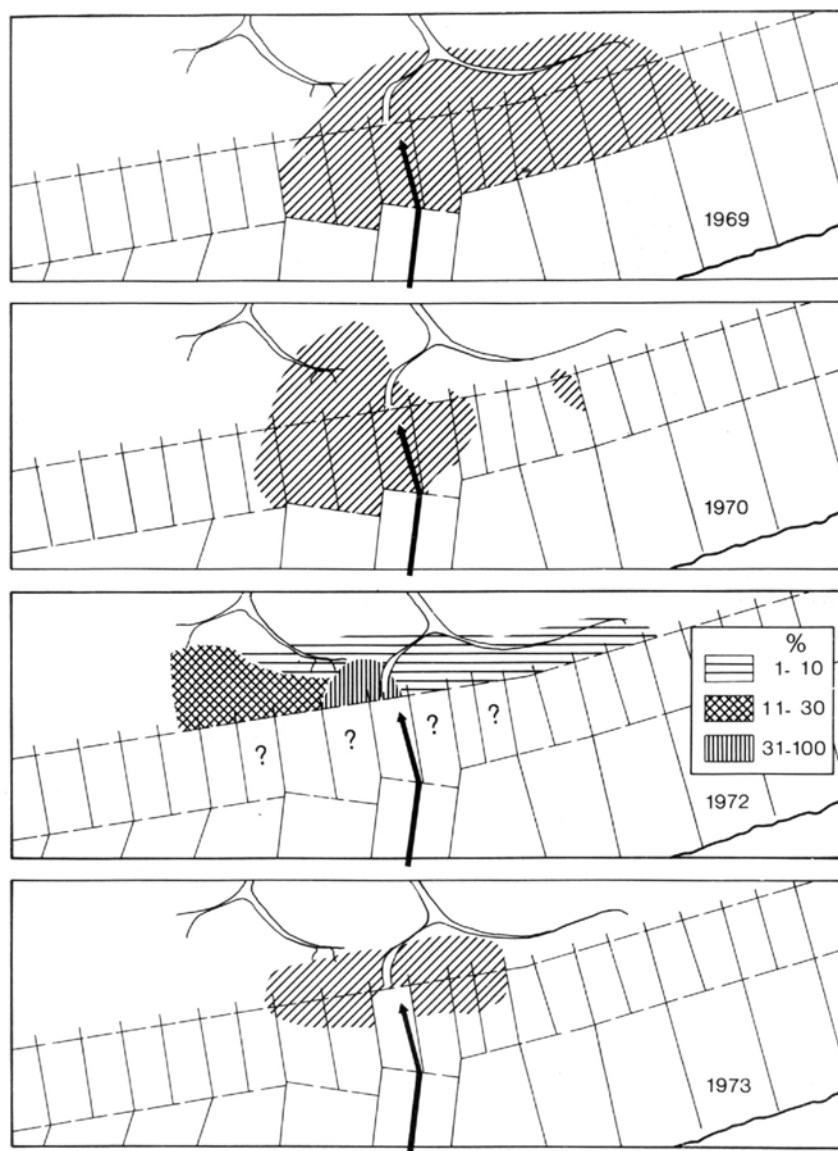
afval ter grootte van 35 – 56 ton BZV₅ (Biochemisch Zuurstof Verbruik, gemeten gedurende 5 dagen bij 20 °C in het donker) geloosd. Als gevolg van gewijzigde procesvoering bij de aangesloten suikerfabrieken daalde deze vuillast in 1974 tot ca. 10 ton BZV₅ per dag; buiten de bietencampagne werden slechts enkele tonnen BZV₅ per dag geloosd. Het afvalwater was bij lozing volledig zuurstofloos. Microbiële afbraak van de grote hoeveelheid organisch afval zou zuurstofproblemen kunnen veroorzaken voor de op het Groninger Wad levende vissen, garnalen en bodemdieren.

Een opvallend effect van de afvalwaterlozing was inderdaad het optreden van verlaagde zuurstofgehalten. Tijdens de bietencampagne werden in een 5 km lang gedeelte van de getijgeul Zuidoost Lauwers zuurstofgehalten gemeten die niet alleen lager waren dan in de overige maanden van het jaar, maar ook lager dan in dezelfde maanden in 1959-1962 door KAMPS (ongepubl. gegevens Rijkswaterstaat) was gemeten. Deze verlaagde zuurstofgehalten bleven echter beperkt tot de periode dat de omringende platen droog lagen, en kwamen alleen voor in de bovenste ca. 1 meter van de waterkolom. Van een nadelig effect op de bodemfauna in de geulen, en van de op de geulbodems levende garnalen en platvissen was dan ook geen sprake.

Op de platen dicht bij het uitlaatwerk van de persleiding (tot ca. 650 m) werden ook verlaagde zuurstofgehalten gemeten. Hier kwamen gedurende enkele uren per overstromingsperiode waarden voor van minder dan 50% zuurstofverzadiging. Sterfte onder kokkels (*Cerastoderma edule*) en nonnetjes (*Macoma balthica*), en in geringere mate onder strandgapers (*Mya arenaria*), was hiervan het gevolg (Figuur 5.3). Experimenteel werk maakte aannemelijk dat het aan het wadoppervlak voorkomen van kruipende, gapende en stervende kokkels en nonnetjes een gevolg is van zuurstofgebrek (BRAFIELD, 1963; DIJKEMA, 1975; LEENKNECHT, 1972).

Figuur 5.3.

Voorkomen van aan het sedimentoppervlak kruipende en stervende kokkels (*Cerastoderma edule*) gedurende het najaar. Voor 1972 is het aantal kruipende en stervende kokkels weergegeven als percentage van het totaal aanwezige kokkels.

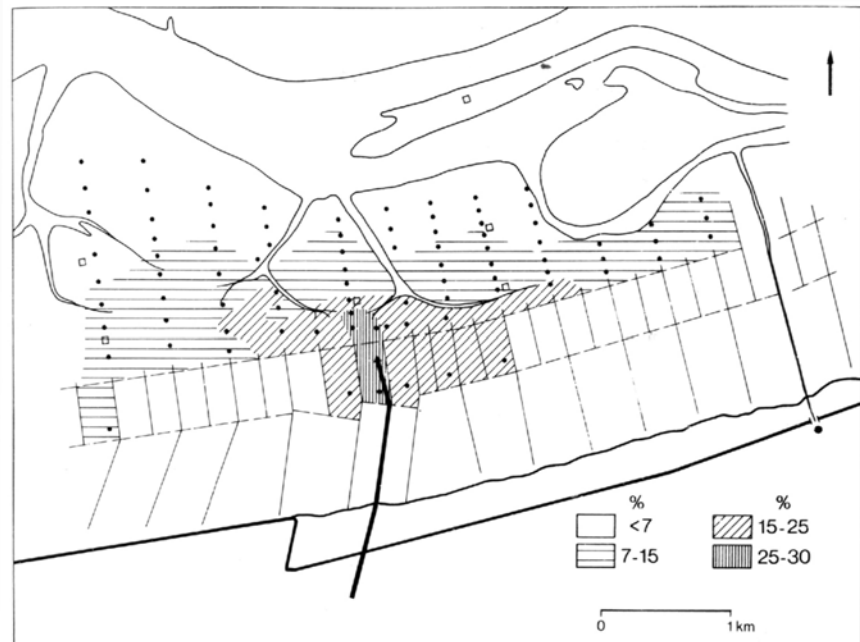


In een gebied van 15-20 ha rondom het uitlaatwerk bezonk veel van het geloosde organisch afval. Hierdoor nam het gehalte aan slib en organische stof in het sediment sterk toe (Figuur 5.4). Het sediment in het bezinkveld waarin het uitlaatwerk was gesitueerd werd hierdoor grotendeels anaëroob. Als gevolg hiervan konden de wadpier (*Arenicola marina*) en het wadslakje (*Hydrobia ulvae*) zich in dit 15-20 ha grote gebied niet meer handhaven. Door het sterk toegenomen slibgehalte was het sediment bovendien zo fijnkorrelig geworden dat volgens LONGBOTTOM (1970) de wadpier niet in staat is hierin zijn woonbuis in stand te houden. Jonge kokkels, nonnetjes (*Macoma balthica*), strandgapers (*Mya arenaria*) en zeeduizendpoten (*Nereis diversicolor*) konden zich in dit gebied in het voorjaar wel vestigen, maar zagen geen kans de extreme omstandigheden die in het najaar tijdens de bietencampagnelozingen heersten te overleven. Als gevolg van het verdwijnen van de wadslakjes moesten de in dit gebied foeragerende bergeenden (*Tadorna tadorna*) hun menu aanpassen. Zij

schakelden over op de sinds de lozingen talrijk voorkomende kleine wormen van de geslachten *Polydora* en *Tubifex* (DOORNBOS, 1975).

Figuur 5.4

Verspreiding van het organisch stof gehalte (gewichts %) van het sediment in najaar 1973. (Bron: Essink, 1978).



De twee keer per jaar, het voor- en najaar, uitgevoerde karteringen van bodemfauna in het platengebied tussen uitlaatwerk en Zuidoost Lauwers (zie Figuur 5.2) lieten door de jaren heen een vrij consistent ruimtelijk verspreidingspatroon van de qua aantallen belangrijkste soorten zien. De hoogste dichtheden kwamen voor de meeste soorten steeds in het zelfde deel van het gebied voor. Alleen op korte afstand van het uitlaatwerk werden lokale afwijkingen geconstateerd in het verspreidingspatroon, die toegeschreven konden worden aan de afvalwaterlozing (zie hierboven).

De dichtheden zelf varieerden sterk tussen de jaren, echter zonder dat een duidelijke samenhang te onderkennen was tussen het dichtheidsvariatie patroon van de verschillend soorten en de aanvang van de lozingen in 1969, de afname van de lozingsomvang in 1974, of de jaarlijkse periodes van hoge afvalafvoer gedurende de biotencampagne. Echter, aan in kooien uitgezette kokkels kon wel een effect van de afvallozing worden gemeten. In het najaar van 1974 werd een geringere sterfte gemeten dan in het najaar van 1972 toen een bijna 4 keer zo grote hoeveelheid organisch afval werd geloosd. Hieruit blijkt dat natuurlijke fluctuaties gemakkelijk een lokaal of tijdelijk effect kunnen maskeren.

Het kunnen discrimineren tussen natuurlijke fluctuatiepatronen in populatie dichtheid van soorten enerzijds en lokale verstoring van die patronen anderzijds is in de periode 1979-1992 onderwerp geweest van de COST 647 actie 'Coastal Benthic Ecology', een door de Commissie van de Europese Gemeenschap ondersteunde samenwerking tussen instituten die de lange termijn ontwikkelingen van bodemdieren bestudeerden (HEIP e.a., 1987; KEEGAN, 1991). In het kader van dit project werd een meer gedetailleerde analyse gemaakt van de

dichtheidsfluctuaties van de bodemdiersoorten zoals gemeten op de vijf permanente plots op het Groninger Wad en op 12 permanente monsterlocaties op de platen van het Balgzand in de westelijke Waddenzee (BEUKEMA & ESSINK, 1986; ESSINK & BEUKEMA, 1986). Het resultaat van deze analyses was dat bij veel soorten sterk parallel verloopende fluctuatiepatronen voorkomen, die voornamelijk door klimatologische factoren, zoals strenge dan wel zachte winters, worden bepaald. Voor twee van de vijf locaties op het Groninger Wad werd een afwijking van dit gemeenschappelijk fluctuatiepatroon waargenomen, hetgeen duidt op een lokale verstoring. Die verstoring was dus de afvallozing via de persleiding Hoogkerk - Waddenzee.

5.2.4. Discussie

Op de wadplaten van het Groninger Wad werd slechts een beperkt lokaal effect op de populaties bodemdieren waargenomen. Dit betrof een gebied van 15-20 ha. Dit locale effect werd in sterke mate bepaald door verandering van de eigenschappen van het sediment (gehalte aan slib en organische stof), en daardoor in de levensvoorwaarden van enkele bodemfaunasoorten (wadpier, wadslakje). Daarnaast werd het effect bepaald door de vooral in het najaar, tijdens de campagne van de aangesloten suikerfabrieken, optredende zuurstofproblemen, die sterfte veroorzaakten bij tweekleppige schelpdieren (kokkels en nonnetjes). Op iets grotere afstand werd een eventueel effect van de afvallozing mogelijk gemaskeerd door de grote natuurlijke fluctuaties in de dichtheid van voorkomen van de verschillende bodemfauna soorten. Hier kon alleen experimenteel nog effect gemeten worden (sterfte van in kooien uitgezette kokkels). Alleen bij nauwkeurige analyse van fluctuatiepatronen van dichtheden van bodemfauna soorten, zoals gemeten op verschillende locaties in de Waddenzee, was het mogelijk een locale verstoring op het Groninger Wad te identificeren. Op grotere afstand werden geen effecten gemeten. Dit was het gevolg van de vrij grote initiële verdunning van het geloosde afvalwater zodra het tijdens opkomend water over de wadplaten stroomt, en nog sterker nadat het de getijgeul Zuidoost Lauwers heeft bereikt (zie ESSINK, 1978). Doordat het afvalwater zoet en warm is, is het lichter dan het ontvangende Waddenzee water. Hierdoor blijven de laagste zuurstofgehalten beperkt tot boven in de waterkolom, waardoor weinig nadelig effect op de bodemfauna kan worden uitgeoefend. De effecten van lozing bleven daardoor slechts van lokale betekenis (ESSINK, 1984). Het onderzoek leverde derhalve geen argumenten op om de persleiding alsnog tot in de getijgeul te verlengen. De persleiding Hoogkerk-Waddenzee heeft niet lang voor verontreiniging op het Groninger Wad gezorgd. Met de intrede van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) in 1970 werden de op de persleiding aangesloten fabrieken niet alleen aangeslagen voor elke m³ af te voeren afvalwater, maar ook voor de vuillast (o.a. gemeten als BZV₅). Dit leidde bij deze bedrijven al snel tot aanpassing in het fabrieksproces, hergebruik van afvalwater, en in eigen beheer uitgevoerde aërobe zuivering.

5.3 Herstelstudie aan het benthos in de Dollard

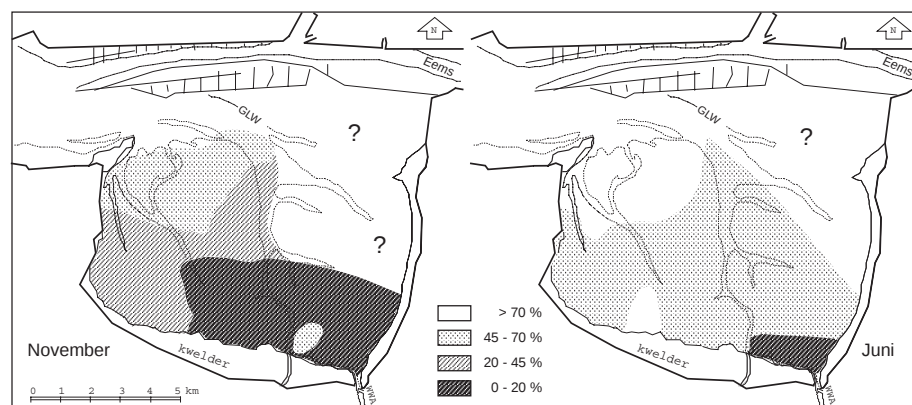
5.3.1. Probleemstelling

De lozingen van het zg. veenkoloniaal afvalwater op de Dollard via de Westerwoldsche Aa veroorzaakte problemen in de zuurstofhuishouding van de Dollard. Deze waren het grootst in het najaar, de periode waarin de fabriekscampagne van de aardappelmeelindustrie zich voltrok. In een groot deel van de Dollard was de zuurstofverzadiging minder dan 50% (Figuur 5.5). Als gevolg van deze lozingen was in het zuidoosten van de Dollard een gebied ontstaan met een sterk verarmde bodemfauna (Figuur 5.6). Deze waarnemingen uit het BOEDE-project (BOEDE, 1983) vormden het vertrekpunt van de evaluatiestudie die door het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA) te Sappemeer werd opgepakt, en werd afgerond door de na een reorganisatie ontstane Dienst Getijdewateren.

Deze evaluatiestudie had als doel na te gaan hoe het effect was van de saneringsmaatregelen bij de veenkoloniale industrieën (aardappelmeel, karton), met speciale aandacht voor het herstel van het bentisch ecosysteem in de Dollard. In dit hoofdstuk worden het macrozoobenthos en de tot de meiofauna behorende nematoden besproken. Voor de studie aan de bentische diatomeeën wordt verwezen naar PELETIER (1999).

Een evaluatiestudie is in wezen een onlosmakelijk onderdeel van de beleidscyclus (zie hoofdstuk 2), en is nodig om na te gaan of de maatregel (of pakket aan maatregelen) waartoe op een gegeven moment besloten is om een geïdentificeerd en erkend probleem op te lossen ook werkelijk het beoogde effect resorteert, namelijk de feitelijke oplossing van dat probleem.

Figuur 5.5.
Zuurstofverzadiging (%) tijdens
hoogwater in de Dollard in november
1974 (links) en in juni 1975 (rechts).
(Bron: VAN ES e.a., 1980).



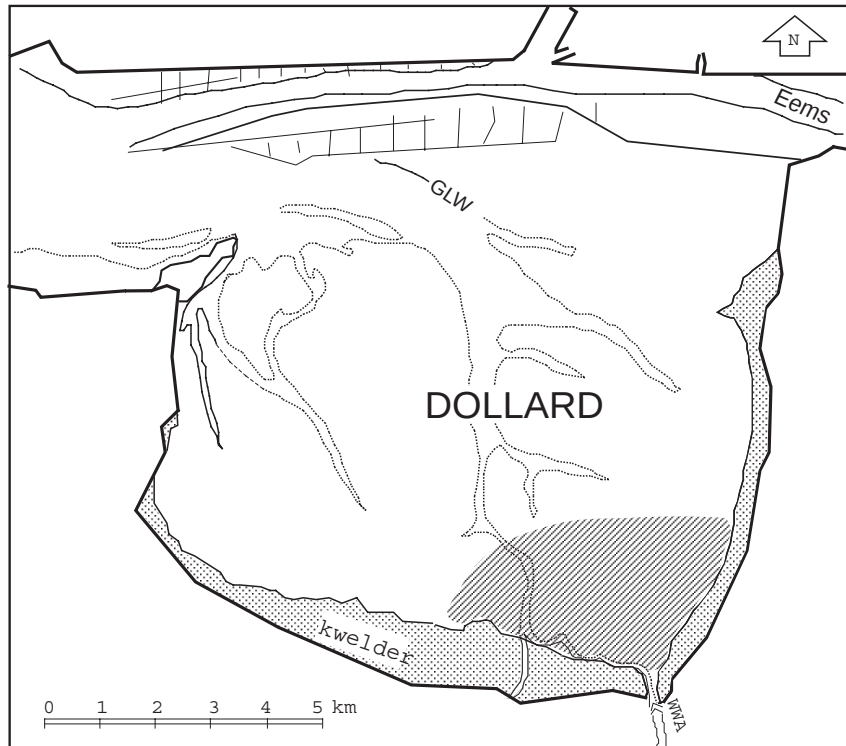
5.3.2. Onderzoeksaanpak

Voor het evaluatieonderzoek werd gebruik gemaakt van een drietal werkwijzen. Het voorkomen van de macroscopische bodemfauna soorten op de centraal in de Dollard gelegen Heringsplaat (Figuur 5.7) werd elk jaar in het voorjaar en in de nazomer gedocumenteerd door van elke soort de dichtheid (aantal per m²) en de biomassa (gram asvrij

drooggewicht per m²) te meten. Deze metingen werden uitgevoerd in het kader van het zg. MWTL-programma (Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand des Lands) van Rijkswaterstaat (zie HEINIS e.a., 1995).

Figuur 5.6.

Gebied in het zuidoosten van de Dollard waar in 1974-1979 een sterk verarmde (aantal soorten, biomassa) voorkwam. GLW = lijn van gemiddeld laagwater, WWA = Westerwoldsche Aa. (Bron: VAN ARKEL & MULDER 1979, 1982).

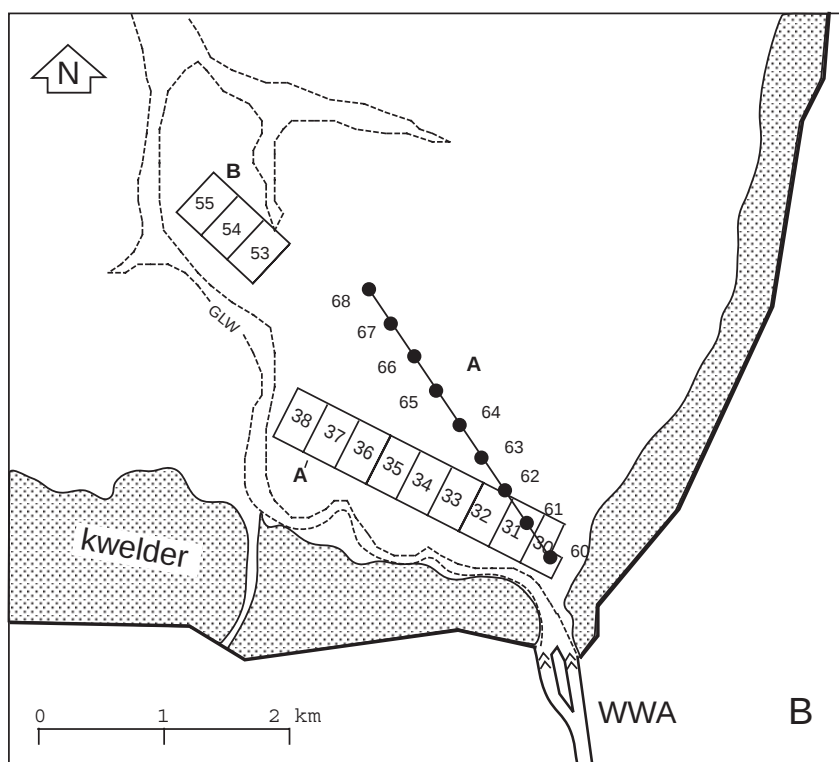
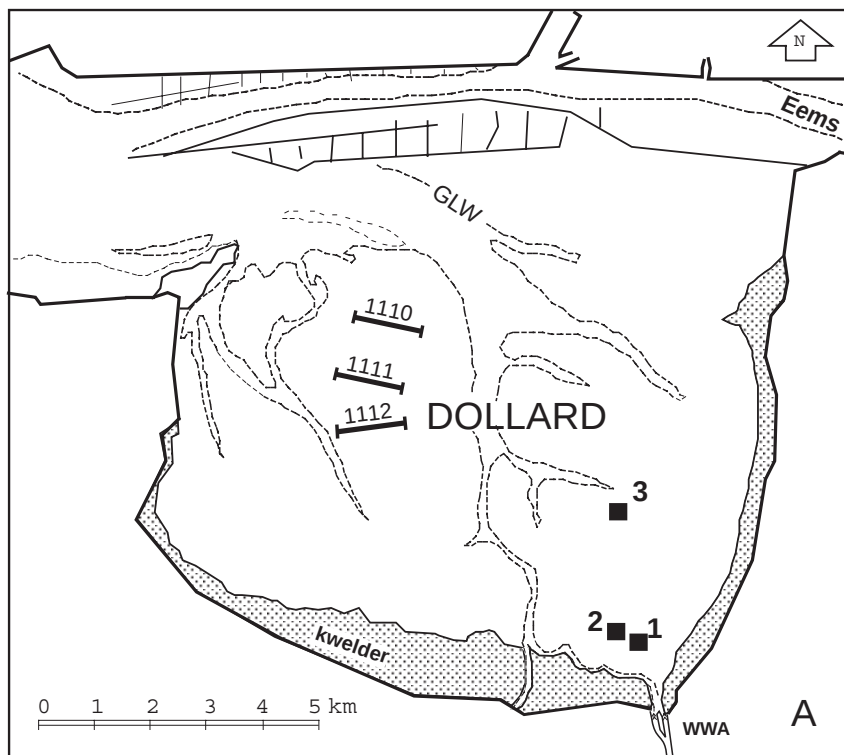


Nadat in de zomer van 1985 gebleken was dat in het zuidoosten van de Dollard nog steeds een gebied met verarmde bodemfauna aanwezig was (ESSINK e.a., 1987), werd de ontwikkeling van deze fauna gevolgd middels metingen op langs een tweetal raaien gelegen monsterpunten, op verschillende afstand van de spuisluis te Nieuwe Statenzijl, het lozingspunt van de Westerwoldsche Aa (Figuur 5.7). De methodiek van bemonstering langs een raai bood goede mogelijkheden de te verwachten veranderingen in de bodemfauna te beschrijven omdat in een oriënterende bemonstering was gebleken dat de belangrijkste hier voorkomende representant van de bodemfauna, de zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*), een concentrische patroon van dichtheid van voorkomen had, met de spuisluis van Nieuwe Statenzijl als middelpunt (Figuur 5.8). Gedetailleerde informatie omtrent de leeftijdsopbouw van deze soort werd verkregen door meting van de grootte van de kaken van deze borstelworm (ESSINK e.a., 1985). De grens tussen jonge en volwassen individuen is hier gelegd bij een kaaklengte van 0.76 mm (ESSELINK e.a., 1989).

Het onderzoek aan de nematoden werd in de zuidoostelijke Dollard uitgevoerd op drie monsterstations op verschillende afstand van de spuisluis. Dit waren stations waarin het BOEDE-project de eerste gegevens over deze groep van meiofauna waren verzameld (BOUWMAN, 1983; BOUWMAN e.a., 1984).

Figuur 5.7

Positie van bemonsteringsraaien en stations voor onderzoek aan bodemfauna in de Dollard. A. de raaien 1110-1112 voor bodemfauna monitoring op de Heringsplaat (MWTL) en de stations 1-3 voor onderzoek aan meiofauna in de zuidoost Dollard. B. de raaien A, A' en B voor gedetailleerd bodemfauna onderzoek in de zuidoostelijke Dollard. GLW = lijn van gemiddeld laagwater. WWA = monding van de Westerwoldsche Aa bij Nieuwe Statenzijl. (Bron: ESSINK e.a., 1985, 1998; ESSINK & ROMEYN, 1994)

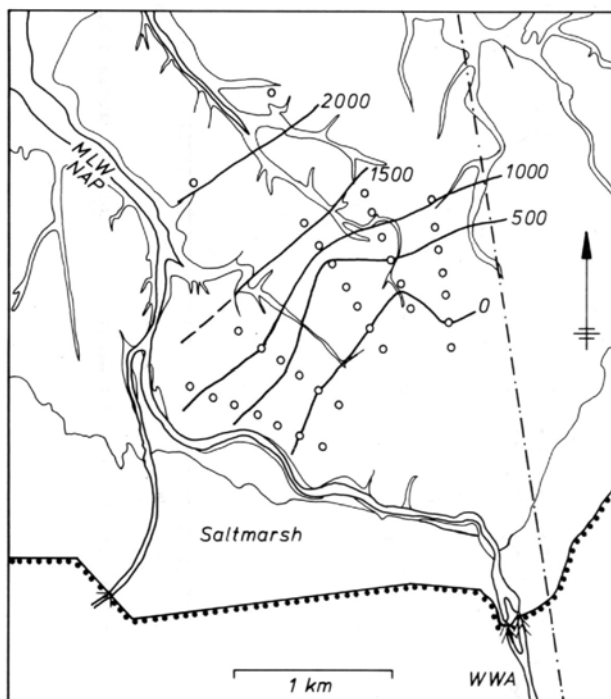


De waarnemingen in de zuidoostelijke Dollard werden niet met een jaarlijkse regelmaat ingewonnen. Omdat het saneringsproces van de afvalproductie door de veenkoloniale industrieën stapsgewijs verliep,

werd ingespeeld op de veranderingen in de omvang van de lozingen op de Dollard als gevolg daarvan (Figuur 5.9). Het evaluatie onderzoek werd daardoor gebaseerd op waarnemingen verzameld in de jaren 1978-1980 (sterk vervuild), 1985 (matig vervuild) en 1993 (vrijwel schoon).

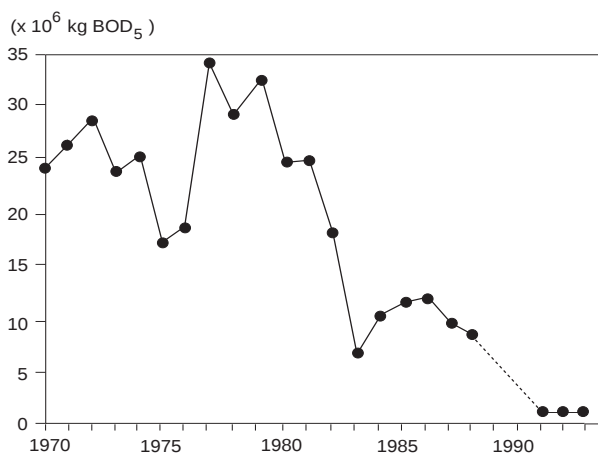
Figuur 5.8.

Concentrisch patroon van dichtheden (aantal per m²) van de zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) op 24 april 1978 in de zuidoost Dollard (Bron: ESSINK e.a., 1985).



Figuur 5.9.

Totale hoeveelheid op de Dollard geloosd veenkoloniaal afvalwater in de maanden augustus t/m maart. (Naar gegevens van Rijkswaterstaat en Provincie Groningen).



5.3.3. Resultaten

Nematoden

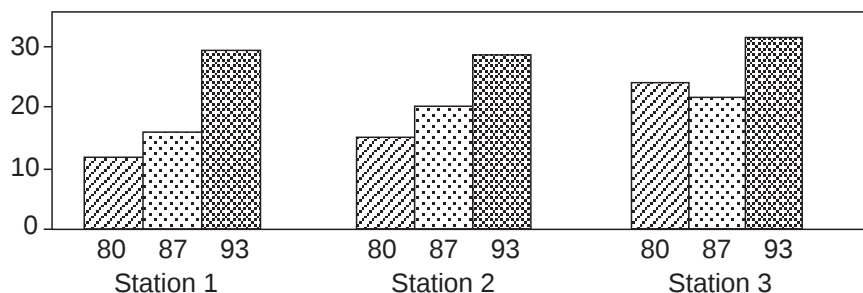
In de sterk vervuilde periode kwamen op de dichtheid de Westerwoldse Aa gelegen station 1 en 2 weliswaar hoge aantallen nematoden per m² voor (BOUWMAN e.a., 1984), maar het aantal soorten was er gering, duidelijk geringer dan het aantal soorten dat op station 3 werd waargenomen (Figuur 5.10). Na de reductie van de

afvallozingen in 1987 en 1993 waren de totale aantallen per m² verder afgenomen, maar de soortenrijkdom was toegenomen. Op station 3 was de soortenrijkdom in alle drie opname jaren relatief hoog, hetgeen aangeeft dat de nematodengemeenschap op deze locatie in 1980 niet significant door de hoge vuillast was aangetast zoals het geval was op de stations 1 en 2. De algemene afname van de totale aantallen nematoden per m² kan worden toegeschreven aan het in dezelfde tijd afgenomen bestand aan bentische diatomeeën (PELETIER, 1996).

Figuur 5.10

Aantal soorten nematoden, aangetroffen op 3 stations in de zuidoost Dollard in 1980 (sterk vervuild), 1987 (matig vervuild) en 1993 (schoon). (Bron: BOUWMAN, 1983; ESSINK & ROMEYN, 1994 en ESSINK & KEIDEL, 1998).

Aantal soorten



Bij de nematoden waren in 1980 de diatomeeëneters dominant op stations 1 en 2. Ze maakten daar 83,5 resp. 94,5% uit van de totale aantallen, tegen slechts 39% op station 3. In 1987 was het aandeel van de diatomeeëneters op de stations 1 en 2 afgenomen tot 45 resp. 63%, en in 1993 nog verder. Eén van de talrijkste diatomee-etende nematoden was *Eudiplogaster pararmatus*. Deze soort was in 1980 dominant aanwezig op station 1 en 2. In 1987 was zijn aandeel sterk geslonken, en in 1993 was deze soort helemaal verdwenen (Tabel 5.1). Van deze soort, die algemeen is in slibrijke brakke milieus, is bekend dat hij goed bestand is tegen fluctuaties in temperatuur, zoutgehalte en zuurstofdoordringing in het sediment. Dergelijke omstandigheden zijn typisch voor hoog gelegen slibrijke wadplaten zoals waar stations 1 en 2 zijn gelegen (BOUWMAN, 1983; ROMEYN e.a., 1983). De sterke afname van, en het uiteindelijk verdwijnen van *Eudiplogaster pararmatus* naarmate de omvang van de lozing van organisch afval via de Westerwoldse Aa afneemt is in overeenstemming met de voorkeur van deze soort en andere vertegenwoordigers van de familie van de Diplogasteridae voor organisch verrijkte milieus (zie ESSINK & ROMEYN, 1994).

Tabel 5.1.

Aandeel (%) van de soort *Eudiplogaster pararmatus* in de totale dichtheid van nematoden op drie stations in de zuidoost Dollard in 1980 (sterk vervuild), 1987 (matig vervuild) en 1993 (schoon). Voor ligging stations zie Figuur 5.5. (Bron: BOUWMAN, 1983; ESSINK & ROMEYN, 1994 en ESSINK & KEIDEL, 1998).

Jaar	Station 1	Station 2	Station 3
1980	57	79	2
1987	10	13	1
1993	0	0	0

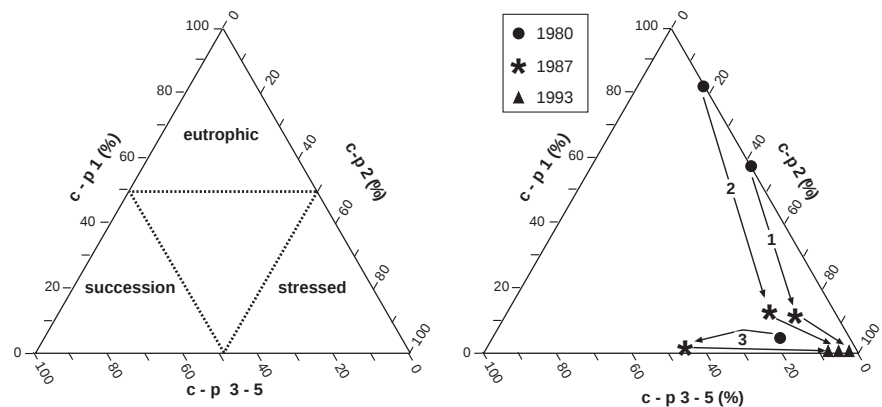
Wanneer een analyse wordt gemaakt van de soortensamenstelling van de nematoden gemeenschap, kunnen de verschillende soorten in een vijftal zg. c-p (colonizer-persister) groepen worden onderscheiden (BONGERS, 1990; BONGERS e.a., 1991). Deze groepen lopen uiteen van 'extreme colonizers' of 'enrichment opportunists' (c-p groep 1) tot 'persisters' (c-p groep 5). In 1980 kwamen op de stations 1 en 2 vrijwel

uitsluitend vertegenwoordigers van c-p groep 1 voor. In 1987 was het aandeel van deze groep afgenomen; op station 2 kwam zelfs een enkele soort uit c-p groep 4 voor ('moderate persisters'). In 1993, de schone periode, had deze ontwikkeling zich verder voortgezet, en was op geen der stations nog een vertegenwoordiger van c-p groep 1 aanwezig. Op alle stations werden nu 'moderate persisters' aangetroffen. 'Extreme colonizers / enrichment opportunists' zoals *Eudiplogaster paramatus* kwamen niet meer voor.

Wanneer de c-p groepen 3-5, met verschillende categorieën 'persister' soorten worden samengenomen, kan de gemeenschapsstructuur van de op een bepaalde locatie voorkomende nematoden op elegante wijze beschreven worden in een zg. c-p driehoek (DE GOEDE e.a., 1993). In figuur 5.11 wordt geïllustreerd hoe de nematoden gemeenschap op de stations 1 en 2 qua structuur nog sterk is aangepast aan sterk eutrofe condities. Zowel in 1987 als in 1993 kan de nematoden gemeenschap beschouwd worden als karakteristiek voor milieus onder natuurlijke stress. Deze stress wordt op de hooggelegen platen in de zuidoost Dollard veroorzaakt door sterke temperatuur fluctuaties, periodieke uitdroging en sterke fluctuaties in zoutgehalte samenhangend met de periodieke lozing van water uit de Westerwoldsche Aa. Een gemeenschapsstructuur die representatief is voor een situatie van natuurlijke successie is waarschijnlijk in deze zuidoostelijke hoek van de Dollard niet mogelijk.

Figuur 5.11.

Weergave van de nematode gemeenschapsstructuur in een c-p driehoek. Rechts is de gemeenschapsstructuur op de stations 1, 2 en 3 weergegeven zoals aanwezig in 1980, 1987 en 1993. Links is schematisch aangegeven welke delen van de driehoek representatief zijn voor de milieuomstandigheden sterk geëutrofeerd, stress anders dan eutrofie, en meer gematigde omstandigheden met natuurlijke successie. (Bron: DE GOEDE e.a., 1993; ESSINK & KEIDEL 1998)



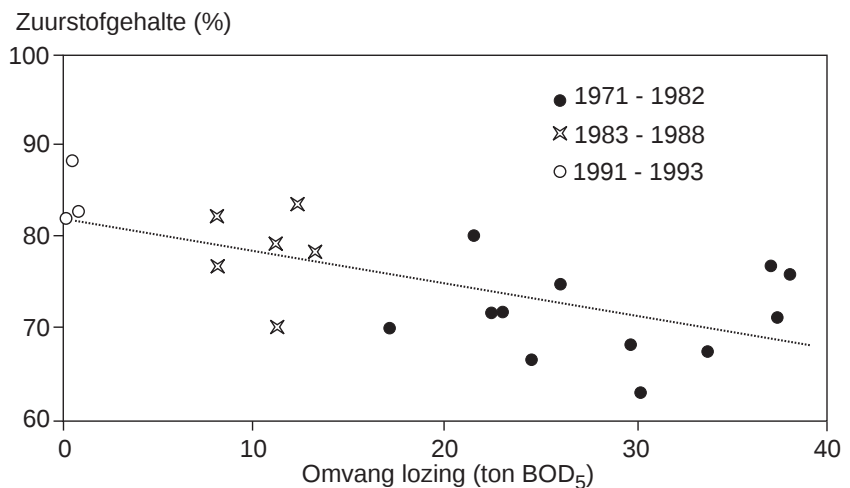
Macrozoobenthos

Op de centraal in de Dollard gelegen Heringsplaat liet de sinds 1977 gemonitorde bodemfauna gemeenschap geen eenduidige reactie zien op de stapsgewijze afname van de lozingen van organisch afval via de Westerwoldsche Aa. Alleen het slijkgarnaaltje (*Corophium volutator*) liet een trend van toenemende dichtheid en biomassa zien. Dit houdt mogelijk verband met het feit dat na 1983 in dat gebied lage zuurstofgehalten (40 – 50% verzadiging) niet meer regelmatig voorkwamen (ESSINK e.a., 1998a). Figuur 5.12 laat zien dat de reductie van de afvallozingen een duidelijk positief effect heeft gehad op de zuurstofhuishouding in het centrale deel van de Dollard (ESSINK, 2002). De populatie van de zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) nam daarentegen af (ESSINK e.a., 1998a). Deze trend wijkt af van de

toenemende trend die elders in de Waddenzee werd waargenomen (REISE, 1982; ESSINK e.a., 1998b). Deze afwijkende ontwikkeling in de Dollard zou een gevolg kunnen zijn geweest van competitie met de uit Noord Amerika afkomstige worm *Marenzelleria* cf. *wireni*, die zich in de tweede helft van de tachtiger jaren explosief ontwikkelde (ESSINK & KLEEF, 1993; ESSINK e.a., 1998a; ESSINK & DEKKER, 2000, 2002a, maar experimenteel onderzoek om de hypothese van competitieve interactie tussen deze twee soorten wormen te toetsen ontbreekt. Een andere mogelijke verklaring voor de achteruitgang van de zeeduizendpoot populatie is de afname van het voedselaanbod. Deze worm voorziet in zijn voedselbehoefte onder meer door het afgrazen van het wadoppervlak ('surface deposit feeding') en door het filtreren van water door een in zijn woongang gemaakt slijmnet dat vervolgens wordt opgegeten ('mucous-net suspension feeding'). Deze mogelijke verklaring wordt ondersteund door de negatieve correlatie tussen biomassa van de borstelwormen op de Heringsplaat en de omvang van de lozing van organisch afval via de Westerwoldsche Aa (Figuur 5.13) (PROP, 1998; PROP e.a., 1999).

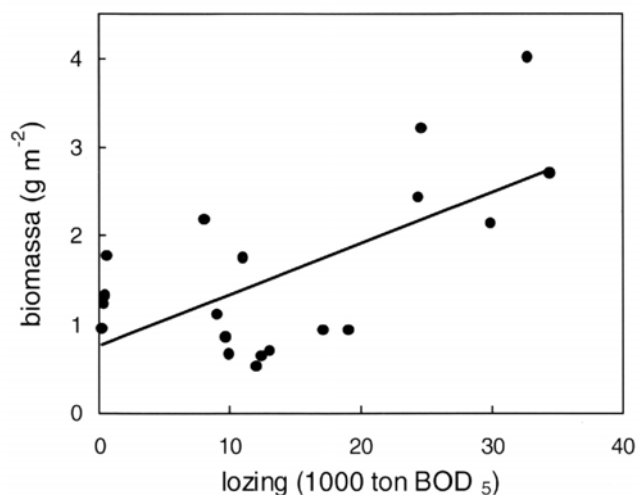
Figuur 5.12.

Relatie tussen het gemiddeld zuurstofgehalte (% verzadiging) gedurende het najaar in het Grootte Gat (centrale Dollard) en de omvang van de afvalwaterlozingen vanuit de Westerwoldsche Aa (in tonnen BZV₅). Gegevens opgesplitst in 1) de periode vóór de eerste saneringen (1971-1982), de periode tussen eerste en laatste sanering (1983-1988) en de jaren na de laatste sanering (1991-1993). ($r = 0.63$; $p < 0.002$) (naar gegevens van Rijkswaterstaat en provincie Groningen)



Figuur 5.13.

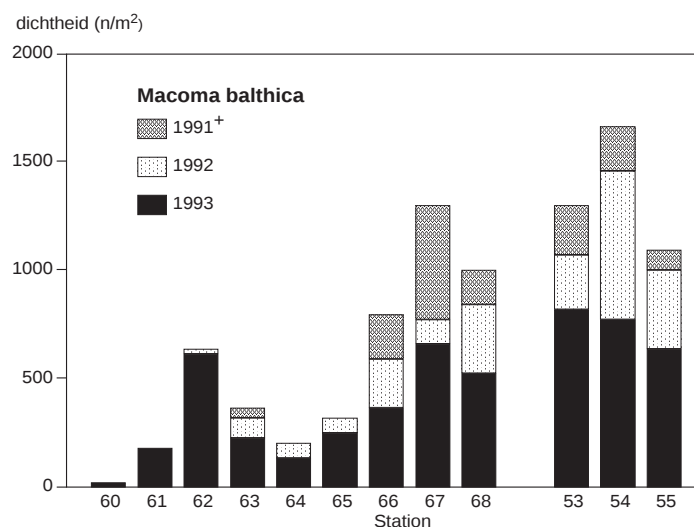
Verband tussen biomassa van borstelwormen op de Heringsplaat (centrale Dollard) en de omvang van de afvallozingen via de Westerwoldsche Aa in het voorafgaande jaar. ($r^2 = 0.41$; $p < 0.005$) (Bron: PROP, 1998).



Het nonnetje (*Macoma balthica*) vertoonde weer een ander patroon, met geleidelijk afnemende dichtheden van 1977 tot 1990, en daarna een toename. Een nadere analyse van de verzamelde gegevens van dit tweekleppig schelpdier maakte duidelijk dat vooral in de periode 1985-1992 lage dichtheden voorkwamen van oudere dieren (3 jaar en ouder), waardoor ook de biomassa een sterke daling liet zien (ESSINK e.a., 1998a). De oorzaak hiervan hangt niet samen met de veranderingen in de omvang van de afvallozingen, maar moet gezocht worden in toegenomen sterfte in drie opeenvolgende strenge winters (1985, 1986, 1987) (vgl. BEUKEMA, 1989; ESSINK & BEUKEMA, 1991), die in de Dollard gepaard gingen met omvangrijke en langdurige ijsbedekking. Daarnaast waren de jaren 1988, 1989 en 1990 gekenmerkt door een veel slechtere voortplanting dan gemiddeld, hetgeen een gevolg is van de voorafgaande zachte winters (BEUKEMA, 1982). Het bijzondere verloop van dichtheid en biomassa van het nonnetje op de Heringsplaat had dus vooral natuurlijke oorzaken. In het zuidoostelijk deel van de Dollard was er een duidelijker respons van de bodemfauna op de sanering van de afvalstroom uit de veenkoloniën. Uit de periode met sterke vervuiling (1979) zijn helaas geen gegevens beschikbaar over het voorkomen van het nonnetje in het najaar (VAN ARKEL & MULDER, 1982). In augustus 1985 werden slechts enkele dieren van jaarklasse 1985 aangetroffen; latere waarnemingen uit datzelfde najaar ontbreken helaas. In het najaar 1993 ('schone periode') is echter een geheel nieuwe situatie ontstaan. Op vrijwel alle raaiapunten (zie Figuur 7.7) kwamen nu minstens drie jaarklassen nonnetjes voor (Figuur 5.14), hetgeen aangeeft dat de soort zich tenminste 3 jaar in dit deel van de zuidoost Dollard heeft kunnen handhaven. Op de dichtst bij de monding van de Westerwoldsche Aa gelegen raaiapunten kwamen evenwel alleen broedjes (jaarklasse 1993) voor. Later in het najaar waren deze broedjes weer geheel verdwenen (WEBER, 1994). Dat deze broedjes zich hier niet konden handhaven kwam door de zoutgehaltes die hier regelmatig lager zijn dan de door WOLFF (1973) voor deze soort vermelde grenswaarde. De lozing van organisch afval heeft kennelijk geen invloed van betekenis meer op het voorkomen van deze soort.

Figuur 5.14

Gemiddelde dichtheid (aantal per m²) en jaarklas samenstelling van het nonnetje (*Macoma balthica*) op de raaien A en B (zie Figuur 7.7) in september + december 1993. 1991⁺ = jaarklassen 1991 en ouder (Bron: WEBER, 1994).



De worm *Nereis diversicolor* liet in de 'vuile periode' (1978-79) in de zuidoostelijke Dollard in de zomer een gradiënt zien van toenemende dichtheid bij toenemende afstand van het lozingspunt van de Westerwoldsche Aa. Tot op ca. 1,5 km vanaf de Westerwoldsche Aa was de dichtheid nul. In 1985, na de eerste reductie van de afvallozingen, kwam de zeeduizendpoot in hogere dichtheden voor, maar ontbrak nog steeds op de eerste halve kilometer. In 1993, werd een omgekeerde dichtheidsgradiënt gevonden, met hoge dichtheden nabij de Westerwoldsche Aa. Een dergelijke gradiënt met hoge dichtheden hoog in de getijdezone is een bekend patroon in de Waddenzee (DANKERS & BEUKEMA, 1981) en het Forth estuarium (MCLUSKY, 1987).

In de 'vuile periode' was er een vast patroon waarneembaar, waarbij de zeeduizendpoot de eerste helft van raai A/A' (zie Figuur 7.7) pas in mei/juni bevolkte door vestiging van een nieuwe jaarklasse. Maar deze nieuwkomers konden zich gedurende de afvalwaterlozingen tijdens de fabriekscampagne van de aardappelverwerkende industrie in het najaar niet handhaven (ESSINK e.a., 1985). Wanneer de dichtheidsverandering van de zeeduizendpoot in het najaar worden uitgezet tegen de afstand tot de monding van de Westerwoldsche Aa wordt duidelijk zichtbaar hoe groot het gebied is waarin de afvallozing het voorkomen van deze wormensoort beïnvloedt (Figuur 5.15). Gedurende het najaar van 1979 verdwenen alle wormen binnen 1,5 km afstand van de Westerwoldsche Aa, terwijl op grotere afstand een toename optrad, mogelijk door migratie. In 1985 was er bij de volwassen dieren een vergelijkbare respons. Op vrijwel alle stations van de raaien namen de dichtheden af, maar die afname was het grootst binnen 1,5 km vanaf de Westerwoldsche Aa. In de schone situatie in 1993 konden volwassen wormen zich daarentegen in het najaar op de gehele raai goed handhaven. Jonge wormen namen gedurende het najaar zelfs sterk toe, behalve dichtbij (<0,5 km) de Westerwoldsche Aa (Figuur 5.16). Het grootste deel van de zuidoost Dollard was dus een belangrijk habitat voor jonge wormen geworden. De dichtheidsafname vlak bij de Westerwoldsche Aa wordt naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door periodiek daar voorkomende erg lage zoutgehaltes, en is niet meer een gevolg van door afvallozing veroorzaakte lage zuurstofgehaltes.

Het slijkgarnaaltje (*Corophium volutator*), waarvan geen gegevens beschikbaar zijn uit de 'vuile periode', reageerde op vergelijkbare wijze op de reductie van de afvallozingen. In 1985 kwam de slijkgarnaal op raai A'-B voor met 2000-6000 exemplaren per m². Door de afvallozingen in het najaar konden deze dieren zich echter binnen ca. 2 km vanaf de Westerwoldsche Aa niet handhaven (Figuur 5.17). In het 'schone' jaar 1993 kon deze soort zich binnen ca. 1.5 km vanaf de Westerwoldsche Aa niet handhaven, maar op iets grotere afstand namen de dichtheden zelfs toe. Dit laatste zou een gevolg kunnen zijn geweest van migratie via de waterfase waartoe dit bodembewonende organisme in staat is (ESSINK e.a., 1989). Het vrijwel volledig verdwijnen van de afvallozingen via de Westerwoldsche Aa in 1993 heeft dus niet substantieel bijgedragen aan verbetering van de levensomstandigheden van de slijkgarnaal.

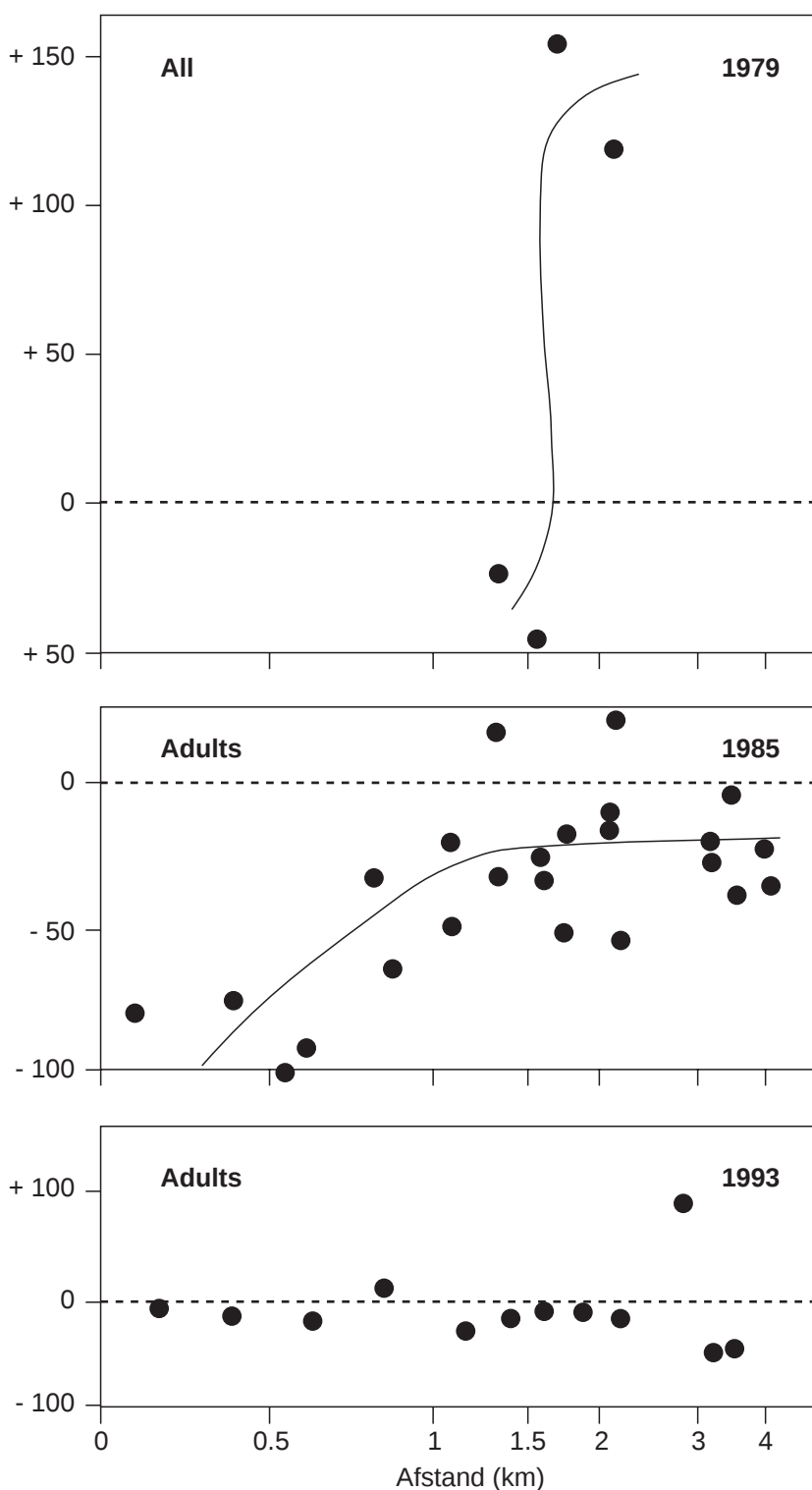
Figuur 5.15.

Dichtheidsverandering (%) van de zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) in de periode juli/augustus – december op de raaien A/A' en B in de zuidoost Dollard in 1979, 1985 en 1993. 'All' = alle individuen, 'Adults' = alleen de volwassen individuen.

Negatieve waarden geven een afname aan, positieve waarden een toename. Aangegeven op de X-as is de afstand van het raai-station tot de mond van de Westerwoldsche Aa.

(Bron: ESSINK e.a., 1985; ESSELINK e.a., 1989; WEBER, 1994).

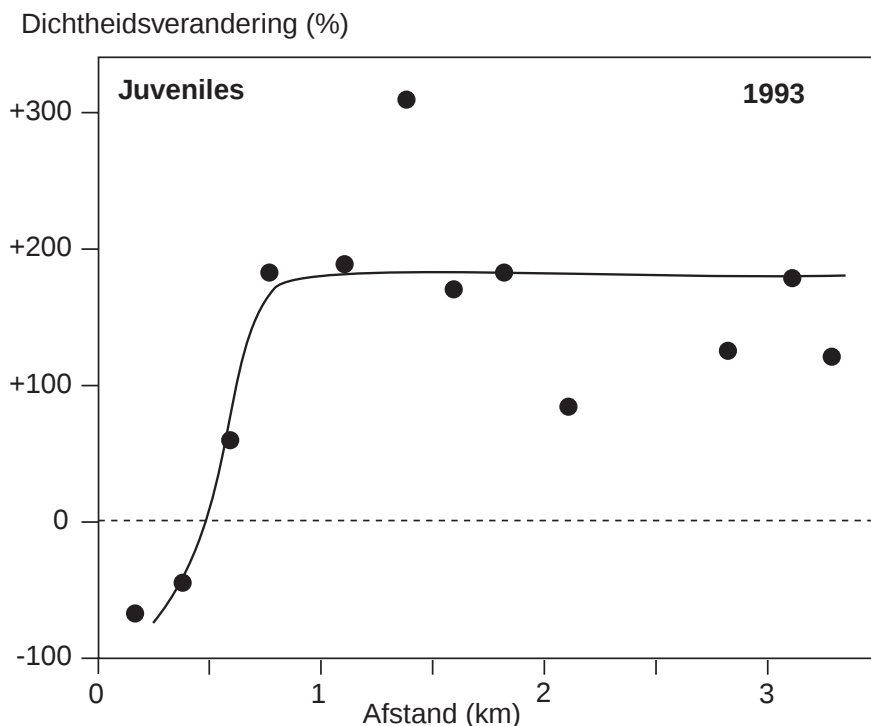
Dichtheidsverandering (%)



Of deze soort zich hier in het najaar kan handhaven wordt waarschijnlijk vooral bepaald door de zoetwaterlozing van de Westerwoldsche Aa. De slijkgarnaal is minder goed dan de zeeduizendpoot in staat lage zoutgehaltes te verdragen (WOLFF, 1973).

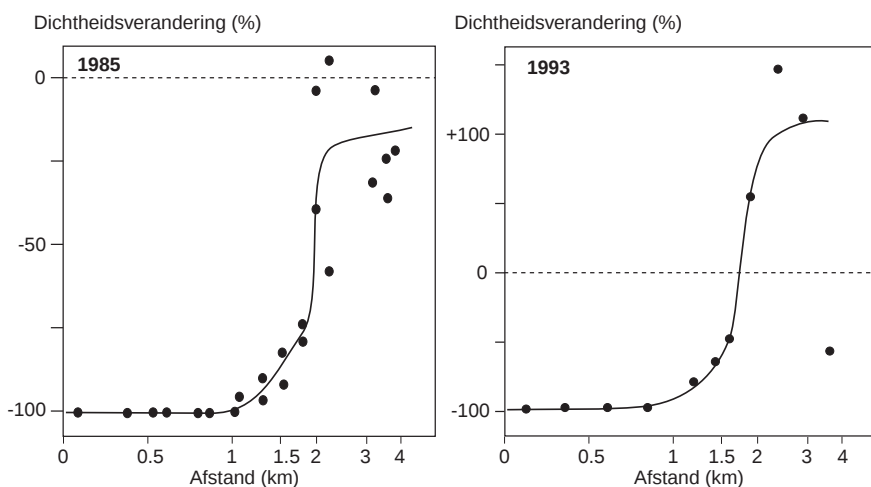
Figuur 5.16

Dichtheidsverandering (%) van jonge ('juveniles') zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) in de periode juli/augustus – december op de raaien A/A' en B in de zuidoost Dollard in 1993. Negatieve waarden geven een afname aan, positieve waarden een toename. Op de X-as is de afstand aangegeven van het raai-station tot de mond van de Westerwoldsche Aa. (Bron: WEBER, 1994).



Figuur 5.17.

Dichtheidsverandering van de slijkgarnaal (*Corophium arenarium*) op de raaien A/A' en B in de zuidoost Dollard in het najaar van 1985 (16 sept. – 21 okt.) en 1993 (31 aug. – 13 dec.). Negatieve waarden geven een afname aan, positieve waarden een toename. Op de X-as is de afstand aangegeven van het raai-station tot de mond van de Westerwoldsche Aa. (Bron: ESSELINK e.a., 1989; WEBER, 1994).



5.3.4. Discussie

Het onderzoek in de Dollard heeft laten zien dat het effect van lozing van afvalwater op de bodemfauna in sterke mate werd bepaald door de primaire invloed van de lozingen op de zuurstofhuishouding, zowel in het water als in het sediment. Dat die invloed vooral in de zuidoostelijke Dollard zo uitgesproken was heeft te maken met de geringe initiële verdunning van het geloosde afvalwater en de lange verblijftijd. Meetbare effecten waren daardoor slechts zeer lokaal aanwezig (ESSINK, 1984). Waar de initiële verdunning groot is, zoals bij de afvalwaterpersleiding (VKA) die bij Bierum in het Eems estuarium eindigt, is het effect op de zuurstofhuishouding, en daardoor op de

biota in het ecosysteem gering (zie ESSINK, 1984). De reductie van de via de Westerwoldsche Aa geloosde hoeveelheden organisch afval had daardoor een vrijwel direct positief effect. Het voorheen aanwezige gebied in de zuidoostelijke Dollard met sterk verarmde fauna werd weer bewoonbaar voor nonnetje, zeeduizendpoot en slijkgarnaal, en de nematodengemeenschap veranderde significant van samenstelling. Natuurlijke stress door omgevingsfactoren als hoge temperatuur, uitdroging, lage zoutgehaltes is nu in sterke mate bepalend geworden voor het voorkomen van deze organismen. Tegelijkertijd is ook de aanvoer van organische stof en nutriënten afgenomen. Dit heeft in de zuidoost Dollard geleid tot een complexere voedselketen structuur, waarbij het 'bottom-up' effect van de beschikbare nutriënten en organische stof vervangen lijkt te zijn door een 'top-down' controle van het macrozoobenthos op het microfytobenthos (middels begrazing) en op de nematoden gemeenschap (door predatie) (vgl. BAZELEY & JEFFERIES, 1997). Vermindering van het aanbod van organische stof lijkt via een afgenomen productiviteit bij de wormen effect gehad te hebben op de draagkracht van het Dollard ecosysteem voor wormenetende wadvogels (PROP, 1998; PROP e.a., 1999).

5.4 Conclusies

Lozing van grote hoeveelheden organisch afval kan duidelijke nadelige effecten (vnl. sterfte) hebben op bodemfauna organismen. Dit effect wordt vooral veroorzaakt door lokaal optredende problemen in de zuurstofvoorziening van deze organismen. Op het Groninger Wad en in de Dollard deden deze negatieve effecten zich vooral voor in het najaar, samenhangend met de bedrijfscampagne van de afvallozende industrieën. In voorjaar-zomer was weer enig herstel mogelijk door vestiging van jonge individuen ('broed').

Beide studies hebben ook laten zien dat reductie van de lozingen als gevolg van uitvoering van nieuw beleid vrij snel effect resorteert in die zin dat de negatieve beïnvloeding van het ecosysteem in het ontvangende watersysteem verdwijnt. Hierdoor is de beleidsmaatregel evaluerende functie van het uitgevoerde onderzoek evident. In het geval van het onderzoek rond de afvalpersleiding Hoogkerk – Waddenzee was die evaluatiefunctie bij aanvang door de overheid ook geformuleerd. Dit laatste was bij de studie in de Dollard niet het geval; het was aan het initiatief van de betrokken specialistische adviesdiensten (RIZA, en later Dienst Getijdewateren en RIKZ) te danken dat gegevens werden verzameld op basis waarvan een evaluatie kon worden gemaakt.

Natuurlijke fluctuaties in de samenstelling en talrijkheid van bodemfauna populaties veroorzaken een grotere of kleinere 'ruis', waardoor het trekken van conclusies met betrekking tot de vragen van de evaluatiestudie nog al eens wordt bemoeilijkt. Het gebruik kunnen maken van parallelle gegevens uit referentiegebieden kan dan een uitkomst bieden. Als een dergelijk gebruik van parallelle data niet mogelijk is, dient dit ingebouwd te worden in de evaluatiestudie zelf.

Het is niet geheel te vermijden dat een evaluatiestudie gefrustreerd wordt door onverwachte ontwikkelingen, hetzij van natuurlijke aard, hetzij als gevolg van veranderde menselijke beïnvloeding. Zo heeft de spontane ontwikkeling in de Dollard van een omvangrijke populatie van de uit Noord-Amerika afkomstige worm *Marenzelleria cf. wireni* waarschijnlijk verhinderd een duidelijker beeld te krijgen van de reactie van de bodemfauna in het centrale deel van de Dollard op de sanering van de veenkoloniale afvallozingen.

5.5 Literatuur

- Arkel, M.A. van & M. Mulder, 1979** - Inventarisatie van de macrobenthische fauna van het Eems-Dollard estuarium. BOEDE Publ. en Versl. 1979-2. NIOZ, Texel.
- Arkel, M.A. van & M. Mulder, 1982** - Macrobenthische fauna van het Eems-Dollard estuarium: een kwalitatieve survey (1978); een kwantitatieve survey (1979); veranderingen in een periode van vijf jaar. BOEDE Publ. en Versl. 1982-7. NIOZ, Texel.
- Baerends, G.P., 1970** - De lozing van afval op zee. Biologisch onderzoek noodzakelijk. *Natuur en Techniek* 38: 475-487.
- Baretta, J. & P. Ruurdij, 1988** - Tidal flat ecosystems. Simulation and analysis of the Ems Estuary. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 353 pp.
- Bazely, D.R. & R.L. Jefferies, 1997** - Trophic interactions in arctic ecosystems and the occurrence of a terrestrial trophic cascade. In: S.J. Woodin & M. Marquiss (eds), *Ecology of arctic environments*. Special Publ. Nr. 13, British Ecol. Soc., Blackwell Science: 183-207.
- Beukema, J.J., 1982** - Annual variation in reproductive success and biomass of the major macrozoobenthic species living in a tidal flat area of the Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 16: 37-45.
- Beukema, J.J., 1989** - Long-term changes in macrozoobenthic abundance on the tidal flats of the western part of the Dutch Wadden Sea. *Helgol. Meeresunters.* 43: 405-415.
- Beukema, J.J. & K. Essink, 1986** - Common patterns in the fluctuations of macrozoobenthos species living at different places on the tidal flats in the Wadden Sea. *Hydrobiologia* 142: 199-207.
- BOEDE, 1983** - Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium. BOEDE Publ. en Versl. 1983-1. NIOZ, Texel.
- Bongers, T., 1990** - The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Bongers, T., R. Alkemade & G.W. Yeates, 1991** - Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 76: 135-142.
- Bouwman, L.A., 1983** - A survey of nematodes from the Ems estuary. Part II: Species assemblages and associations. *Zool. Jb. Syst.* 110: 345-376.
- Bouwman, L.A., K. Romeyn & W. Admiraal, 1984** - On the ecology of meiofauna in an organically polluted estuarine mudflat. *Est. Coast. Mar. Sci.* 19: 1-17.
- Brafield, A.E., 1963** - The effects of oxygen deficiency on the behaviour of *Macoma balthica* (L.). *Anim. Behav.* 11: 345-346.

-
- Carson, R.L., 1963** - De wereldzee. Amsterdam, Em. Querido's Uitg., 224 pp.
- Carson, R.L., 1963a** - Dode Lente. Amsterdam, H.J.W. Becht's Uitg., 272 pp.
- Dankers, N. & J.J. Beukema, 1981** - Distributional pattern of macrozoobenthos species in relation to some environmental factors. In: N. Dankers, H. Kühl, & W.J. Wolff (eds.), Invertebrates of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam. Pp. 69-103
- Doornbos, G., 1975** - Een onderzoek naar de voedsel-oecologie van de bergeend (*Tadorna tadorna* L.) aan de Groningse kust. Zoölogisch Laboratorium, Rijksuniversiteit Groningen, 59 pp + Fig; Tab.
- Dijkema, K.S., 1974** - Enige aspecten van de sterfte van *Cardium edule* L. en *Macoma balthica* L. rondom het lozingspunt van de persleiding van Hoogkerk naar de Waddenzee. Zoologisch Laboratorium, Rijksuniversiteit Groningen, 16 pp + Bijl.
- Eggink, H.J., 1965** - Het estuarium als ontvangend water van grote hoeveelheden afvalstoffen. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Voorburg. RIZA-mededeling Nr. 2.
- Es, F.B. van, M.A. van Arkel, L.A. Bouwman & H.G.J. Schröder, 1980** - Influence of organic pollution on bacterial, macrobenthic and meiobenthic populations in intertidal flats of the Dollard. Neth. J. Sea Res. 14: 288-304
- Esselink, P., J. van Belkum & K. Essink, 1989** - The effect of organic pollution on local distribution of *Nereis diversicolor* and *Corophium volutator*. Neth. J. Sea Res. 23: 323-332.
- Essink, K., 1976** - Een onderzoek naar de gevolgen van lozing van ongezuiverd industrieel afvalwater via de Hoogkerker persleiding op de waterkwaliteit en de fauna van de Groninger Wadden. Zoologisch Laboratorium, Rijksuniversiteit Groningen, 79 pp.
- Essink, K., 1978** - The effects of pollution by organic waste on macrofauna in the eastern Dutch Wadden Sea. Netherlands Institute for Sea Research, Publication Series No. 1-1978. 135 pp.
- Essink, K., 1984** - The discharge of organic waste into the Wadden Sea – local effects. Neth. Inst. Sea Res. – Publ. Ser. No. 10-1984: 165-177.
- Essink, K., 2002** - Response of an estuarine ecosystem to reduced organic waste discharge. Aquat. Ecol. 37: 65-76.
- Essink, K., H.L. Kleef, W. Visser & P. Tydeman, 1985** - Population dynamics of the ragworm *Nereis diversicolor* in the Dollard (Ems Estuary) under changing conditions of stress by organic pollution. In: J.S. Gray & M.E. Christiansen (eds.), Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms, J. Wiley & Sons Ltd: 585-600.
- Essink, K. & J.J. Beukema, 1986** - Long-term changes in intertidal flat macrozoobenthos as an indicator of stress by organic pollution. Hydrobiologia 142: 209-215.
- Essink, K., W. Visser & D. Begeman, 1987** - Inventarisatie van de makroskopische bodemfauna van de Dollard, juni-juli 1985. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Rapport GWA0-87.155.
- Essink, K., H.L. Kleef & W. Visser, 1989** - On the pelagic occurrence and dispersal of the benthic amphipod *Corophium volutator*. J. mar. Biol. Assoc. UK 69: 11-15.
-

-
- Essink, K. & J.J. Beukema, 1991** - Long-term changes in intertidal and shallow-subtidal sedimentary zoobenthos. Review of work carried out within the framework of COST 647. In: Keegan, B.F. (Ed.), Space and time series data analysis in coastal benthic ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 project on coastal benthic ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13978 EN: 43-64.
- Essink, K. & H.L. Kleef, 1993** - Distribution and life cycle of the North American spionid polychaete *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873) in the Ems Estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: 237-246.
- Essink, K. & K. Romeyn, 1994** - Estuarine nematodes as indicators of organic pollution: an example from the Ems estuary (The Netherlands). *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28: 213-219.
- Essink, K. & H. Keidel, 1998** - Changes in estuarine nematode communities following a decrease of organic pollution. *Aquat. Ecol.* 32: 195-202.
- Essink, K., J. Eppinga & R. Dekker, 1998a** - Long-term changes (1977-1994) in intertidal macrozoobenthos of the Dollard (Ems estuary) and effects of introduction of the North American spionid polychaete *Marenzelleria cf. wireni*. *Senckenberg. Marit.* 28: 211-225.
- Essink, K., J.J. Beukema, P.B. Madsen, H. Michaelis & G. Vedel, 1998b** - Long-term development of biomass of intertidal macrozoobenthos in different parts of the Wadden Sea. Governed by nutrient loads? *Senckenberg. Marit.* 29: 25-35.
- Essink, K. & R. Dekker, 2000** - Invasion ecology of *Marenzelleria cf. wireni* (Polychaeta; Spionidae) in the Dutch Wadden Sea. *International Council for the Exploration of the Sea. ICES CM 2000/U:04.* 13 pp.
- Essink, K. & R. Dekker, 2002a** - General patterns in invasion ecology tested in the Dutch Wadden Sea: the case of a brackish-marine polychaetous worm. *Biol. Invasions* 4: 359-368.
- Glopper, R.J. de, P. Sanders & H.J. Eggink, 1960** - Een onderzoek naar de mogelijkheid tot lozing van tarra en het afvalwater van de Groningse suikerfabrieken op de Waddenzee ten noorden van Warffum. Rijkswaterstaat, Dir. Landaanwinning, Baflo. 19 pp.
- Goede, R.G.M. de, T. Bongers & C.H. Ettema, 1993** - Graphical presentation and interpretation of nematode community structure: c-p triangles. *Meded. Facult. Landbouwwet. Univ. Gent* 58: 743-750.
- Heinis, F., I. Akkerman, K. Essink, F. Colijn & M.J. Latuhihin 1995** - Biologische monitoring zoute wateren 1990-1993. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ-95.059.
- Heip, C., B.F. Keegan & J.R. Lewis (Eds.), 1987** - Long-term changes in coastal benthic communities. *Developments in Hydrobiology* 38, Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht / Boston / Lancaster. 340 pp.
- Jansen, J.H., 1970** - Het Riza en de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren. In: Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. 50 jaar zuivering van afvalwater.'s-Gravenhage, Staatsuitgeverij: 59-63.
- Kamer, J.C. van de (red.), 1970** - Het verstoorde evenwicht. Een pleidooi voor behoud van het natuurlijke milieu. Utrecht, Oosthoek Uitg., 283 pp.
-

-
- Keegan, B.F. (Ed.), 1991** - Space and time series data analysis in coastal benthic ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 project on coastal benthic ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Report EUR 13978 EN, 580 pp.
- Klinkhamer, R., 1987** - Een halve eeuw landaanwinningswerken langs de friese- en groninger kust. Rijkswaterstaat, Directie Groningen, Dienstkring Baflo. 182 pp.
- Koolen, J.L., 1970** - Het onderzoek van oppervlaktewater en de activiteiten van de laboratoria. In: Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. 50 jaar zuivering van afvalwater.'s-Gravenhage, Staatsuitgeverij: 45-58.
- Leenknecht, M., 1972** - De invloed van het lozen van industrieel afvalwater op het migratiepatroon van *Cardium edule* L. Zoologisch Laboratorium, Rijksuniversiteit Groningen, 51 pp + Bijl.
- Longbottom, M.R., 1970** - The distribution of *Arenicola marina* (L.) with particular reference to the effects of particle size and organic matter of the sediments. J. exp. Mar. Biol. Ecol. 5: 138-157.
- McLusky, D.S., 1987** - Intertidal habitats and benthic macrofauna of the Forth Estuary, Scotland. Proc. Royal Soc. Edinburgh 93B: 389-399.
- Peletier, H., 1996** - Long-term changes in intertidal estuarine diatom assemblages related to reduced input of organic waste. Mar. Ecol. Progr. Ser. 137: 265-271.
- Peters, H., 1970** - Zuivering van afvalwater. Enige mogelijkheden voor de agrarische industrie. Natuur en techniek 38: 488-497.
- Peters, H., 1971** - Van milieuvervuiling naar milieubeheer. Amsterdam, Wetenschappelijke Uitgeverij N.V., 231 pp.
- Prop, J., 1989** - Effecten van afvalwaterlozingen op trekvogels in de Dollard: een analyse van tellingen uit de periode 1974-1995. In: K. Essink & P. Esselink (red.), Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Rapport RIKZ-98.020: 145-167.
- Prop, J., P. Esselink & J. Hulscher, 1999** - Veranderingen in aantallen vogels in de Dollard in relatie met lokaal en regionaal beheermanagement. De Grauwe Gors 27(1): 27-55
- Quispel, A, e.a., 1970** - Biosfeer en Mens. Wageningen, Pudoc, 197 pp.
- Reenders, R., J.T. Postma & H. Boorsma, 1975** - De waterbeweging in het stroomgebied van de Zuidoost Lauwers, op het Uithuizer Wad en in het Ra. Rijkswaterstaat, Directie Groningen, Studiedienst Delfzijl, Rapport nr. 75.1.
- Reise, K., 1982** - Long-term changes in the macrobenthic invertebrate fauna of the Wadden Sea: are polychaetes about to take over? Neth. J. Sea Res. 16: 29-36.
- Ribbius, F.J., 1961** - The biggest waste problem in the world. Land en Water 5: 24.
- Romeyn, K., L.A. Bouwman & W. Admiraal, 1983** - Ecology and cultivation of the herbivorous brackish-water nematode *Eudiplogaster pararmatus*. Mar. Ecol. Progr. Ser. 12: 145-153.

-
- Verwey, J., 1971** - Die Folgen für das Milieu der Abfuhr organischer Abfallstoffe ins Mündungsgebiet der Ems. Contact-Commissie voor Natuur- en landschapsbescherming, Amsterdam. 38 pp.
- Weber, S., 1994** - De effecten van verminderde afvallozing via de Westerwoldsche Aa op vier bodemfauna soorten in de zuidoostelijke Dollard. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Werkdocument RIKZ/OS-94.605x. 29 pp.
- Winkler, C., 1961** - Maatregelen tegen de waterverontreiniging in de provincie Groningen. Water, Bodem, Lucht 51: 7-22.
- Wolff, W.J., 1973** - The estuary as a habitat. Zoologische Bijdragen (Leiden), 126: 3-242.



Baggerschip "Cornelia" (Foto: W. van de Witte)

6. Effecten van storten van baggerspecie

.....

6.1 Inleiding

In het begin van de 1980er jaren ontstond er bij de Rijkswaterstaat behoefte aan inzicht in de milieuproblematiek verbonden met het baggeren en storten van baggerspecie ten behoeve van de scheepvaart van en naar havens in de Waddenzee. De Rijkswaterstaat Studiediensten Delfzijl en Hoorn en het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater brachten eerst de toen beschikbare kennis bijeen (ESSINK e.a., 1983). Geconstateerde kennisleemten waren aanleiding tot het formuleren van een breed onderzoek- en adviesproject BAGHWAD (**BAG**geren in **H**avens in de **WAD**denzee), dat als onderdeel van een Onderzoeksplan Wadden getrokken werd door de nieuw geformeerde Dienst Getijdewateren (ANON., 1987). Het project BAGHWAD richtte zich op een tweetal hoofdvragen:

1. Welke ingreep vindt plaats in het erosie-sedimentatie evenwicht in de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium?
2. Welke ingreep vindt plaats in de leefomstandigheden van flora en fauna van de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium (beïnvloeding lichtklimaat, zwevende stof regime, sedimentatie regime)?

Voor alle duidelijkheid wordt opgemerkt dat alleen niet en licht verontreinigde baggerspecie in het watersysteem mag worden teruggestort. Dit hoofdstuk heeft dus geen betrekking op verontreinigde baggerspecie; deze moet gecontroleerd in speciaal daarvoor ingerichte depots worden opgeslagen.

6.2 Het project BAGHWAD

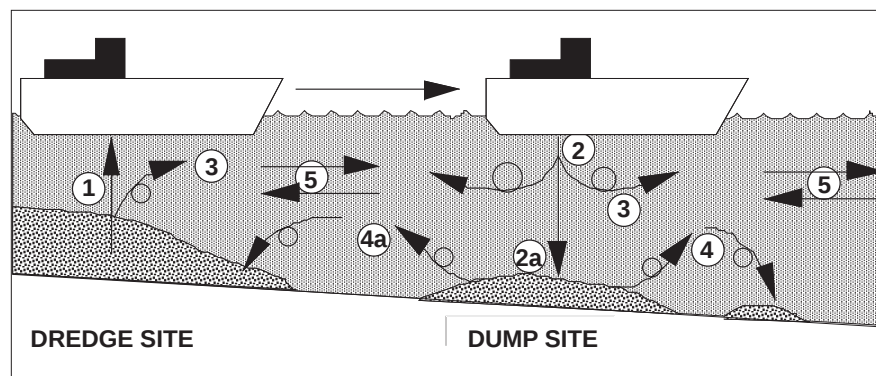
6.2.1. Opzet

Het BAGHWAD-project bestond uit een aantal deelprojecten. Deelproject 1 betrof een korte termijn advies m.b.t de keuze van stortlocaties voor baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium. Deelproject 2 betrof het ontwikkelen van een 2Dh-slibverspreidingsmodel voor het Eems-Dollard estuarium. In deelproject 3 werden de ecologische effecten van het baggeren en storten van baggerspecie in beeld gebracht. In figuur 6.1 worden enkele fysische processen bij het baggeren en storten van baggerspecie schematisch weergegeven. Figuur 6.2 geeft een schematische weergave van het estuariene ecosysteem zoals dat in het project BAGHWAD werd gehanteerd. In het ecologisch onderzoek (BAGHWAD*3) werd aandacht besteed aan de voedingsstoffen huishouding, effecten van verhoogde troebelheid op planten en dieren, effecten van verhoogde zwevende stofconcentraties op dieren en effecten van verhoogde sedimentatie op benthische planten en dieren. In 1993 werd dit deelproject afgesloten met een eindrapport (ESSINK, 1993; zie ook ESSINK, 1999), waarin voor elk type ecologisch effect

enkele beheersaanbevelingen zijn geformuleerd. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de effecten van verhoogde zwevende stofconcentraties op filtrerende bodemdieren (als gevolg van (re)suspensie), en van verhoogde sedimentatie op bodemdieren (op stortlocaties).

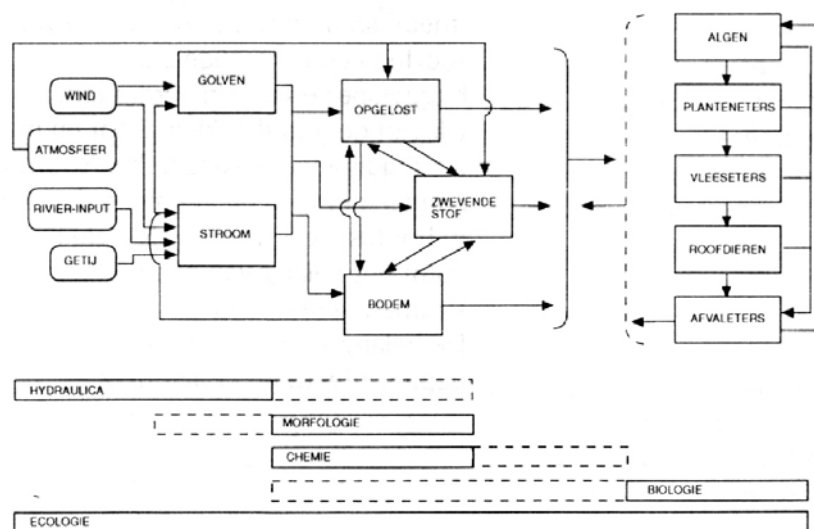
Figuur 6.1.

Schematische weergave van enkele fysische processen bij het baggeren en storten van baggerspecie. 1 = baggeren, 2 = storten, 2a = primaire sedimentatie, 3 = (re)suspensie, 4 = resuspensie en secundaire sedimentatie, 4a = recirculatie, 5 = verspreiding via de waterfase. (Bron: ESSINK, 1993)



Figuur 6.2.

Schematische weergave van een estuarien ecosysteem, met bereik van de binnen het project BAGHWAD betrokken onderzoekdisciplines. De interactie tussen het abiotisch (links) en biotisch deel (rechts) is niet gedetailleerd uitgewerkt. (Bron: ESSINK, 1993)



6.2.2. Resultaten

- Voedselopname schelpdieren

Bij het baggeren en het dumpen van baggerspecies worden grote hoeveelheden sediment (vnl. slib) in suspensie gebracht. De toegenomen zwevend stof concentraties kunnen interfereren met de voedselopname van filtrerende bodemdieren (bijv. tweekleppige schelpdieren) en zooplankton. Ook kan het functioneren van kieuwen van vissen worden geschaad.

Toename van de hoeveelheid slibdeeltjes in het water betekent dat voor filtrerende schelpdieren de voedselwaarde van de zwevende stof afneemt. Die voedselwaarde is vooral afhankelijk van het goed verteerbare deel van de zwevende stof, dat gevormd wordt door fytoplankton, bacteriën en afbreekbaar detritus. Daarnaast geldt voor de kieuwen van tweekleppige schelpdieren dat er een maximum zwevende stof concentratie is die nog effectief uit het water gefilterd kan worden. Wanneer zwevende stof concentraties deze bovengrens naderen komt weinig of geen energie meer beschikbaar voor groei van

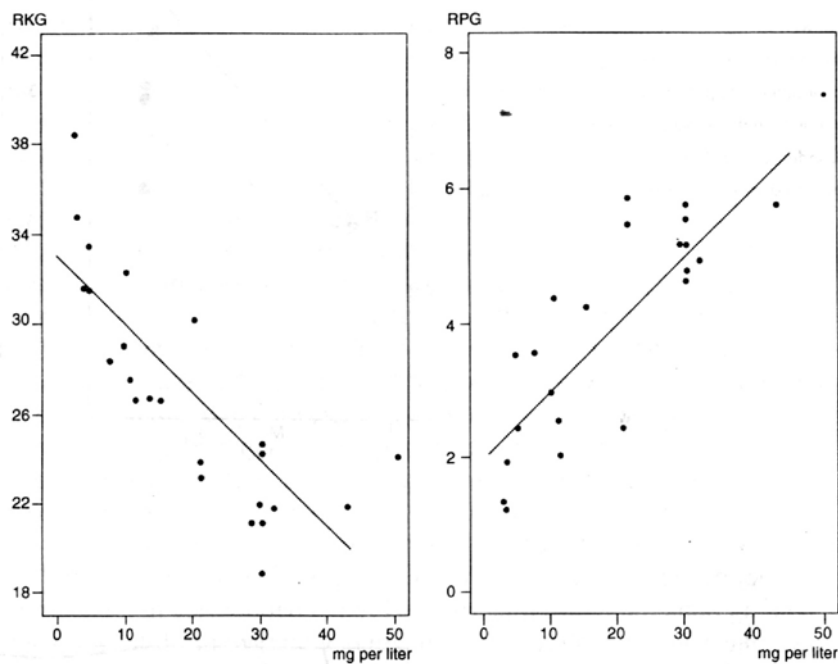
het organisme. Verplaatsingsproeven met mossels (*Mytilus edulis*), kokkels (*Cerastoderma edule*) en strandgapers (*Mya arenaria*) in het Eems-Dollard estuarium bevestigden dit. De groei van deze schelpdieren was sterk gecorreleerd met het gehalte aan chlorofyl en organische stof in de zwevende stof (ESSINK & BOS, 1985). Voor het nonnetje (*Macoma balthica*) werd een vergelijkbare regulatie van de groei door de voedselkwaliteit van de zwevende stof aangetoond door LAANE e.a. (1987).

Nu blijkt de mossel de effectiviteit van hun voedselopname- en sorteerapparaat (kieuwen resp. labiale palpen) te kunnen aanpassen aan de hoeveelheid en kwaliteit van de zwevende stof in het water (THEISEN, 1982; ESSINK e.a., 1989; METTAM, 1993). De labiale palpen (kortweg: palpen) scheiden het op de kieuwen afgevangen materiaal in bruikbaar en onbruikbaar. Het onbruikbare materiaal wordt als pseudofaeces geretourneerd zonder het maag-darmkanaal te passeren. Dit aanpassingsvermogen van kieuwen en palpen is ook van andere soorten bekend (vgl. HONKOOP e.a., 2003).

In de Waddenzee, met zwevende stofgehalten tussen 40 en 400 mg/l, hebben mossels relatief kleine kieuwen (er is een groot aanbod van zwevende deeltjes) en relatief grote palpen (er is veel sorteerwerk te doen). In de Noordzee, met zwevend stofgehalten van minder dan 20 mg/l, hebben mossels grote kieuwen; de palpen zijn hier klein omdat er nauwelijks onbruikbaar materiaal is dat moet worden uitgesorteerd. De relatieve grootte van kieuwen en palpen blijkt voor mossels levend op locaties met minder dan 50 mg/l zwevend stof lineair gecorreleerd te zijn met dat zwevend stofgehalte (Figuur 6.3).

Figuur 6.3.

Verband tussen relatieve kieuwgrootte (RKG) resp. relatieve palpgrootte (RPG) van mossels (*Mytilus edulis*) van groeiplaatsen met een gemiddeld zwevend stofgehalte minder dan 50 mg per liter. (Bron: BRETT & WASSENAAR, 1990).

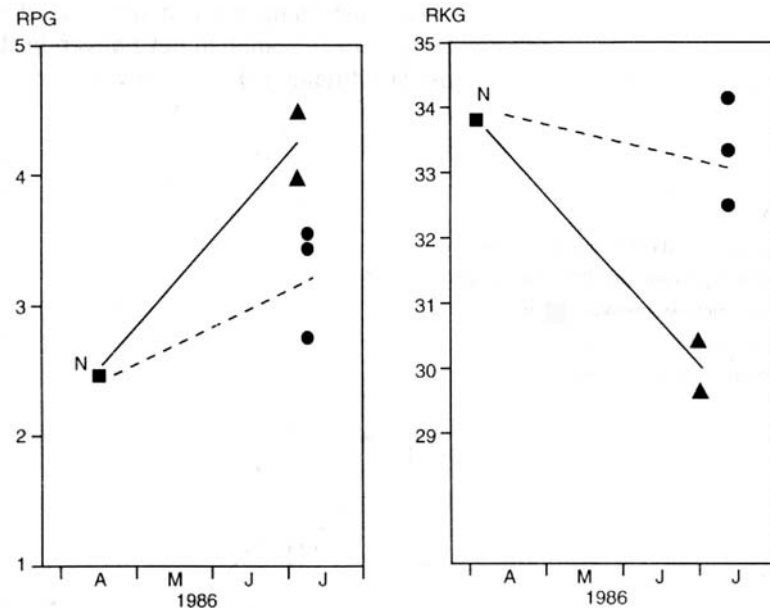


Door middel van verplaatsingsexperimenten, waarbij mossels werden uitgehangen in aan boeien bevestigde kooien, kon worden aangetoond dat bij verplaatsing van de Noordzee naar de Waddenzee relatief kleinere kieuwen en relatief grotere palpen werden ontwikkeld (Figuur 6.4). Bij verplaatsing van mossels binnen de Waddenzee bleek alleen de grootte van de palpen zich aan te passen aan de nieuwe omgeving (Figuur 6.5); de relatieve kieuwgrootte veranderde niet. Wat de

energetische kosten zijn van deze morfologische aanpassing aan een veranderd zwevend stof regime is niet specifiek onderzocht. Wel werd aangetoond dat het frequenter voorkomen van hogere zwevend stofgehalten (van meer dan 250 mg/l) kan leiden tot geringere groei van mossels (ESSINK e.a., 1990). Dit sluit aan bij experimenten van WIDDOWS e.a. (1979), waarin voor mossels van dezelfde afmeting (3 cm) werd gevonden dat in water met 250 mg zwevende stof per liter helemaal geen groei meer optrad. Er zijn dus duidelijk grenzen aan het aanpassingsvermogen van filterende bodemdieren. De kleinere (jongere) dieren lijken gevoeliger dan grotere.

Figuur 6.4.

Verplaatsingsexperiment met mossels (*Mytilus edulis*) tussen Noordzee en Waddenzee. Relatieve grootte van kieuwen (RKG) en palpen (RPG) van Noordzeemossels in april (■ N), drie maanden later op dezelfde locatie (●), en na verplaatsing naar de Waddenzee (▲). (Bron: ESSINK e.a., 1989)



-Verhoogde sedimentatie

Op stortlocaties voor baggerspecie heeft de daar voorkomende bodemfauna te maken met verhoogde sedimentatie van bodemmateriaal dat veelal slibrijker en meer cohesief is dan het lokale sediment, maar vaak ook nog eens sterk anaeroob. De gevoeligheid van de bodemfauna op stortlocaties is sterk afhankelijk van (a) de snelheid van depositie van de baggerspecie, en (b) de dikte van de afgezette laag. Beide factoren beïnvloeden het vermogen van de bodemdieren om het contact met het bovenstaande water te herstellen. Essentieel voor deze dieren is dus de vraag of ze aan de verhoogde sedimentatie kunnen ontsnappen of dat ze levend worden begraven.

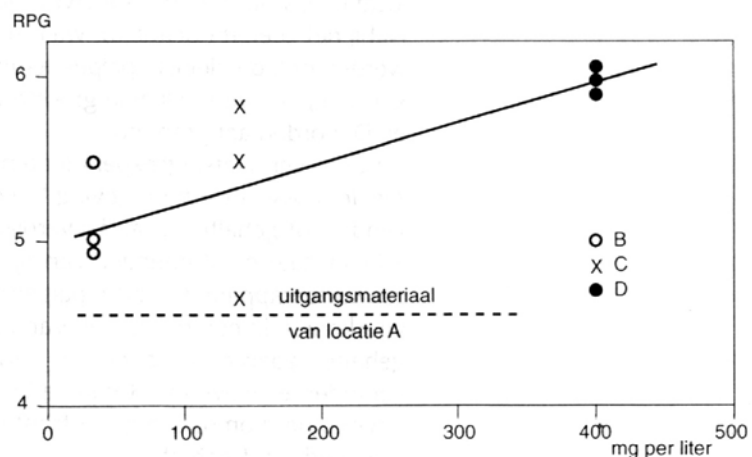
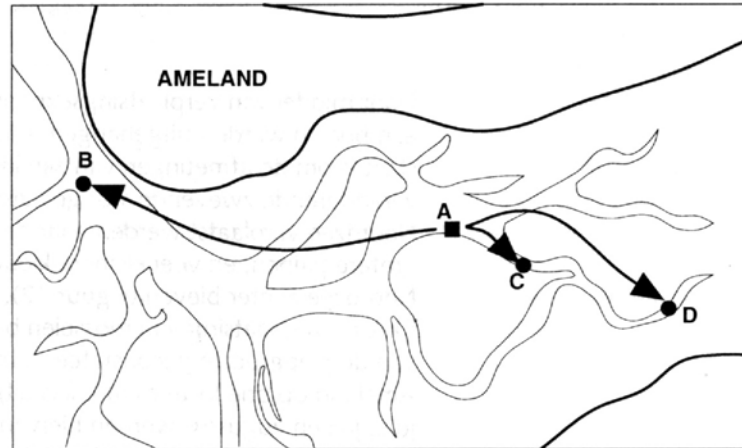
Een uitgebreid literatuuronderzoek heeft laten zien dat verschillende bodemdiersoorten in verschillende mate gevoelig zijn (BIJKERK, 1988). Deze gevoeligheid is ook afhankelijk van het type afgezette sediment (slib of zand) en van het seizoen (moment in de jaarcyclus van fysiologische activiteit van het organisme).

In geval van een eenmalige stort van baggerspecie zijn sessiele (op de bodem vastgehechte) soorten, zoals oester, mossel en zeeanemoon, zeer gevoelig. Voor mobiele soorten varieert de gevoeligheid van soort tot soort. In figuur 6.6 is voor een aantal soorten de 'fatale' diepte

weergegeven. Dat is de maximale diepte van bedekking met sediment die een soort kan overleven door omhoog te kruipen tot weer contact gemaakt kan worden met het bovenstaande water. In het algemeen kunnen soorten van zandige waterbodems bedekking met zandige baggerspecie beter verdragen dan bedekking met baggerslib.

Figuur 6.5.

Verplaatsingsexperiment met mossels (*Mytilus edulis*) binnen de Waddenzee. Mossels van locatie A werden uitgehangen op locaties B, C en D. Het onderste paneel geeft de gemiddelde relatieve palpgrootte (RPG) 3 – 5 maand na verplaatsing naar de locaties B, C en D in relatie tot het gemiddeld zwevend stofgehalte op die locaties in diezelfde periode. (Bron: ESSINK, 1993).

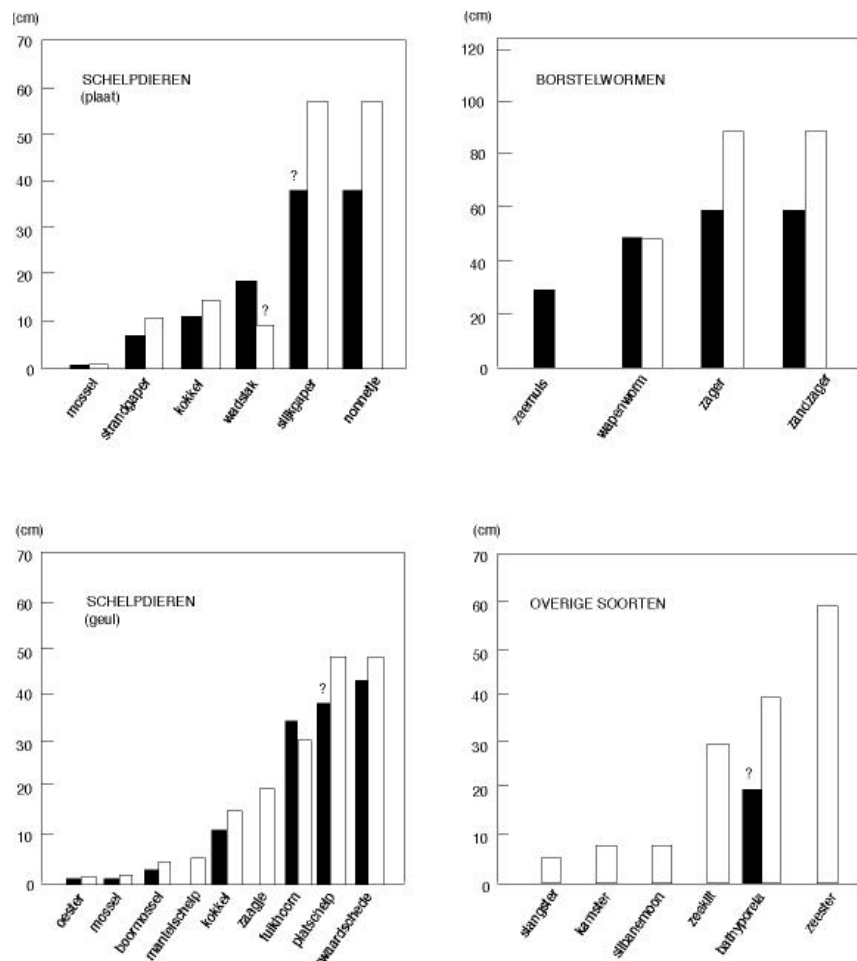


In geval van herhaald storten van baggerspecie gedurende enige tijd op eenzelfde stortlocatie hebben bodemdieren gedurende die stortperiode ook nog eens te maken met een verhoogde sedimentatiesnelheid. Hoe hoger die snelheid, hoe moeilijker het is om de sedimentatie van baggerspecie bij te houden. Bodemdieren kunnen zo al sterven voordat de voor hen 'fatale' diepte is bereikt. Figuur 6.7 toont voor een aantal bodemfaunasoorten de verschillen in tolerantie van sedimentatiesnelheid.

Laboratoriumproeven lieten zien dat estuariene nematoden van fijnzandige bodems bedekking met 10 cm fijn zand goed kunnen verdragen. Binnen 1 – 2 weken waren deze minder dan 1 mm grote bodemdierjes door het opgebrachte zand omhoog gekropen, en overleefden ze. Wanneer echter slib werd opgebracht konden de nematoden slechts een 'stortlaag' van niet meer dan enkele cm dik overbruggen (ROMEYN & LEISEBOER, 1990).

Figuur 6.6.

Fatale diepte (in cm) voor bodemdieren bij eenmalige bedekking door slib (donkere kolommen) of fijn zand (lichte kolommen). (Bron: BIJKERK, 1988).



- Stortlocatie Oude Westereems

In 1989-1990 werd het effect op de bodemfauna onderzocht op een stortlocatie in de Oude Westereems, ongeveer 6 km zeewaarts van de Eemshaven (KLEEF e.a., 1992). Hier werd in najaar 1989 binnen 2,5 week tijd bijna 550.000 m³ baggerspecie gestort, en in najaar 1990 in 4 weken tijd nog eens 850.000 m³.

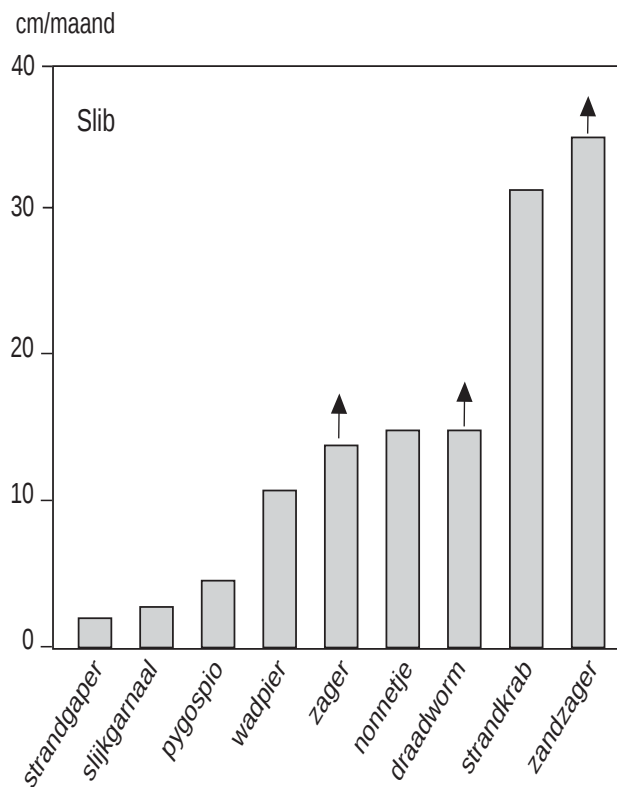
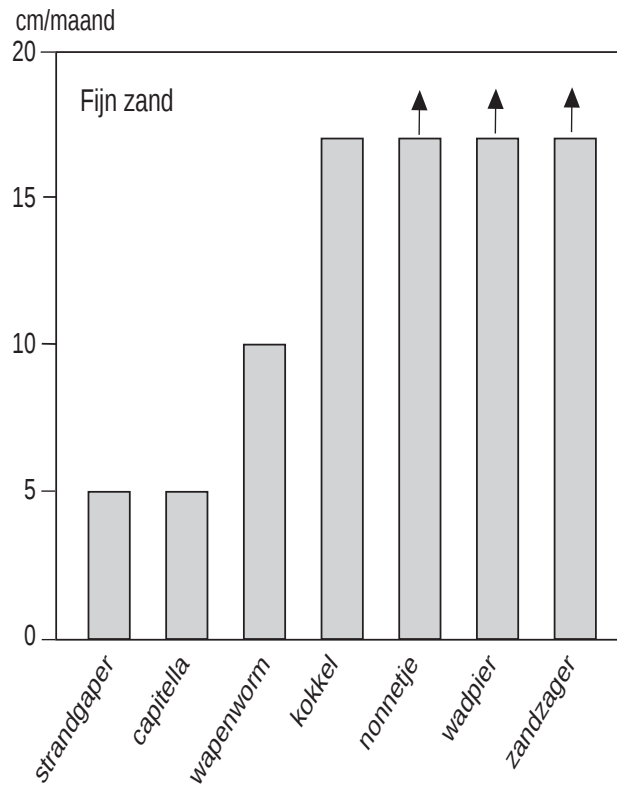
Na elke stort was er op de stortlocatie een sterke afname van zowel het aantal soorten als van de dichtheid waarin de soorten voorkomen (Figuur 6.8). Die afname was het meest uitgesproken in die delen van de stortlocatie waar de afgezette laag baggerspecie dikker was dan ca. 3 dm. Dit wordt voor de worm *Nephtys hombergi* geïllustreerd in figuur 6.9. Ook nonnetjes van 1 jaar en ouder en de wapenworm (*Scoloplos armiger*) bleken erg gevoelig te zijn voor bedekking met baggerspecie, in feite gevoeliger dan gebleken was uit het boven genoemde literatuuronderzoek. Een schijnbaar afwijkend beeld werd aangetroffen bij broedjes van het nonnetje (*Macoma balthica*). De dichtheid hiervan was twee maanden na de stort toegenomen. Dit is een gevolg van een natuurlijk fenomeen, waarbij broedjes van het nonnetje in de winter van de droogvallende platen naar dieper gelegen plaatsen migreren (BEUKEMA & DE VLAS, 1989; ESSINK & BEUKEMA, 1991). In het eveneens onderzochte referentiegebied (zonder stort van baggerspecie) nam de dichtheid van deze *Macoma*-broedjes echter veel sterker toe dan in het

stortgebied, zodat ook in dit geval sprake is van een negatief effect van het storten van baggerspecie.

Acht maanden na de eerste stort hadden soortenaantal en dichtheden zich weer grotendeels hersteld.

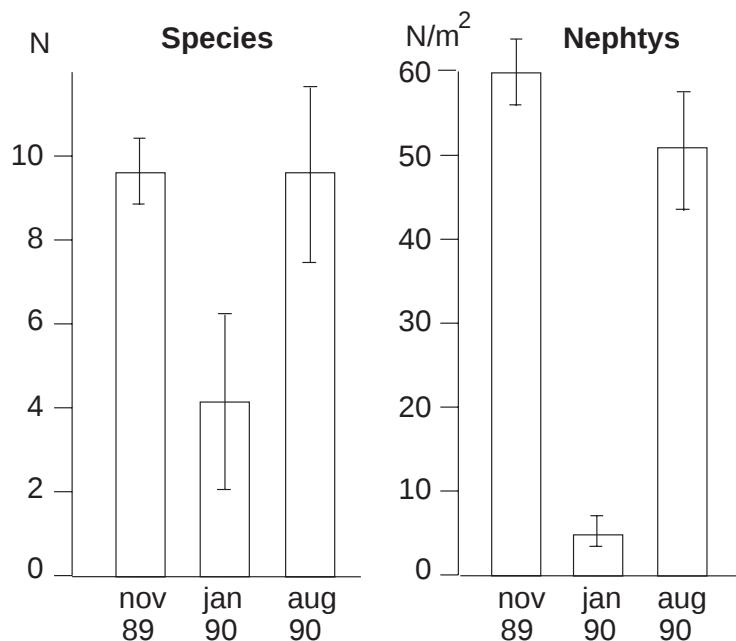
Figuur 6.7.

Tolerantie van enkele belangrijke bodemfaunasoorten voor voortdurende sedimentatie (uitgedrukt in cm/maand) van fijn zand en slib (Bron: BIJKERK, 1988).



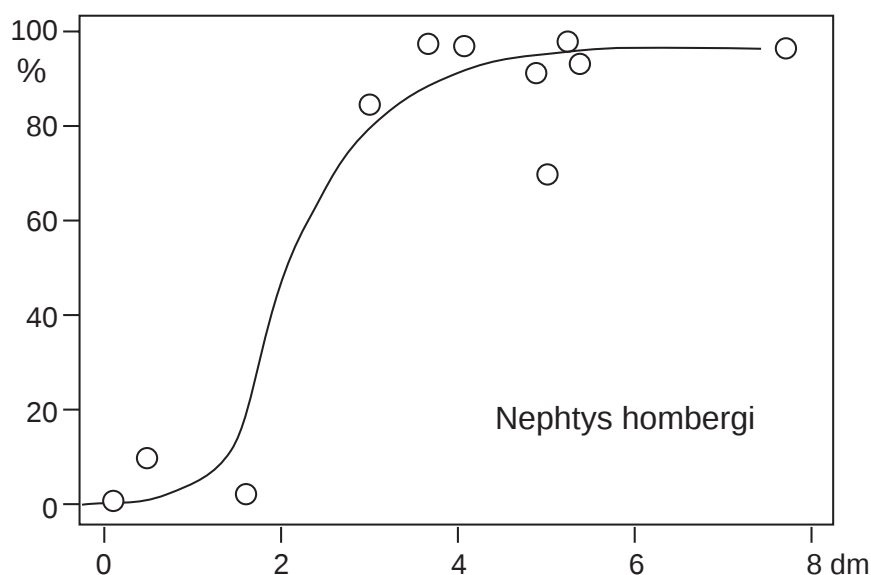
Figuur 6.8.

Gemiddeld aantal soorten (pecies) en gemiddelde dichtheid (N/m^2) van de zandzager (*Nephtys hombergi*) vóór (nov. 1989), kort na (jan. 1990) het storten van baggerspecie en na 8 maand hersteltijd (aug. 1990) (Bron: KLEEF e.a., 1992)



Figuur 6.9.

Verband tussen de afname (%) van de dichtheid van de zandzager (*Nephtys hombergi*) en de dikte (dm) van de afgezette laag baggerspecie in de periode nov. 1989 – jan. 1990. (Bron: KLEEF e.a., 1992).



6.3 Storten van baggerspecie en de Nb-wet

In het Maatregelenprogramma Waddenzee 1996-2001 (ANON., 1996a) naar aanleiding van het Beheersplan Waddenzee over diezelfde periode (ANON., 1996b) was een project opgenomen waarin de verspreidings(= stort)locaties voor baggerspecie zouden worden geëvalueerd. In dit project is als eerste uitgebreid aandacht geschonken aan enerzijds de bestaande locatie langs de Afsluitdijk voor het storten van baggerspecie uit de haven van Kornwerderzand, en is anderzijds een onderzoek ingesteld naar alternatieve stortlocaties. Voor het selecteren van alternatieve stortlocaties werd een onderzoek ingesteld naar de rijkdom van de bodemfauna en naar de visserijkundige belangen in dit gebied (ESSINK e.a., 1999). In het Beheersplan Waddenzee wordt gesteld dat

baggerspecie niet mag worden verspreid of gestort binnen 1000 meter afstand van gebieden met rijke bodemflora en -fauna (daarbij horen ook mosselpercelen). Het onderzoek naar rijkdom van de bodemfauna en naar de visserijkundige belangen was daarenboven een voorwaarde waaraan voldaan moest worden om voor een voorgenomen stort van baggerspecie ook een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet (Nb-wet) te verkrijgen. Behalve aan het ontzien van natuurwaarden dient bij het storten van baggerspecie aan een groot aantal andere criteria te worden voldaan. Deze zijn zeer divers van aard, en tevens onderdeel van een veelheid aan wetten en regels. Een overzicht hiervan is gepubliceerd in WERKMAN (1999). De 'case Kornwerderzand' is gebruikt als een voorbeeld voor hoe het probleem van baggeren en storten van baggerspecie integraal kan worden benaderd, waarbij het doel is een optimaal resultaat te bereiken ten aanzien van scheepvaart, milieukwaliteit, natuur, visserij, recreatie en kosten (MULDER, 1999). Hierbij is op basis van relevante beoordelingscriteria een beslisboomstructuur ontwikkeld als afwegingsgereedschap ten behoeve van beleid en beheer. Ook in enkele andere gevallen waar door de havenbeheerder een nieuwe vergunning voor het storten van baggerspecie in de Waddenzee moest worden verkregen (Harlingen, Eemshaven) is onderzoek verricht om inzichtelijk te maken in hoeverre eerdere stort van baggerspecie schade had aangericht aan de bodemfauna op en nabij de bestaande stortlocaties (o.a. VAN DALFSEN & BIJKERK, 1998).

6.4 Discussie en Conclusies

Ondanks het aanpassingsvermogen van kieuwen en labiale palpen van tweekleppige schelpdieren aan veranderend zwevend stof regime treedt er bij hogere zwevend stof concentraties dan wel bij meer frequent optreden van hoge zwevend stofconcentraties toch groeivertraging op. Kleine dieren zijn hiervoor gevoeliger dan grote dieren. Bij het uitvoeren van baggeractiviteiten en het kiezen van stortlocaties zou daarom rekening gehouden moeten worden met het risico voor belangrijke voorkomens van jonge schelpdieren (bijv. kokkels en mossels). Op basis van alle verkregen kennis kunnen aan de verantwoordelijke beheerder een aantal opties voor milieubewuste uitvoering van bagger- en stortactiviteiten worden aangereikt (zie ESSINK, 1993, 1999). Een essentieel onderdeel van een dergelijk beheersinstrumentarium is het kunnen maken van een realistische schatting van de te verwachten verhoging van zwevende stofconcentraties en van verhoogde sedimentatie, zowel in de geulen als boven de droogvallende platen. Een operationeel slibverspreidingsmodel is hierbij onontbeerlijk. De gevoeligheid van diverse bodemfaunasoorten, zoals naar voren gekomen in de literatuurstudie door BIJKERK (1988), is niet zonder meer als een set harde gegevens te gebruiken. Het onderzoek op de stortlocatie Oude Westereems liet al zien dat enkele soorten in dit geval een grotere gevoeligheid bleken te hebben. Evenzo vond VAN DALFSEN (1994) voor de kokkel een grotere gevoeligheid voor afzetting van fijn slib uit retourwater bij het verhogen en verstevigen van de zeedijk in het noorden van Friesland.

Het onderzoek op de stortlocatie in de Oude Westereems leerde dat vrij snel herstel van de bodemfauna gemeenschap kan optreden. Er moet echter van worden uitgegaan dat wanneer eenzelfde locatie meerdere keren per jaar wordt gebruikt voor grote hoeveelheden baggerspecie, langdurige verarming fauna het gevolg zal zijn. Er is dan geen tijd voor herstel van enige betekenis tussen de stortperiodes in. Het lijkt daarom van belang stortlocaties te selecteren die niet een rijke bodemfauna herbergen. Dit is een belangrijk uitgangspunt geworden van het huidige stortbeleid (zie MULDER, 1999). Een denkbaar alternatief is misschien het gebruiken van een grote stortlocatie zodat de gestorte baggerspecie nergens een laagdikte van meer van 2 à 3 dm bereikt. De haalbaarheid hiervan is nog niet onderzocht.

Elders in de Waddenzee speelt dezelfde problematiek (o.a. LEUCHS e.a., 1996; WITT e.a., 2004). In Duitsland, waar niet alleen in de Eems-Dollard maar ook in de estuaria van Weser en Elbe veel onderhoudsbaggerwerk nodig is, is men gekomen tot een zg. HABAK-richtlijn (HABAK = **H**andlungsanweisung zur Unterbringung von **B**aggergut im **K**üstenbereich). De richtlijn geeft aan dat onderzoek moet worden gedaan naar de risico's voor het milieu in het algemeen en voor de bodemfauna in het bijzonder. Voor informatieuitwisseling worden workshops georganiseerd, waar uitwisseling met Nederlandse kennis en ervaring op prijs wordt gesteld (o.a. LEUCHS e.a., 1996). Ook elders in de wereld wordt graag gebruik gemaakt van de in Nederland verkregen inzichten, o.a. in Maleisië (CZUCZOR, 1998).

Estuaria zijn van nature gebieden met een hoge troebelheid. Door de mens zijn estuaria reeds lang in gebruik voor diverse doeleinden. Een afgeleide daarvan is een toenemende intensiteit van de scheepvaart, en de daarvoor noodzakelijke steeds verder gaande verdieping van de vaargeulen door baggeren. Weten we daardoor nog wel hoe een estuarium er in ongestoorde omstandigheden uitziet? Deze vraag is moeilijk te beantwoorden. In het Eems-Dollard estuarium heeft DE JONGE (1983) voor de periode 1954-1979 laten zien hoe de troebelheid van het water is toegenomen in nauwe samenhang met de toegenomen omvang van de baggeractiviteit. Dit is waarschijnlijk een gevolg van een verschuiving in het estuariene sedimentatie-erosie evenwicht. Is die toegenomen troebelheid (in dit geval: zwevende stof gehalten) er de oorzaak van geweest dat de door STRATING & VENEMA (1855) in de Dollard nog beschreven mosselbanken daar tijdens het BOEDE-onderzoek (1973-1982) verdwenen waren? Een nader onderzoek naar het huidig voorkomen van mosselbanken in estuaria in relatie tot lokale zwevende stofgehalte regimes zou deze vraag mogelijk van een antwoord kunnen voorzien.

6.5 Literatuur

Anonymus, 1987 - Onderzoeksplan Wadden 1987-1992.

Rijkswaterstaat. Directie Groningen, Directie Friesland, Directie Noord Holland, Dienst Getijdewateren. Dienst Getijdewateren, Nota GWAO-87.005.

Anonymus, 1996a – Maatregelenprogramma Waddenzee 1996-2001. Ministeries van VenW, LNV, EZ, VROM en Defensie, Waddenprovincies en –gemeenten.

-
- Anonymus, 1996b** – Beheersplan Waddenzee 1996-2001. Ministeries van VenW, LNV, EZ, VROM en Defensie, Waddenprovincies en – gemeenten
- Beukema, J.J. & J. de Vlas, 1989** – Tidal current transport of thread-drifting postlarval juveniles of the bivalve *Macoma balthica* from the Wadden Sea to the North Sea. Mar. Ecol. Progr. Ser. 52: 193-200.
- Bijkerk, R., 1988** – Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden – Literatuuronderzoek. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen
- Brett, S.E. & A. Wassenaar, 1990** – Relationship between suspended particulate matter concentration and gill and palp sizes in *Mytilus edulis*. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Notitie GWAO-90.12017
- Czuczor, L., 1998** - Environmental impacts of dredging on wetlands. General overview and the case of Pattani Bay. PSU/Wetlands International Thailand Programme, Publication No. 6, 152 pp.
- Dalfsen, J.A. van, 1994** – Effecten van het lozen van baggerretourwater bij Ferwerderadeel (1990-1993). Rijksuniversiteit Groningen, Mariene Biologie.
- Dalfsen, J.A. van & R. Bijkerk, 1998** – Onderzoek bodemfauna stortlocatie Kimstergat. (In opdracht van de Gemeente Harlingen, Afd. Havenbeheer). Koeman en Bijkerk BV, Haren, Rapportnr. 98-24.
- Essink, K., R. Reenders, J.H. de Reus & J.A.W. de Wit, 1983** - Problematiek van het slibstorten in de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Lelystad, Nota 83.072.
- Essink, K. & A. Bos, 1985** – Growth of three bivalve molluscs transplanted along the axis of the Ems estuary. Neth. J. Sea Res. 19: 45-51.
- Essink, K., P. Tydeman, F. de Koning & H.L. Kleef, 1989** - On the adaptation of the mussel *Mytilus edulis* L. to different environmental suspended matter concentrations. Proceed. 21st Europ. Mar. Biol. Symp., Gdansk, Sept. 15-19, 1986. Polish Academy of Sciences, Institute of Oceanology: 41-51.
- Essink, K., R. Bijkerk, H.L. Kleef & P. Tydeman, 1990** - De invloed van het zwevend stof regime op de groei en conditie van de mossel (*Mytilus edulis* L.). Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Nota GWAO-90.120022.
- Essink, K., F.H.I.M. Steyaert, H.P.J. Mulder, V.N. de Jonge, T. van Heuvel & J. van den Berghs, 1992** - Effects of dredging activities in the Ems Estuary and Dutch Wadden Sea. In: N. Dankers, C.J. Smit & M. Scholl (Eds.), Proceedings of the 7th International Wadden Sea Symposium. Ameland, The Netherlands, 22-26 October 1990. Neth. Inst. Sea Res., Publ. Ser. No. 20: 243-246.
- Essink, K. & J.J. Beukema, 1991** - Long-term changes in intertidal and shallow-subtidal sedimentary zoobenthos. Review of work carried out with-in the framework of COST 647. In: B.F. Keegan (Ed.), Space and Time Series Data in Coastal Benthic Ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen.
-

for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 43-64.

Essink, K., 1993 - Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Rapport DGW-93.020.

Essink, K., 1997 – Ökologische Folgen von Baggern und Verklappen von Baggergut im Ems-Dollart-Ästuar. Schlussbericht des Projektes BAGHWAD*3. Wasser- und Schifffahrtsamts Emden. (Übersetzung: Dipl.-Geogr. D.O. Steen)

Essink, K., 1999 - Ecological effects of dumping of dredged sediments: options for management. *Journal of Coastal Conservation* 5: 69-79.

Essink, K., H.L. Kleef, P. Tydeman, J.Jungman, O. Duyts & H.

Bargerbos, 1999 – Ecologische inventarisatie in de Waddenzee nabij Kornwerderzand: bodemfauna en visserijkundige aspecten.

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ-99.010.

Honkoop, P.J.C., B.L. Bayne & J. Drent, 2003. Flexibility of size of gills and palps in the Sydney rock oyster *Saccostrea glomerata* (Gould, 1850) and the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 282: 113-133.

Jonge, V.N. de, 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: 289-300.

Kleef, .L., K. Essink & E.E. Welling, 1992 – Het effect van het storten van baggerspecie op de bodemfauna in de Oude Westereems n de jaren 1989 en 1990. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Rapport DGW-92.018.

Laane, R.W.P.M., H. Etcheber & J.C. Relexans, 1987 -. Particulate organic matter in estuaries and its ecological implication for macrobenthos. *Mitt. Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Hamburg* 64: 71-91.

Leuchs, H. , A. Anlauf & S. Nehring (Red.), 1996. – Baggern und Verklappen im Küstenbereich. Auswirkungen auf das Makrozoobenthos. Beiträge zum Workshop am 15.11.1995 in Hamburg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz/Berlin, Mitteilung Nr. 11.

Mettam, C., 1993 - Changing palp morphology of *Mytilus edulis* along a gradient of turbidity. In: J.C. Aldrich (Ed.), Quantified phenotypic responses in morphology and physiology. *Proceed. 27th Europ. Mar. Biol. Symp.*, Dublin, 7-11 Sept. 1991, pp. 229-237. JAPAGA, Ashford.

Mulder, H.P.J., 1999 – Integrale analyse van een stortlocatie nabij Kornwerderzand. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ-99.033.

Romeyn, K. & J. Leiseboer, 1990 – Effekt van sedimentdepositie op Nematoden uit het Eems-Dollard estuarium. Rijksuniversiteit Groningen, Vakgroep Mariene Zoölogie.

Strating, G.A. & C.A. Venema, 1855 – De Dollard of geschied-, aardrijks- en natuurkundige beschrijving van dezen boezem der Eems. J.Oomkens J.Zoon en R.J. Schierbeek, Groningen.

Theisen, B.F., 1982 - Variation in size of gills, labial palps and adductor muscle in *Mytilus edulis* L. (Bivalvia) from Danish waters. *Ophelia* 21: 49-63.

-
- Werkman, G.T., 1999** – Criteria voor het storten van baggerspecie in het oppervlaktewater van de Waddenzee. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ-99.031.
- Witt, J., A. Schroeder, R. Knust & W.E. Arntz, 2004** – The impact of harbour sludge disposal on benthic macrofauna communities in the Weser estuary. Helgol. Mar. Research 58: 117-128.



Sleephopperzuiger

7. Zand- en schelpenwinning en benthos

7.1 Inleiding

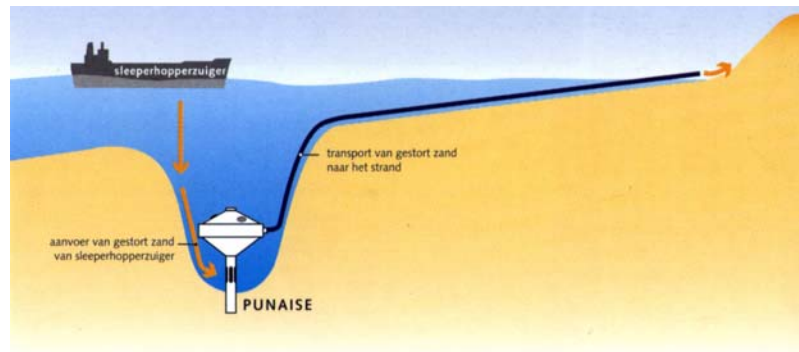
Zand, grind, schelpen en klei worden sinds lang uit zee gewonnen ten behoeve van diverse toepassingen op land. Zand en grind worden gebruikt voor de beton- en metselindustrie. Zand wordt voorts toegepast in infrastructurele werken (opvulzand) en kustsuppleties. Schelpen worden gewonnen voor de productie van kalk en toepassing als kippengrit, fietspadverharding en isolatiemateriaal voor kruipruimtes van woningen.

7.1.1. Zandwinning

In de 1970er jaren ontstond bezorgdheid omtrent de eventuele nadelige effecten van zandwinning in de Waddenzee omdat voorzien werd dat de vraag naar zand in de komende jaren gestaag zou toenemen. In afwachting van een wetenschappelijk onderzoek naar de gevolgen werd de zandwinning in de Waddenzee vanaf 1974 gecontingenteerd, waarbij alleen in dieper water (beneden -5 m NAP) wordt gewonnen. Dit terughoudend beleid hield verband met de planologische kernbeslissing over de Nota Waddenzee. In 1977 werd door Rijkswaterstaat de stuurgroep 'Onderzoek Zandwinning Waddenzee c.a.' geïnstalleerd en werd begonnen met een hydrografisch-sedimentologisch en biologisch-ecologisch onderzoek in de Waddenzee (RWS, 1981). Het onderzoek toonde onder meer aan dat de Waddenzee en de kustzone voor de Waddeneilanden in feite één zanddelend systeem vormen. Zandwinning in de Waddenzee zou daardoor ten koste gaan van de zandvoorraad in de kustzone en zodoende een bedreiging vormen voor het instandhouden van de kustlijn. Dit leidde tot een aanpassing van het ontgrondingenbeleid. Zandwinning in de Waddenzee werd met ingang van 1999 niet langer toegestaan, met uitzondering van zandwinning als gevolg van het noodzakelijk op diepte houden van de scheepvaartgeulen. Zandwinning in de Noordzee werd slechts toegestaan zeewaarts van de -20 m NAP dieptelijn. Het zand in de kustzone werd zo ontzien vanwege het belang voor de stabiliteit van de kust op lange termijn. Na 1987 is de jaarlijkse hoeveelheid in de Noordzee gewonnen zand sterk toegenomen, onder meer als gevolg van zandwin beperkingen in Waddenzee en Voordelta. Met ingang van 1990 is de totale omvang van de zeezandwinning verder toegenomen door de vraag naar suppletiezand als gevolg van het nieuwe beleid van "dynamisch handhaven" van de kust (VenW, 1990). De zandwinning ten behoeve van de vooroeversuppletie bij Terschelling werd onderzocht binnen het RIACON-project (VAN DALFSEN & ESSINK, 1999).

In speciale gevallen is ten behoeve van strandsuppleties een uitzondering gemaakt en mocht op korte afstand van de kust een tijdelijke zandwin/overslagput worden gebruikt (Figuur 7.1). De gemaakte zandwin/overslagput werd na afloop van de suppletie weer afgevuld met zand afkomstig zeewaarts van de -20 m NAP lijn. Deze werkwijze werd onder andere toegepast bij de zg. "Punaïse proeven" bij Zandvoort, Bloemendaal en Heemskerk (HOOGEWONING & BOERS, 2001; VAN DALFSEN e.a., 1999).

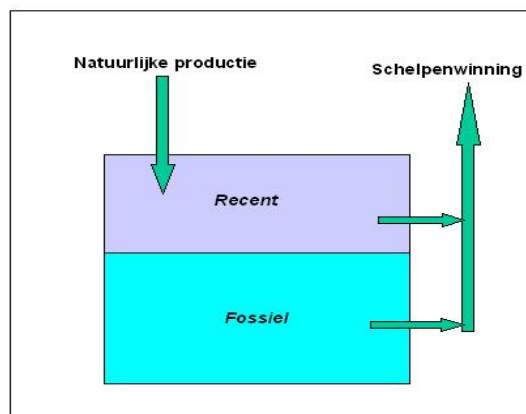
Figuur 7.1.
Schematische weergave van de werking van een "Punaïse" in een tijdelijke zandwin/overslagput ten behoeve van een strandsuppletie.
(Bron: ESSINK e.a., 1999)



7.1.2. Schelpenwinning

In de Waddenzee wordt schelpenwinning reeds vele jaren uitgevoerd. De winning is lange tijd gecontingenteerd geweest op 140.000 m³ per jaar, waarbij voornamelijk in snelstromende geulen, o.a. in de buitendelta's van de zeegaten, werd gewonnen. In het Onderzoek Zandwinning Waddenzee werd ook aandacht geschonken aan de effecten van schelpenwinning. Een zorgpunt was de vraag in hoeverre er een evenwicht was tussen de gewonnen hoeveelheden en de natuurlijke schelpkalkproductie door schelpdieren zoals de kokkel (Figuur 7.2).

Figuur 7.2.
Schelpenwinning in relatie tot natuurlijke schelpkalkproductie en de fossiele voorraad.



Anticiperend op de verder toenemende vraag naar schelpenmateriaal, waardoor nieuwe vergunningen voor winning zouden moeten worden afgegeven, werd ter voorbereiding van een nieuwe Landelijke Beleidsnota Schelpenwinning (VenW, 1998) een Milieu Effect Rapport (MER) opgesteld (CRAMER, 1998). In deze MER werd gewezen op enkele leemtes in kennis. Deze hadden o.a. betrekking op (1) betrouwbare schattingen van de natuurlijke productie aan kalk door kokkels (*Cerastoderma edule*) en strandschelpen (*Spisula subtruncata*) en (2) de waarde van schelpenbanken als vestigingsplaats voor soorten (epifauna). Deze en andere vragen kregen aandacht in het zg. 'Vervolgonderszoek Schelpenwinning' (REIJNGOUD, 2001).

7.2 Effecten van zandwinning

Bij zandwinning wordt voornamelijk gebruik gemaakt van sleephopperzuigers. Hiermee wordt een oppervlaktelaag van de zeebodem aan boord van de hopper gezogen. Het water waarmee het zand wordt opgezogen vloeit weer overboord van de hopperzuiger tezamen met de uitgespoelde fijnkorrelige fractie (slib) die in het zand aanwezig is.

7.2.1. Zandwinning in de Waddenzee

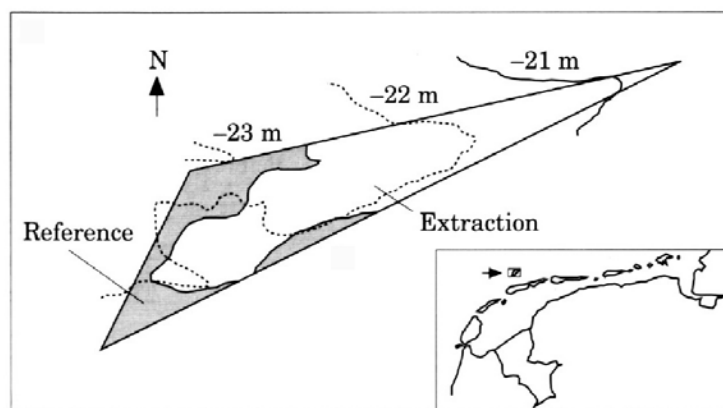
Het biologisch-ecologisch onderzoek in de Waddenzee maakte duidelijk dat de directe schade aan bodemfauna op zandwinlocaties groot is. Het herstel van die bodemfauna bleek samen te hangen met de opvulsnelheid van de zandwinputten en het daarin afgezette sediment (VAN DER VEER e.a., 1985). Herstel was het snelst op winlocaties met grote water- en sediment dynamiek, zoals in geulen. De zandwinputten werden daarbij opgevuld met ongeveer hetzelfde type sediment. Herstel van de bodemfauna besloeg hier 1 tot 3 jaar. In zandwinputten op minder dynamische locaties, zoals nabij wantijen of op droogvallende platen, was met het herstel 5 tot 10 jaar gemoeid, voornamelijk doordat de zandwinput langere tijd uitsluitend met zeer fijnkorrelig sediment (slib) opvulde, waarin bodemfauna zich niet goed kan vestigen.

7.2.2. Zandwinning t.b.v. kustsuppleties

In verband met de te verwachten toename van zandwinning op de Noordzee ten behoeve van kustsuppleties werd in de jaren 1993-1997 onderzoek uitgevoerd naar effecten op de bodemfauna op een winlocaties ten Noorden van Terschelling (Figuur 7.3). Het grootste deel van dit onderzoek is verricht in het RIACON-project (VAN DALFSEN & ESSINK, 1999). Omdat dit project niet lang genoeg duurde om te kunnen aangeven hoeveel tijd de lokale bodemfaunagemeenschap nodig heeft voor een volledig herstel werd door Rijkswaterstaat Directie Noordzee een verlenging van het onderzoek gefinancierd (VAN DALFSEN, 1999).

Figuur 7.3.

Het zandwingebed ten noorden van Terschelling. Bodemfauna monsters werden genomen in het wingebed ('extraction') en in een referentie gebied ('reference')(Bron: VAN DALFSEN e.a., 2000)



Voorafgaand aan de zandwinning werd in maart 1993 het rond -22m NAP gelegen wingebed bemonsterd. Na de zandwinning in april-november 1993 werden volgende bemonsteringen uitgevoerd in het najaar van 1994, 1995 en 1997. Binnen het wingebed konden onder meer op basis van dieptelodingen deelgebieden worden aangegeven waarin (a) daadwerkelijk zand was gewonnen (tot max. 1,5 m diep) en (b) kennelijk geen zandwinning had plaatsgevonden (verdieping <0,1 m). Dit laatste deelgebied werd als referentie gebruikt.

De door de zandwinning ontstane verdieping was in najaar 1997 nog steeds aanwezig; de verdieping was zelfs iets toegenomen.

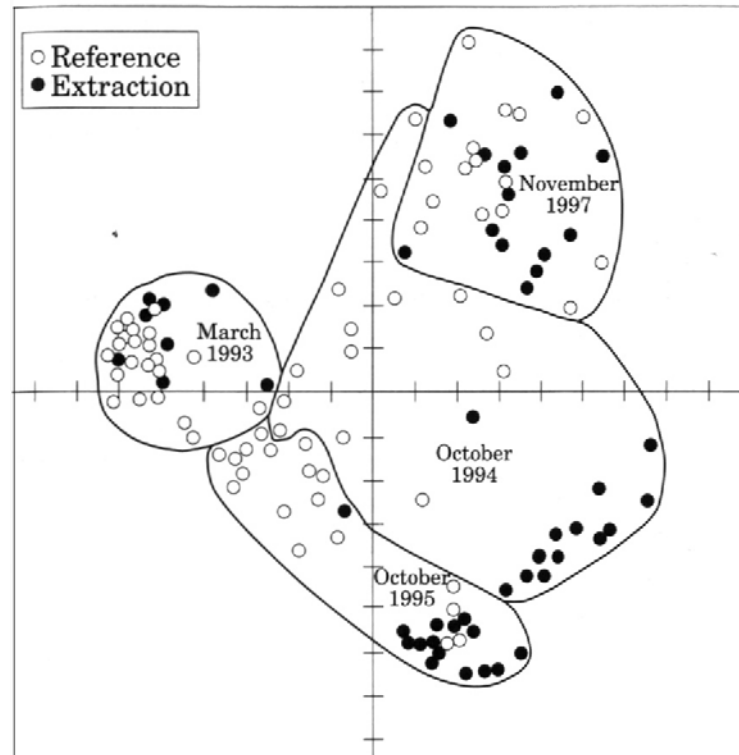
Vermoedelijk heeft dit te maken met grootschalige zeebodemdynamiek, maar dieptekaarten om dit te illustreren ontbreken helaas. Dit vermoeden wordt ondersteund door een daling van het organisch stofgehalte van het sediment zowel in het wingebed als in het referentiegebied.

Een direct gevolg van de zandwinning was een afname van de dichtheden van wormen en kreeftachtigen. De biomassa van de bodemfaunagemeenschap daalde sterk door het verdwijnen van tweekleppigen (*Donax vittatus* en *Tellina* sp.) en zeeëgels (*Echinocardium cordatum*). Een typische ontwikkeling in door zandwinning verstoorte habitats was de tijdelijke toename van de opportunistische wormensoorten *Spio filicornis* en *Spiophanes bombyx*. Een dergelijke ontwikkeling van opportunistische soorten werd ook waargenomen op de zandwinlocatie bij Torsminde (Denemarken) (BIRKLUND e.a., 1997).

Vier jaar na de zandwinning was de bodemfauna in het wingebed weer grotendeels hersteld (Figuur 7.4). Vóór de zandwinning (maart 1993) vormden de stations uit het wingebed en referentiegebied qua samenstelling van de bodemfauna een vrij homogene cluster. In het najaar van 1994 en 1995 zien we een opvallend verschil in gemeenschap structuur tussen de locaties in het echte wingebed en het referentiegebied. Pas in november 1997 vormen beide groepen stations weer een goed gemengde cluster, wat aangeeft dat er geen verschil van betekenis meer is tussen de bodemfauna gemeenschap in beide deelgebieden. Een herstel van de bodemfauna gemeenschap betekent niet noodzakelijkerwijs dat weer precies dezelfde gemeenschap aanwezig is als in maart 1993, maar dat er geen verschil meer is tussen win- en referentiegebied. De andere positie in het PCA-diagram geeft

aan dat in 1997 de bodemfauna gemeenschap een wat andere structuur heeft. Dit wordt beschouwd als een effect van de al genoemde grootschalige dynamiek van de zeebodem.

Figuur 7.4.
PCA-ordinatie diagram van de bodemfauna gemeenschap in het zandwingsgebied ten noorden van Terschelling vóór (1993) en ná (1994-1997). (Bron: VAN DALFSEN e.a., 2000)



7.2.3. Tijdelijke zandwin/overslagputten (Punaise)

Voor enkele zandsuppleties is gekozen voor het gebruik van een tijdelijke zandwin/overslagput, waarbij gebruik gemaakt werd van een onder water stationair werkend bagger/persapparaat "Punaise". Eerst maakt de "Punaise" een diepe put. Hierin wordt vervolgens voortdurend door een sleeppopperzuiger zand gestort, terwijl de "Punaise" het gestorte zand weer opzuigt en door een persleiding naar de suppletielocatie brengt. Na afloop wordt de overslagkuil weer opgevuld. Deze activiteit was evenwel niet conform de bepalingen van het Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (RWS, 1991). Daarom werd in 1993 een praktijkproef uitgevoerd bij Bloemendaal (VAN MOORSEL & MUNTS, 1995). Omdat deze proef onvoldoende gegevens opleverde omtrent de werkbaarheid van de "Punaise" en van de effecten op de bodemfauna werd een strandsuppletie bij Heemskerk (Noord-Holland) aangegrepen om een nieuwe praktijkproef uit te voeren (VAN DALFSEN e.a., 1999; VAN DALFSEN & LEWIS, 2001). Een jaar na beëindiging der werkzaamheden bleek de structuur van het oppervlakesediment volledig hersteld te zijn. Volledig herstel van de bodemfauna (dichtheid en biomassa) duurde ook hier vier jaar. De ervaringen met de praktijkproef bij Heemskerk hebben er toe geleid dat in het nieuwe Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (RON, 2004) enkele voorwaarden zijn opgenomen waaraan moet worden voldaan bij eventueel toekomstig gebruik van tijdelijke zandwin / overslagputten in de kustzone.

7.3 Effecten van schelpenwinning

Met steekzuigers worden schelpenvoorkomens aangeboord en opgezogen. Soms liggen schelpen in kleiig sediment (zg. kleischelpen). De overstort van het opzuigwater brengt die klei weer terug in de waterfase, waardoor troebeling ontstaat. Dit is niet het geval bij het zuigen van zg. schone schelpen, waartussen weinig of uitsluitend grof zand voorkomt.

Met betrekking tot bodemfauna werden in het Vervolgonderzoek Schelpenwinning (zie boven) twee vragen onderzocht, nl. 1) de omvang van de natuurlijke schelpkalkproductie en 2) het voorkomen van schelpenbanken met specifieke begroeiing.

7.3.1. Natuurlijke schelpkalkproductie

De natuurlijke schelpkalkproductie van kokkels, vooral levend op de platen in de Waddenzee, en de strandschelp, voornamelijk levend in de Noordzee kustzone, werd berekend door BEUKEMA & CADEE (1997, 1999) respectievelijk CRAEYMEERSCH & LEOPOLD (2000).

De op basis van 28 jaar gegevens berekende winbare productie van kokkelschelpkalk bleek ongeveer even groot te zijn als het jaarlijks te winnen contingent. Ouderdomsbepaling aan een gering aantal kokkelschelpen (VAN DER SPEK, 2000) gaf aan dat gewonnen wordt uit een zeker tot 9000 jaar oude voorraad, hetgeen aangeeft dat de omloopsnelheid van schelpenproductie tot schelpenvisserij erg lang is. Wat dat betreft kan geconcludeerd worden dat de schelpenvisserij een duurzame activiteit is.

Ondanks dat er ten noorden van de Waddeneilanden een redelijke schelpkalkproductie lijkt te zijn van *Spisula* schelpen, komen deze hier niet in winbare hoeveelheden voor.

7.3.2. Begroeiing schelpenbanken

Onderzocht is ook of in de Waddenzee schelpenbanken voorkomen met een specifieke begroeiing met flora en fauna (DANKERS & VAN MOORSEL, 2001). Op zes onderzochte permanent onder water staande schelpenbanken werd een begroeiing aangetroffen van voornamelijk zeepokken, hydroïed poliepen en mosdiertjes. Ook werden drie soorten zeeanemonen aangetroffen. Een soortenrijkere, verder ontwikkelde begroeiing werd niet waargenomen. Dit zou een gevolg kunnen zijn van periodieke bedekking van de schelpenbanken met zand en/of regelmatige beroering door de boomkor netten van garnalenvissers.

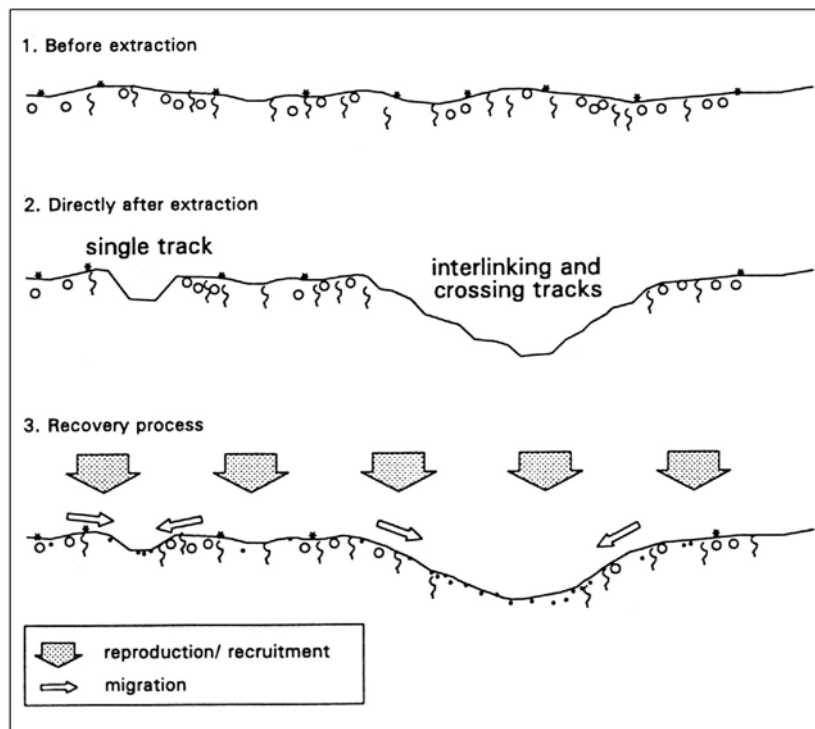
7.4 Discussie en Conclusies

Over het effect van zandwinning is door gericht locatieonderzoek veel duidelijk geworden over de directe schade aan de bodemfauna en over de periode die gemoeid is met het herstel van de locale bodemfauna gemeenschap. Het uitgevoerde onderzoek was echter steeds betrekkelijk kleinschalig. De daarbij vastgestelde volledige herstelperiode bedroeg ca. 4 jaar. Schematisch kan de verstoring en het herstel van de bodemfauna gemeenschap worden voorgesteld als in

figuur 7.5 is gedaan voor het zandwingebed ten Noorden van Terschelling.

Figuur 7.5.

Conceptueel model van de verschillende mate van impact van zandwinning in een situatie A met geïsoleerd liggende zandwin "tracks", en een situatie B met meerdere door elkaar heen lopende zandwin "tracks" en van de processen die leiden tot herstel van de bodemfauna gemeenschap: reproductie, recruitment en migratie. (Bron: VAN DALFSEN & ESSINK, 1997)



In de toekomst wordt zandwinning op veel grotere schaal verwacht, bijv. ten behoeve van de tweede Maasvlakte. Voor grootschalige zandwinning zijn een aantal scenario's denkbaar, zoals

- winning ondiep, op één of meerdere verspreide winlocaties
- winning diep, op één of meerdere verspreide winlocaties
- winning door overdimensionering van bijv. Euro/Maasgeul en IJgeul

Om voor beleidsbeslissingen t.a.v. dergelijke grootschalige zandwinning een afwegingskader op te kunnen stellen zijn diverse studies uitgevoerd. Met betrekking tot de effecten op bodemfauna wordt gesteld dat winning op meerdere kleinere gebieden, opeenvolgend in de tijd, de voorkeur heeft boven winning in één groot gebied, omdat verwacht wordt dat het herstel in die gespreid gelegen gebieden sneller zal verlopen (VAN DALFSEN, 2000).

Of zich op onder water liggende schelpenbanken in de Waddenzee inderdaad soortenrijke begroeiingen kunnen ontwikkelen moet nog blijken. In de komende jaren zal verder onderzoek over de mogelijke ontwikkeling van begroeiingen op in geulen voorkomende schelpenbanken worden uitgevoerd, o.a. in het permanent voor alle menselijke activiteiten, incl. bodemberoerende visserij, gesloten z.g. referentiegebied ten zuiden van Rottumerplaat en Rottumeroog (LNV, 2004). Van deze nieuwe kennis zal het kunnen afhangen of tot aanpassing van het beleid ten aanzien van de schelpenwinning in de Waddenzee zal moeten worden besloten.

7.5 Literatuur

- Beukema, J.J. & G.C. Cadée, 1997** - De voor winning beschikbare jaarlijkse schelpkalkproductie door kokkels in de Nederlandse Waddenzee. Ned. Inst. voor Onderzoek der Zee, Texel. Rapport opgesteld in opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland. 27 pp.
- Beukema, J.J. & G.C. Cadée, 1999** - An estimate of the sustainable rate of shell extraction from the Dutch Wadden Sea. *J. Appl. Ecol.* 36: 49-58.
- Birklund, J., H. Toxvig, C. Laustrop, 1996** - RIACON Risk analysis of coastal nourishment techniques. Risk of shoreface nourishment and subaqueous sand extraction for the coastal marine benthic community. Evaluation of the nourishment and sand extraction off Torsminde, Denmark. Danish Coastal Authority, in cooperation with Water Quality Institute (VKI). Lemvig.
- Craeymeersch, J.A. & M.F. Leopold, 2000** - Jaarlijkse schelpkalkproductie door *Spisula subtruncata*. RIVO Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek, IJmuiden/Yerseke. RIVO Rapport nr. C047/00.
- Cramer, A., 1998** - MER Schelpenwinning ter onderbouwing van landelijk beleid. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.
- Dalfsen, J.A. van, 1999** - Long-term effects of subaqueous sand extraction north of the island of Terschelling. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Report nr. RIKZ-98.034.
- Dalfsen, J. van & K. Essink, 1997** - Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands. Part A. The ecological effects of shoreface nourishment off the island of Terschelling, Part B. The ecological effects of subaqueous sand extraction North of the island of Terschelling, Part C. Literature references. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Report Nr. RIKZ-97.022.
- Dalfsen, J.A. van, O.W.M. Duyts & B. Storm, 1999** - Effecten op de bodemfauna van het gebruik van een tijdelijke zandwin/overslagput in de kustzone ter hoogte van Heemskerk. Eindrapport Punaise 2. Koeman en Bijkerk, Haren. Rapport nr. 99-13.
- Dalfsen, J.A. van, K. Essink, H. Toxvig Madsen, J. Birklund, J. Romero & M. Manzanera, 2000** - Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1439-1445.
- Dalfsen, J.A. van & W. Lewis, 2001** - Punaise*3. Lange-termijn effecten op de bodemfauna van een tijdelijke zandwin/overslagput in de kustzone ter hoogte van Heemskerk (NH). TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn. TNO-rapport R 2001/494.
- Dankers, N.M.J.A. & G.W.N.M. van Moorsel, 2001** - Schelpenbanken als ecotoop: flora en fauna op schelpenbanken in de Waddenzee. Alterra, Rapport 202. 66 pp.
- Hoogewoning, S.E. & M. Boers, 2001** - Fysische effecten van zeezandwinning. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag. Rapport RIKZ/2001.050.
- LNV, 2004** - Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005 –

2020. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

Moorsel, G.W.N.M van & R. Munts, 1995 - Effecten van zandoverslag met de "Punaise II" op sediment en macrobenthos. Bureau Waardenburg B.V., Culemborg.

Reijngoud, T.T., 2001 - Eindrapport Vervolgonderzoek Schelpenwinning. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland, Leeuwarden. Rapport nr. DNN 826/2001.

RON, 2004 – Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (RON2). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dir.-Gen. Rijkswaterstaat, Directie Noordzee (januari 2004).

RWS, 1981 - Zandwinning in de Waddenzee. Resultaten van een hydrografisch-sedimentologisch en biologisch-ecologisch onderzoek. Rijkswaterstaat, Directie Friesland, Leeuwarden.

RWS, 1991 - Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (RON-MER). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Noordzee.

VenW, 1990 - Kustverdediging na 1990; Beleidskeuzenota. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

VenW, 1998 - Landelijke Beleidsnota Schelpenwinning. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Hoofdkantoor van de Waterstaat, Den Haag.

Spek, A.J.F. van der, 2000 - Vervolgonderzoek Schelpenwinning Waddenzee – De ouderdom van winbare schelpen. NITG-TNO, Rapport nr. NITG 00-198-B.

Veer, H.W. van der, M.J.N. Bergman & J.J. Beukema, 1985 - Dredging activities in the Dutch Wadden Sea: effects on macrobenthic infauna. *Neth. J. Sea Res.* 19: 183-190.



Strandsuppletie op Texel

8. Kustsuppleties en benthos

8.1 Inleiding

De zandige kust van Nederland is voortdurend onderhevig aan de natuurlijke dynamiek van aangroei en afslag. Lokaal is die kust vastgelegd door middel van “harde” verdedigingswerken, zoals de Hondsbossche Zeewering, steenstortingen en strekdammen. Afslag van stranden is lange tijd bestreden door het opbrengen van zand uit zee (strandsuppletie). Dit had veelal een tweeledig doel: 1) bescherming van de duinvoet tegen verdere afslag, en 2) handhaving van het strand voor recreatief gebruik.

Als alternatief voor strandsuppletie, die vooral bij rustig weer, dus in voorjaar en zomer moest worden uitgevoerd, is een methode ontwikkeld die minder afhankelijk is van de weersomstandigheden, en daardoor ook buiten het recreatie seizoen kan worden uitgevoerd. Dit is de zg. vooroeversuppletie. Het principe hiervan is dat op enige afstand van een geërodeerd of eroderend strand onder water een zandbuffer wordt neergelegd, die vervolgens door de natuurlijke werking van stroming en golven naar het strand wordt verplaatst (VAN HEUVEL & HILLEN, 1991). De effectiviteit van dergelijke vooroeversuppleties is onderzocht in een Europees project NOURTEC, dat op een drietal locaties in Denemarken (Torsminde), Duitsland (Norderney) en Nederland (Terschelling) werd uitgevoerd (NOURTEC, 1997).

Vooroeversuppleties spelen een belangrijke rol in het beleid van dynamisch kustlijnbeheer (ANON, 1990; DE RUIJ, 1995) en spelen in op zeespiegelstijging (ANON., 1996).

Strandsuppleties ter versterking van strand en vooroever zijn kosteneffectief (o.a. ROELSE, 2002) en worden in Europa steeds breder geaccepteerd als aantrekkelijk alternatief voor “harde” kustverdediging (HAMM e.a., 2002; HANSON e.a., 2002). Voor het handhaven van de koppen der Waddeneilanden kan echter niet in alle gevallen volstaan worden met zandsuppleties. Alternatieven zijn hier geulwand bestortingen, stenen dammen en zanddammen in de geulen vlak langs die eilandkoppen (CLEVERINGA e.a., 2004) of lange strekdammen zoals de Eijerlandse dam op Texel (DE KOK, 2005).

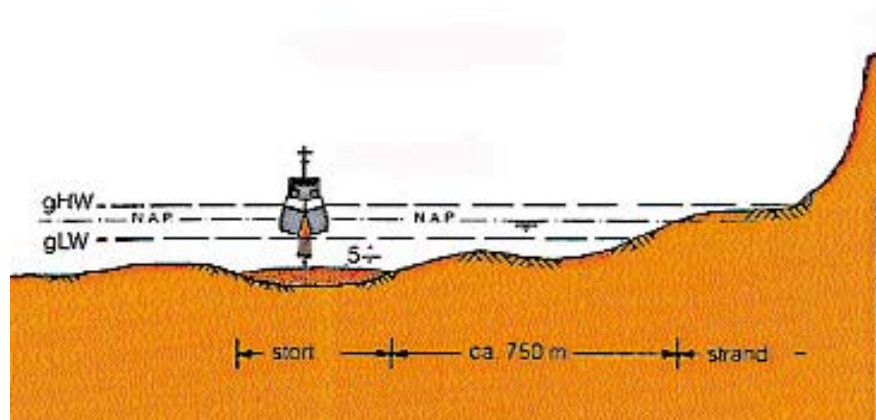
Het effect van zandsuppleties op de fauna van het strand is onderzocht op Ameland en Texel (DANKERS e.a., 1983). Over het effect van vooroeversuppleties bestond niet meer dan een globale aanduiding (RWS, 1988). Om de kennis omtrent het effect van vooroeversuppleties op het ecologische functioneren van strand en vooroever, in het bijzonder van de bodemfauna en de daarvan afhankelijke diergroepen (vissen, vogels), te verdiepen nam het Rijksinstituut voor Kust en Zee het initiatief tot een studie die aanhaakte op het NOURTEC project. Dit onderzoek “Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques (RIACON)” werd eveneens een Europees project, waaraan niet alleen

door Denemarken en Duitsland, maar ook door België en Spanje werd deelgenomen (ESSINK, 1997). Binnen het raam van de beleidscyclus gaf het RIACON project invulling aan zowel onderzoek ten behoeve van kennisverwerving als evaluatie (fase 5). In het RIACON project werd ook het effect op de bodemfauna van zandwinning meegenomen (zie hoofdstuk 7).

8.2 De suppletie bij Terschelling

Tussen april en november 1993 werd ca. 2,1 miljoen m³ zand gestort in een trog tussen de tweede en derde brekerbank op ca. 750 m vanaf het strand (Figuur 8.1). In het onderzoek werd ook een 3 km westelijk gelegen referentiegebied met vergelijkbaar bodemprofiel betrokken. Direct voor en na de suppletie werden met een zg. Reineck box corer monsters genomen van het sediment en de bodemfauna. Dit werd gedaan in drie strata, nl. in de trog waarin het suppletiezand werd gestort en waar de grootste verandering te verwachten was, op de tweede en op de derde brekerbank. De monsternamen werden herhaald in voorjaar en najaar van 1994 en 1995. Het effect op de bodemfauna, alsmede het verloop van het herstel, werd afgeleid uit de verschillen tussen de monsternamen voor en na de suppletie, tussen trog en brekerbanken, en tussen suppletie- en referentiegebied. De structuur van de bodemfauna gemeenschap en van de veranderingen daarin werd bestudeerd door middel van parameters voor soortendiversiteit, cluster analyse (TWINSpan), ordinatie (MDS) en correspondentie analyse (PCA) (zie VAN DALFSEN & ESSINK, 1997).

Figuur 8.1.
Schematisch profiel van de vooroever met brekerbanken en de positie van de vooroeversuppletie.



8.3 Effecten van vooroeversuppleties

Het doel van het RIACON project was het bestuderen van de reactie van de bodemfauna gemeenschap (afname en herstel) op een eenmalige zandsuppletie in de vooroever, en het op basis van de verkregen resultaten inschatten van de hieraan verbonden risico's voor vissen en vogels die van deze bodemfauna afhankelijk zijn. Op de Spaanse onderzoekslocatie werd speciaal aandacht gegeven aan de zeegras gemeenschap van de Middellandse Zee.

Naast een overall eindrapport (ESSINK, 1997) zijn rapporten verschenen over de afzonderlijke deelstudies (BIRKLUND e.a., 1996; MANZANERA e.a.,

1996; LE ROY e.a., 1996; GROTHJAHN & LIEBEZEIT, 1997; VAN DALFSEN & ESSINK, 1997). Hieronder worden de belangrijkste resultaten samengevat. Daarnaast is van elke bemonstering nabij Terschelling een resultatenrapport verschenen bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee te Haren.

8.3.1. Directe effecten

Hoewel in het studiegebied in de Middellandse Zee geen nadelig effect op de aanwezige zeegras bestanden werd geconstateerd, bleek uit experimenteel onderzoek met behulp van duikers dat afzetting van slechts enkele centimeters zand al kan leiden tot sterfte van bladscheuten van het zeegras *Posidonia oceanica*. Mede op basis van deze gegevens werd een voorspellend model ontwikkeld waarmee het risico van zandsuppleties voor zeegrasvelden nabij de kust kan worden ingeschat.

Op de vooroevers van de onderzoekslocatie in de Noordzee werd in korte tijd een pakket zand gestort van 1 – 3 meter dik. Het was te verwachten dat slechts enkele soorten bodemdieren dit kunnen overleven door snel door het gestorte zand naar boven te kruipen (BIJKERK, 1988). Dit bleek het geval te zijn. Zowel het aantal soorten als de totale hoeveelheid biomassa van die soorten was direct na het beëindigen van de suppletie sterk afgenomen. De sterke afname van biomassa was vooral het gevolg van sterfte van grotere soorten zoals tweekleppige schelpdieren en de zeeëgel (*Echinocardium cordatum*). De verstoring van de zeebodem leidde bij Norderney wel tot een sterke, maar kort durende, ontwikkeling van zg. opportunistische soorten (bijv. de gemshoornworm *Scolecopsis squamata* - Figuur 8.2), maar bij Terschelling was dit niet het geval.

.....
Figuur 8.2.

De gemshoornworm *Scolecopsis squamata* (Foto: Peter Tydeman)

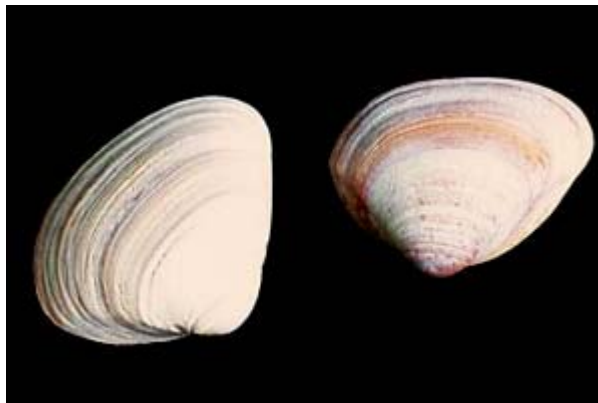


8.3.2. Het herstel proces

Op de locaties in de Noordzee was ongeveer een jaar na de voltooiing van de suppletie het herstel van de bodemfauna gemeenschap al in gang. Twee jaar na voltooiing hadden dichtheden en biomassa van soorten en de soortendiversiteit zich grotendeels hersteld tot waarden die voorafgaand aan de suppletie waren waargenomen. De structuur van de bodemfauna gemeenschap in het suppletiegebied was niet langer meer sterk afwijkend van de structuur in het referentiegebied. Geheel hersteld was de bodemfauna gemeenschap na twee jaar nog niet. Vooral bij de langer levende soorten, zoals zaagje (*Donax vittatus*), halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) en zeeëgel (*Echinocardium cordatum*) (Figuur 8.3), was de leeftijdsopbouw nog verstoord. Er waren als gevolg van succesvolle voortplanting hoofdzakelijk dieren van 1 en 2 jaar oud aanwezig; oudere ontbraken.

.....
Figuur 8.3.

De halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata* (boven) en de zeeëgel *Echinocardium cordatum* (onder) (Foto: S. Dijkse).



8.3.3. Herstelduur

Hoewel op de Noordzee locaties twee jaar na de suppletie de bodemfauna al grotendeels was hersteld, wordt er van uit gegaan dat met volledig herstel, d.w.z. ook van de langer levende bodemfauna soorten, een periode van vijf jaar gemoeid zal zijn. Dit geldt ook voor het volledig herstel van de biomassa omdat de oudere jaarklassen van

deze lang levende soorten een belangrijk aandeel hebben in de totale biomassa van de bodemfauna gemeenschap.

In geval van schade aan *Posidonia* vegetaties in de Middellandse Zee als gevolg van zandsuppleties wordt geschat dat herstel van deze zeer langzaam groeiende plant, en daardoor ook van de specifieke bodemfauna die in deze vegetaties leeft, wel honderd jaar kan duren.

8.4 Discussie en Conclusies

Het gesuppleerde zand, dat op grotere diepte in de Noordzee wordt gewonnen, is in het algemeen grover dan het zand dat van nature op de te suppleren locatie voorkomt. Door de grote dynamiek in de kustzone (golven, getijstroom) wordt het gesuppleerde zand intensief met het lokaal aanwezige zand gemengd en vindt langs de kust gericht transport plaats. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de grovere korrel van het suppletiezand van invloed is geweest op het herstelproces van de bodemfauna.

Het directe effect op de bodemfauna van zandsuppletie wordt veroorzaakt door het snel storten van suppletiezand. Dit is een logisch gevolg van het gebruik van hopperzuigers, en is ook kosten besparend. Indien al varende meer gespreid over het suppletiegebied zou worden gestort, waardoor de nieuwe zandlaag geleidelijker in dikte zou toenemen, hadden veel bodemfauna soorten dit beter kunnen overleven dan het in korte tijd storten van een dik zandpakket (zie BIJKERK, 1988). Het directe effect zou dan geringer zijn geweest.

Herstel van de bodemfauna gemeenschap op de suppletielocatie is een gevolg van meerdere processen. Allereerst is er vestiging van dieren die afkomstig zijn uit de meer directe omgeving, en die zich met de waterstromingen kunnen laten meevoeren. Dit is een continu proces. Daarnaast is er in het voortplantingsseizoen vestiging van broed. Deze jonge dieren kunnen zowel uit de omgeving als uit het suppletiegebied zelf afkomstig zijn. Voor langer levende diersoorten zijn meerdere jaren met succesvolle voortplanting noodzakelijk om een volledig herstel van de leeftijdsopbouw te bereiken. Hiermee is ca. 5 jaar gemoeid.

Over het risico van kustsuppleties voor vissen kan het volgende worden gezegd. Aan de ene kant is dit risico waarschijnlijk relatief gering omdat vooroeversuppleties niet jaarlijks worden uitgevoerd, en omdat twee jaar na de ingreep de bodemfauna weer grotendeels is hersteld. Aan de andere kant kan er wel degelijk sprake zijn van risico's wanneer vooroeversuppleties omvangrijker zijn dan enkele vierkante kilometers. Thans geplande suppleties langs de Nederlandse kust zijn omvangrijker in oppervlak dan de laatste suppleties op diezelfde kustgedeelten en vertegenwoordigen daardoor een groter risico. De brandingszone is rijk aan bodemfauna en ook aan diverse (plat)vissoorten (KLEEF, 2004). Latere gegevens analyse (RIKZ-Haren, nog niet gepubliceerd) suggereert een sterke afhankelijkheid van jonge tong (*Solea solea*) van de bodemfauna van de kustzone. Verdere kennisontwikkeling is derhalve gewenst.

In de winter benutten duikeenden de schelpdierbestanden die in de kustzone voorkomen. Boven de Waddeneilanden zijn dat vooral de zwarte zeeëend (*Melanitta nigra*) en de eidereend (*Somateria mollissima*). Zij doen zich vooral tegoed aan *Spisula* banken. Van

nadelig effect voor zeeëenden is alleen sprake als door vooroeversuppleties belangrijke *Spisula* banken met zand worden bedekt en vernietigd zouden worden. *Spisula* banken komen niet altijd op dezelfde plaatsen tot ontwikkeling (LEOPOLD, 1996; LEOPOLD & VAN DER LAND, 1996). Om te voorkomen een toekomstige suppletie de voedselbeschikbaarheid voor duikeenden lokaal enkele jaren nadelig beïnvloedt zou het aanbeveling verdienen na te gaan of in het suppletiegebied belangrijke *Spisula* banken voorkomen zodat deze eventueel kunnen worden ontzien. Inmiddels is meer kennis beschikbaar gekomen over de bodemfauna en de ecologische betekenis van de Nederlandse stranden en brandingzone (JANSSEN & MULDER, 2004, 2005) Hierop kan verder worden gebouwd bij de uitvoering van diverse werkzaamheden en beheersmaatregelen.

8.5 Literatuur

- Anonymus, 1990** – A new coastal defence policy for the Netherlands. Ministry of Transport and Public Works, Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Anonymus, 1996** – Kustbalans 1995. De Tweede Kustnota, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dir.-Gen. Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Bijkerk, R., 1988** – Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. Rapport literatuurstudie. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen.
- Birklund, J., H. Toxvig & C. Laustrop, 1996.** Risk analysis of coastal nourishment techniques. Risk of shoreface nourishment and subaqueous sand extraction for the coastal marine benthic community. Evaluation of the nourishment and sand extraction off Torsminde, Denmark. Danish Coastal Authority, in cooperation with Water Quality Institute (VKI). Lemvig.
- Cleveringa, J., S. Mulder & A. Oost, 2004** – Kustverdediging van de koppen van de Waddeneilanden. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/2004.017.
- Dalfsen, J.A. van & K. Essink, 1997** - Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands. Part A. The ecological effects of shoreface nourishment off the island of Terschelling, Part B. The ecological effects of subaqueous sand extraction North of the island of Terschelling, Part C. Literature references. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ. Report Nr. RIKZ-97.022.
- Dankers, N., M. Binsbergen & K. Zegers, 1983** – De effecten van zandsuppletie op de fauna van het strand van Texel en Ameland. Rijksinstituut voor Natuurbeheer. RIN-rapport 83/6.
- Essink, K., 1997** - Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON). Final evaluation report. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ. Report Nr. RIKZ-97.031.
- Grotjahn, M. & G. Liebezeit, 1997** - Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON). Risk of beach nourishment for the foreshore and shallow foreshore benthic communities on the island of Norderney, Germany. Evaluation of the nourishment in 1994. Aqua-Marin, Norden / Terramare, Wilhelmshaven.
- Hamm, L., M. Capobianco, H.H. Dette, A. Lechuga, R. Spanhoff & M.J.F. Stive, 2002** – A summary of European experience with shore nourishment. Coastal Engineering 47: 237-264.
- Hanson, H., A. Brampton, M. Capobianco, H.H. Dette, L. Hamm, C. Laustrop, A. Lechuga & R. Spanhoff, 2002** – Beach nourishment

projects, practices and objectives – a European overview, Coastal Engineering 47: 81-111.

Janssen, G.M. & S. Mulder, 2004 – De ecologie van de zandige kust van Nederland. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/2004.033.

Janssen, G.M. & S. Mulder, 2005 – Zonation of macrofauna across sandy beaches and surf zones along the Dutch coast. Oceanologia 47: 265-282.

Heuvel, T. van & R. Hillen, 1991 – Coastline management. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Den Haag.

Kleef, H.L., 2004 – Ecologie van de zandige kust. Het macrobenthos en de epifauna in de brandingszone bij Egmond en Castricum in relatie tot de diepte. RIKZ, Haren. Werkdocument RIKZ/OS/2004.603w.

Kok, J. de, 2005 – Morfologische effecten van de Eijerlandse dam. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/2005.003.

Leopold, M., 1996 – *Spisula subtruncata* als voedselbron voor Zeeëenden in Nederland. Beleidsgericht ecologisch onderzoek van Noordzee/Waddenzee (BEON). BEON-rapport Nr. 96-2, ISSN 0924-6576.

Leopold, M. & M.A. van der Land, 1996 – Fishermen and seaducks are moving towards sharing the *Spisula*-resource in The Netherlands. Wadden Sea Newsletter 1996-1: 24-26.

Le Roy, D., S. Degraer, K. Mergaert, I. Dobbelaere, M. Vincx & P. Vanhaecke, 1996 – Risk of shoreface nourishment for the coastal marine benthic community. Evaluation of the nourishment off De Haan, Belgium. Ecolas N.V., Antwerp.

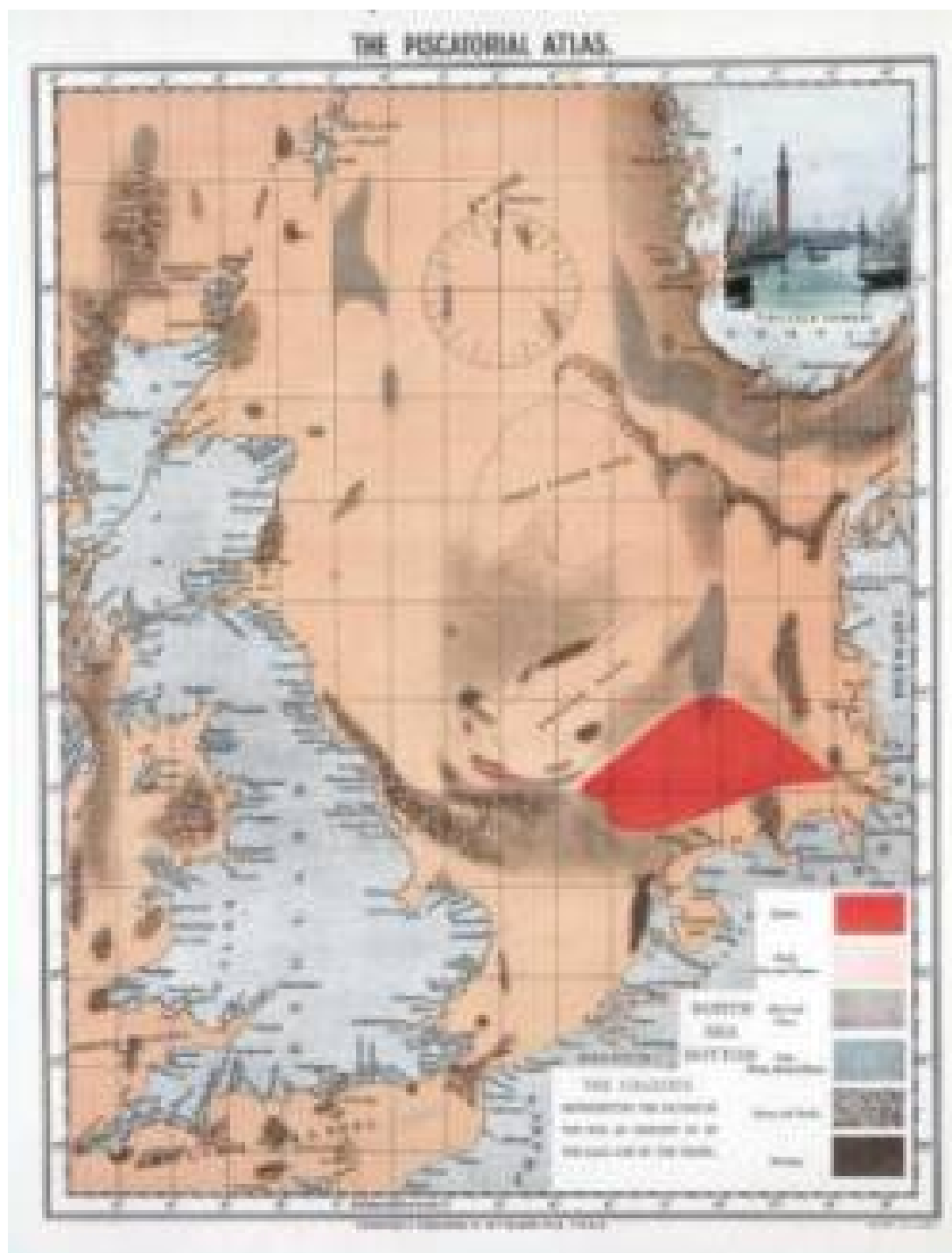
Manzanera, M., J. Romero, J.A. Jiménez & A. Sánchez-Arcilla, 1996 – Risk of shoreface nourishment (and subaqueous sand extraction) for the coastal marine benthic community. Evaluation of the nourishment (and sand extraction) off Costa Daurada (Tarragona; Spain). University of Barcelona / Polytechnical University of Catalunya.

NOURTEC, 1997 – Innovative nourishment technique evaluation. Final report. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Den Haag.

Roelse, P., 2002 – Water en zand in balans. Evaluatie zandsuppleties na 1990; een morfologische beschouwing. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/2002.003.

Ruig, J. de, 1995 – De kust in breder perspectief. Basisrapport Kustnota 1995. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/95-005.

RWS, 1988 – Handboek zandsuppleties. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat en Uitg. Waltman. 310 pp.



De bodem van de Noordzee in 1883, met veenafzettingen langs de Hollandse kust, stenenrijke bodem nabij Borkum en oesterbanken (rood).

(Bron: OLSEN, O.T., 1883. The Piscatorial Atlas of the North Sea, English and St. George's Channels. Taylor and Francis, London).

9. Toekomstperspectief

Van diverse menselijke ingrepen zijn inmiddels de directe effecten op de bodemfauna grotendeels bekend. Bekend is ook dat met het herstel van een bodemfaunagemeenschap na beëindiging van de ingreep meerdere jaren kan zijn gemoeid. Het betreft hier in feite kennis van processen die zich op betrekkelijke kleine schaal afspelen, zowel in de ruimte als in de tijd. Maar is het ook zo duidelijk als we op grotere schaal kijken?

9.1 Noordzee visserij

Op een grotere ruimtelijke schaal, zoals die van de Noordzee, speelt wat mij betreft onder meer de vraag hoe groot het effect nu precies is van de visserij met bodemvistuigen. Op die grote ruimtelijke schaal heeft het IMPACT II project niet alle antwoorden kunnen geven (LINDEBOOM & DE GROOT, 1998). Een goede analyse van de veranderingen in de bodemfauna van de Noordzee sinds 1986 heeft de potentie nieuwe inzichten op te leveren. Aan een dergelijke analyse wordt momenteel gewerkt in de ICES Study Group on the North Sea Benthos Project 2000. De bodemfauna gegevens uit het MWTL monitor programma op het Nederlands Continentaal Plat leveren hieraan een belangrijke bijdrage. De resultaten zullen worden gepubliceerd in een ICES Cooperative Research Report en in internationale wetenschappelijke tijdschriften.

In verband met de beïnvloeding van de bodemfauna door zware bodemvistuigen is onder meer de ontwikkeling interessant van een bodemvistuig dat de zeebodem en de daarin en op levende fauna minder verstoort. Sinds medio 2004 vindt er in opdracht van het Ministerie van LNV een praktijkproef plaats met een zg. 'pulsor' waarmee op de Noordzee op schol en tong wordt gevist. Elektrische pulsen vervangen hierbij de zware kettingen waarmee de vis uit de bodem wordt gejaagd. Deze praktijkproef loopt tot december 2005. Mocht deze technologische ontwikkeling succesvol blijken – ook in bedrijfseconomische zin – dan zou het van belang zijn na te gaan hoe de bodemfauna van de Noordzee hierop reageert.

9.2 Klimaatverandering

Op nog grotere ruimtelijke schalen spelen ook processen die de bodemfauna op de langere termijn kunnen beïnvloeden. We moeten hier denken aan de jaarlijkse variatie in grootschalige weerscondities, zoals de El Niño Southern Oscillation (ENSO) op het zuidelijk halfrond en de North Atlantic Oscillation (NAO) op het noordelijk halfrond. Jaren met een positieve NAO-Index worden in Noord Europa gekenmerkt door sterkere westen winden, toegenomen neerslag en toegenomen temperatuur, terwijl in jaren met een negatieve NAO-Index het omgekeerde gebeurt. Veel effecten van dit soort klimaatschommelingen zijn gedocumenteerd, niet alleen in zee maar ook op het land (o.a. STENSETH, 2002). Enkele benthos onderzoekers

hebben in hun lange tijdseries van gegevens correlaties gevonden met deze NAO-Index, waarbij zeewater temperatuur als een belangrijke intermediair tussen NAO en benthos wordt beschouwd (KRÖNCKE e.a., 2001, TUNBERG & NELSON, 1998).

Deze regionale klimatologische patronen zijn zelf weer onderdeel van een nog groter proces van klimaatverandering. Het meest ingrijpend effect van 'global warming' is dat strenge winters minder frequent zullen voorkomen, en dat de winters in het algemeen een zachter karakter zullen hebben. Gezien het effect dat we inmiddels kennen van zachte winters op het voortplantingssucces van schelpdieren en op een verhoogde predatiedruk op postlarvale schelpdieren op bijv. garnalen kan verwacht worden dat een geleidelijke achteruitgang zal optreden van schelpdierbestanden in de Waddenzee. Dit zal niet alleen voor de mens (bijv. mosselkwekers) maar ook voor andere delen van het ecosysteem (bijv. schelpdier etende vogels) gevolgen kunnen hebben. Bij het beoordelen van (betrekkelijk) lokale menselijke ingrepen in mariene en estuariene ecosystemen is het dus van belang oog te hebben voor dit soort grootschalige klimatologische processen.

9.3 Veranderingen in estuaria

Estuaria zijn sinds historische tijden intensief door de mens gebruikt. Vooral ten behoeve van landgebruik zijn gebieden bedijkt en ingepolderd, en ten behoeve van de scheepvaart zijn havens aangelegd en geulen verdiept. Voortdurend baggerwerk is nodig om te voorkomen dat het estuariene systeem terugkeert naar haar hydro-morfologische evenwichtssituatie. De voortgaande verdieping van Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart heeft geleid tot verlies van kwelders (schorren), bij laagwater droogvallende wadplaten en ondiepe delen, vooral in het oostelijk deel (HUYS, 1995; VROON e.a., 1997). In hoeverre dergelijke veranderingen in het Eems-Dollard estuarium ook zijn opgetreden is nog onvoldoende gedocumenteerd. Wel zijn in deze estuaria aanmerkelijke hydrologische veranderingen opgetreden. Ook is er sprake van invloed van diverse verontreinigingen. Ondanks dat herbergen de genoemde estuaria waardevolle ecosysteem elementen. In het Wadden Sea Quality Status Report 2004 wordt aanbevolen de menselijke beïnvloeding van het estuariene systeem nader te bestuderen. Een beter inzicht hierin, en daardoor in de mogelijkheden tot verbetering c.q. herstel van de ecologische kwaliteit zal in het kader van de Kaderrichtlijn Water in de komende periode ook zeker worden gevraagd.

9.4 Monitor technieken

Monitor programma's hebben altijd hun beperking. Dit is onder meer het gevolg van de beperkte mate waarin informatiebehoefte ten dienste van beleid en beheer nogal eens is geformuleerd. Aan de andere kant is er natuurlijk de beperking van beschikbare budgetten. Dit vraagt een voortdurend attent zijn op mogelijkheden om monitor programma's en methoden te verbeteren en te optimaliseren. Als recent voorbeeld hiervan wil ik noemen het gebruik van de alikruik (*Littorina littorea*) voor biologische effect-monitoring (BOVELANDER, 2005). Deze soort is weliswaar wat minder gevoelig voor verontreiniging met organotin verbindingen dan de purperslak en de wulk, maar komt – anders dan deze twee soorten – algemeen langs

onze kust voor, en kan dus veel beter gebruikt worden voor het beoordelen van de ecologische waterkwaliteit.

Meer dan voorheen zal aandacht besteed dienen te worden aan het onderzoeken en monitoren van effecten van een grote diversiteit aan stoffen die het hormonale systeem van aquatische organismen kunnen ontregelen (BAKKER e.a., 2005). Nader zal moeten worden verkend hoe groot dit probleem precies is.

9.5 Waarom monitoren?

Het in stand houden van monitor programma's is kostbaar.

Gereserveerde budgetten staan regelmatig ter discussie. Waarschijnlijk wordt dit mede veroorzaakt doordat de waarde en toepassing van de verkregen informatie niet altijd expliciet herkenbaar is als resultaat van een algemeen monitor programma, bijvoorbeeld MWTL. Als dit laatste een belangrijk gegeven is kan met relatief weinig moeite een systeem worden opgezet dat het gebruik van elke opgevraagde data set registreert en documenteert. Dit maakt de waarde en betekenis van algemene monitor programma's, zoals MWTL, transparant.

9.6 Beschermde gebieden

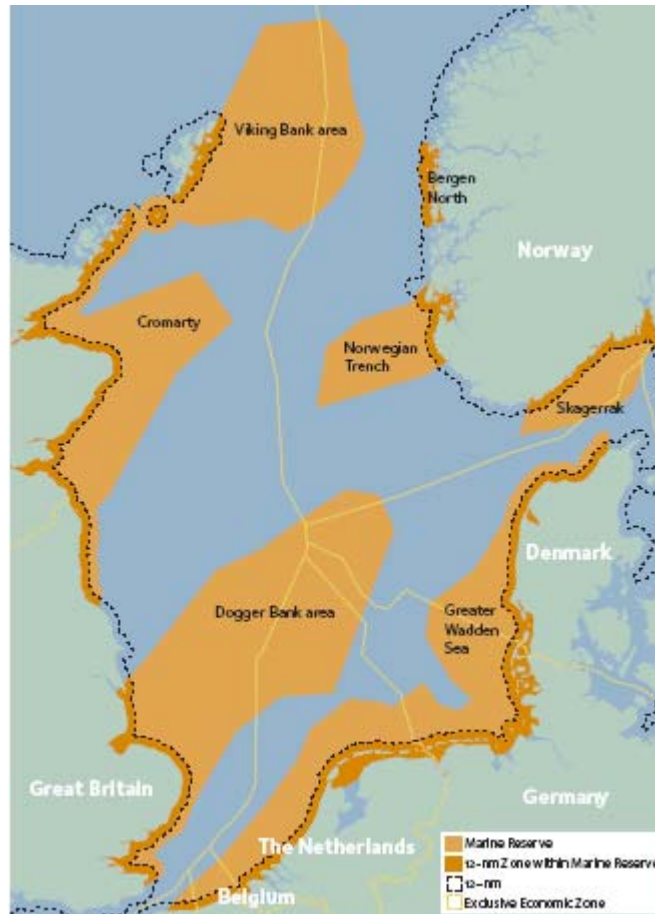
In de Nederlandse Waddenzee zijn grote delen beschermd tegen beïnvloeding door menselijke activiteiten zoals schelpdiervisserij en schelpenwinning. Het oostelijk deel onder Rottumerplaat en Rottumeroog zal geheel vrij zijn van dergelijke invloeden (LNV, 2004). In dit 'referentiegebied' kunnen flora en fauna zich vrij ontwikkelen. Om de effectiviteit van deze maatregel te kunnen evalueren, en tevens referentiewaarden te verkrijgen, onder meer ten dienste van de ecologische kwaliteitsbeoordeling in het kader van de Kaderrichtlijn Water, is een adequate monitoring van dit referentiegebied noodzakelijk.

In het Integraal Beheerplan Noordzee 2015 zijn op het Nederlands Continentaal Plat vier gebieden aangewezen met bijzondere ecologische waarden, namelijk Doggersbank, Klaverbank, Friese Front en een deel van de Kustzee (zie hoofdstuk 3). Hier zullen de natuurwaarden extra bescherming krijgen. In dit Beheerplan wordt naast aan natuur ook ruimte gegeven aan andere functies, zoals scheepvaart, visserij, zandwinning en windturbineparken. Voor een deel worden de ecologische waarden van de vier extra beschermde gebieden ontleend aan kenmerken van de daar voorkomende bodemfauna gemeenschappen.

Is dit een effectieve benadering, kan men zich afvragen. Eerder werden andere deelgebieden van de Noordzee beschermd, speciaal met het oog op het herstel van te sterk geëxploiteerde visbestanden: de "schol box" en de "kabeljauw box". Het resultaat van deze beheersmaatregelen voldeed helaas niet geheel aan de verwachtingen, onder meer door de grote mobiliteit van de desbetreffende visbestanden ook buiten deze beschermde gebieden (VON DORRIEN, 2005). Misschien moet gedacht worden aan veel grotere beschermde gebieden om de natuurlijke processen in de Noordzee effectief bescherming te kunnen bieden (Figuur 9.1).

Figuur 9.1.

Door Greenpeace voorgestelde reservaten in de Noordzee. (Bron: GREENPACE, 2004)



9.7 Literatuur

Bakker, J.F., M. van den Heuvel-Greve & D. Vethaak, 2005 – Xenobiotics. Newly emerging xenobiotics. In: K. Essink e.a., Wadden Sea Quality Status Report 2004, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven: 101-114 en 129-134.

Boveland, R. 2005 - Zoutwaterslakken en zeewaterverontreiniging. Monitoring van transseksueel gedrag langs de kust. Trends in water.nl 16 (augustus 2005): 1.

Dorrien, C. von, 2005 – Meeresschutzgebiete – (k)ein Instrument des Fischereimanagements? Presentatie Meeresumwelt Symposium, 7-8 Juni 2005, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.

Greenpeace, 2004 - Rescuing the North and Baltic Seas: Marine reserves – a key tool. Greenpeace, 40 pp.

Huys, R., 1995 – Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdegebied in de Westerschelde 1935-1989. Rijksuniversiteit Utrecht, Inst. voor Marien en Atmosferisch onderzoek. Rapport R 95-3.

Kröncke, I., B. Zeiss & C. Rensing, 2001 – Long-term variability in macrofauna species composition off the island of Norderney (East Frisia, Germany) in relation to changes in climatic and environmental conditions. Senckenberg. Maritima 31: 65-82.

Lindeboom, H.J. & S.J. de Groot (Eds.), 1998 - IMPACT II. The effects of different types of fisheries on the North Sea and Irish Sea benthic

ecosystems. Neth. Inst. for Sea Research, Texel, NIOZ-Rapport 1998-1 / Neth. Inst. for Fisheries Research, IJmuiden, RIVO-DLO Report C003/98.

LNV, 2004 – Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005-2020. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

Tunberg, B.G. & W.G. Nelson, 1998 – Do climatic oscillations influence cyclical patterns of soft bottom macrobenthic communities on the Swedish west coast? Mar. Ecol. Progr. Ser. 170: 85-94.

Vroon, J., C. Storm & J. Coosen, 1997 – Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het project OOSTWEST, en studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rapport RIKZ-97.023.

Fv



De Dollard bij laag water, gezien vanaf Nieuwe Statenzijl, najaar 1999 (Foto: RIKZ)

Loopbaan Karel Essink

Op 1 december 2004 verliet Karel Essink het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Hij was een van de dertig collega's die besloten gebruik te maken van het hen aangeboden arrangement voor Flexibele Pensionering en Uittreding.

Na zijn studie biologie aan de Rijksuniversiteit te Groningen werd hij in 1968 belast met een onderzoek naar de gevolgen voor de waterkwaliteit en de fauna van de Groninger Wadden van lozing van industrieel afvalwater via een persleiding van Hoogkerk naar de Waddenzee. Dit onderzoek was een opdracht van Rijkswaterstaat aan de Groningse Universiteit en werd uitgevoerd onder supervisie van de hoogleraar-directeur van het Zoölogisch Laboratorium Prof. Dr. G.P. Baerends. In 1978 promoveerde Karel op de resultaten van dit onderzoek.

In 1975 trad Karel in dienst bij het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater en werd tewerkgesteld bij de Laboratoriumafdeling te Sappemeer. Als gevolg van reorganisaties binnen de Rijkswaterstaat werkte hij daarna bij de Dienst Getijdewateren, waarvan de naam later gewijzigd werd in Rijksinstituut voor Kust en Zee. Maar steeds bleef de Waddenzee, inclusief het Eems-Dollard estuarium zijn voornaamste werkterrein.

Aanvankelijk concentreerde het werk zich op vraagstukken van waterkwaliteit, waarbij een zwaartepunt lag in het Eems-Dollard estuarium met industriële lozingen nabij Delfzijl, en de lozing van veenkoloniaal afvalwater en de sanering van die lozingen. Ook werd een biologisch meetnet opgezet dat gebruik maakt van op de droogvallende platen levende bodemfauna. Dat meetnet maakt nog steeds deel uit van MWTL, het landelijk monitor programma van Rijkswaterstaat.

Andere problemen, gekoppeld aan de diverse menselijke activiteiten in de Waddenzee, dienden zich aan een vroegen om onderzoek en advies. Karel leverde hieraan vanuit zijn ecologische expertise vele bijdragen. Het betrof vraagstukken van bestrijding van olie verontreiniging in de Waddenzee, effecten van zandwinning, effecten van baggeren en storten van baggerspecie en effecten van schelpenwinning. Toen een nieuw beleid voor handhaving van de kustlijn werd ingezet waarbij zandsuppleties de voorkeur kregen boven "harde"

kustverdedigingswerken, leidde Karel een Europees project (RIACON) dat de ecologische risico's in kaart bracht van vooroeversuppleties en de daarvoor noodzakelijke zandwinning op zee. Recent onderzocht hij de invloed van mechanische kokkelvisserij op het zeegras in de Waddenzee, een van de bijdragen van het RIKZ aan het Evaluatieonderzoek Schelpdiervisserij (EVA-2) van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

In de periode 1979-1992 nam Karel deel aan Concerted Action "Coastal Benthic Ecology" (COST 647) van de Europese Commissie. Dit programma bracht Europese onderzoekers van benthische kustsystemen bijeen, en ontwikkelde een gezamenlijk aanpak voor lange termijn metingen aan bodemdierpopulaties en de statistische analyses daarvan. Karel was van 1988 tot 1992 coördinator van het "Intertidal Sediment" deelprogramma.

Het internationale werk ontwikkelde zich verder. Karel werd lid van de Benthos Ecology Working Group van de Internationale Raad voor Zeeonderzoek (ICES), en was van 1996 tot 2002 voorzitter van deze werkgroep. In 2004 leidde hij de ICES Study Group on ecological quality objectives for Sensitive and for Opportunistic Benthos Species (SGSOBS). Een van de onderwerpen waaraan in beide ICES groepen werd gewerkt was de ontwikkeling van ecologische kwaliteitsdoelstellingen (EcoQO's) voor de Noordzee in het kader van OSPAR.

Binnen de Waddenzee was Karel al vroeg betrokken bij de trilaterale samenwerking. Hij verzorgde het deel "Pollution" in het standaardwerk Ecology of the Waddensea. Later deed hij mee aan de organisatie van enkele van de Wetenschappelijke Waddenzee Symposia, en maakte hij tot 1996 deel uit van de redactie van de Wadden Sea Newsletter. In 2002 werd hij voorzitter van de Trilateral Monitoring and Assessment Group (TMAG) die onder meer verantwoordelijk is voor het Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP) en het daarmee verbonden data management. Onder zijn leiding kwam het Wadden Sea Quality Status Report 2004 tot stand, waarvan de belangrijkste conclusies en aanbevelingen terug komen in de Verklaring van Schiermonnikoog (3 november 2005), waarin de verantwoordelijke ministers van Denemarken, Duitsland en Nederland de hoofdzaken van het trilaterale beleid voor de komende periode afspreken.



De auteur schrijft (Foto: Rob Jungcurt, RIKZ, Haren)

Appendix 2

.....

Lijst van publicaties door Karel Essink

- 1970 1 **Essink, K.** - Bedreigingen van de Waddenzee. Chemisch Weekblad, 4 sept. 1970: 67-70.
- 1971 2 **Essink, K.** - Biologisch onderzoek rond de persleiding Hoogkerk - Waddenzee. Waddenbulletin 6(1): 10-12; tevens in: H₂O 4: 59-61.
- 3 **Essink, K.** - Vervuiling in de oostelijke Waddenzee onder invloed van de persleiding vanuit Hoogkerk. Meded. Hydrobiol. Ver. 5(1): 17-22.
- 1972 4 **Essink, K.** - De invloed van lozing van organische stof op de fauna van het Groninger Wad. Contactblad voor Oecologen 8: 37-38.
- 5 **Essink, K.** - Biologische aspecten van afvalwaterlozing in het mariene milieu. Landbouwk. Tijdschr. 84: 250-255.
- 1974 6 **Essink, K.** - Biologisch onderzoek rond de afvalwaterpersleiding Hoogkerk - Waddenzee. Meded. v.d. Stichting Groninger Landschap 1(2): 13-16.
- 7 **Essink, K.** - Biological effects of waste discharge in the Wadden Sea. In: Netherlands contribution to the International Biological Programme, Final Report 1966-1971, North-Holland Publ. Co., Amsterdam/London: 80-81.
- 8 **Essink, K.** - The international Working Group on the Wadden Sea. Working paper presented at World Health Organisation Working Group on Ecological Aspects of Water Pollution in specific geographic Areas: study of sublethal effects on marine organisms in the Firth of Clyde, the Oslo Fjord and the Wadden Sea, Wageningen, 2-4 December 1974.
- 1976 9 **Essink, K.** - Een onderzoek naar de gevolgen van lozing van ongezuiverd industrieel afvalwater via de Hoogkerker persleiding op de waterkwaliteit en de fauna van de Groninger Wadden. Rapport Zoölogisch Laboratorium der Rijksuniversiteit Groningen, Haren. pp. 79.
- 1978 10 **Essink, K. & W.J. Wolff (Eds.)** - Pollution of the Wadden Sea area. Balkema, Rotterdam, 61 pp.
- 11 **Essink, K. & W.J. Wolff** - Sources within the Wadden Sea. In: K. Essink & W.J. Wolff (Eds.) - Pollution of the Wadden Sea area. Balkema, Rotterdam: 11-13.
- 12 **Essink, K.** - Inventory of quantities of waste discharged into the Wadden Sea from terrestrial sources. Ibidem: 25-36.
- 13 **Essink, K.** - Sources of thermal pollution. Ibidem: 36-37.
- 14 **Essink, K. & P. de Wolf** - Pollution by organic waste in the Dutch Wadden Sea and the Ems Dollard estuary. Ibidem: 39-45.
- 15 **Essink, K.** - Thermal pollution. Ibidem: 60-61.
- 16 **Essink, K.** - The effects of pollution by organic waste on macrofauna in the eastern Dutch Wadden Sea. Netherl. Inst. for Sea Research, Publ. Ser. No. 1-1978: 1-135 / Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen..
- 1980 17 **Essink, K.** - Mercury pollution in the Ems estuary. Helgol. wiss. Meeresunters. 33: 111-121.
- 1982 18 **Essink, K.** -RIZA regionaal. Het jaar van het Water 1982. Een Groningse terugblik. Aquarius (Personeelsblad RIZA): 10-12.
- 1983 19 **Essink, K.** - Wastes and waste waters in the Wadden Sea. In: M.F. Mörzer Bruyns & W.J. Wolff (Eds.), Nature conservation, nature management and physical planning in the Wadden Sea area. Balkema, Rotterdam: 122-129.
- 1984 20 **Essink, K.** - De Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (Conrad, 1843): een nieuwe soort voor de Waddenzee. Het Zeepaard 44: 68-71.
- 21 **Essink, K.** - The discharge of organic waste into the Wadden Sea - local effects. Netherl. Inst. for Sea Research, Publ. Ser. No. 10-1984: 165-177.

-
- 22 **Michaelis, H., W. Liebig, J.D. Dittmer & K. Essink** - Die Herzmuschel-Populationen der Emsmündung, untersucht im Zusammenhang mit Massen-anspülungen bei Borkum in den Jahren 1980 und 1981. Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz, Norderney. 38 pp.
- 23 **[Essink, K.]** – Milieumetingen water 2. Bemonsteren van bodemdieren. Koninklijke PBNA, Vak 51.64, Les 03.0 en 04.0.
- 1985 24 **Essink, K., H.L. Kleef, W. Visser & P. Tydeman** - Population dynamics of the ragworm *Nereis diversicolor* in the Dollard (Ems estuary) under changing conditions of stress by organic pollution. In: J.S. Gray & M.E. Christiansen (Eds.), *Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organisms*. J. Wiley & Sons Ltd: 585-600.
- 25 **Essink, K., H.L. Kleef & P. Tydeman** - Nieuwe vondsten van de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (Conrad, 1843) in de westelijke Waddenzee. Het Zeepaard 45: 106-108.
- 26 **Essink, K. & A.H. Bos** - Growth of three bivalve molluscs transplanted along the axis of the Ems estuary. *Neth. J. Sea Res.* 19: 45-51.
- 27 **Essink, K.** - On the occurrence of the American Jack-knife clam *Ensis directus* (Conrad, 1843) (Bivalvia, Cultellidae) in the Dutch Wadden Sea. *Basteria* 49: 73-80.
- 28 **Essink, K.** - Monitoring of mercury pollution in Dutch coastal waters by means of the teleostean fish *Zoarces viviparus*. *Neth. J. Sea Res.* 19: 177-182.
- 1986 29 **Beukema, J.J. & K. Essink** - Common patterns in the fluctuations of macrozoobenthos species living at different places on the tidal flats in the Wadden Sea. *Hydrobiologia* 142: 199-207.
- 30 **Essink, K. & J.J. Beukema** - Long-term changes in tidal flat macrozoobenthos as an indicator of stress by organic pollution. *Hydrobiologia* 142: 209-215.
- 31 **Essink, K.** - Note on the distribution of the American Jack-knife clam *Ensis directus* (Conrad, 1843) in N.W. Europe (Bivalvia, Cultellidae). *Basteria* 50: 33-34.
- 32 **Essink, K.** - De Amerikaanse Zwaardschede, *Ensis directus*, in N.W. Europa: van Zandvoort tot Kattegat. Het Zeepaard 46: 106-108.
- 1987 33 **Essink, K.** - Twee nieuwe diersoorten in het Waddengebied. Het Waddenbulletin 22: 70-71.
- 34 **Essink, K.** - Een nieuwe wormsoort voor Nederland: *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873). Het Zeepaard 47: 80-83.
- 1988 35 **Essink, K. & H.L. Kleef** - *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873) (Polychaeta: Spionidae): a new record from the Ems Estuary (The Netherlands/Federal Republic of Germany). *Zoologische Bijdragen (Leiden)* 38: 1-13 pp.
- 36 **Essink, K., P. Tydeman, F. de Koning & H.L. Kleef** - On the adaptation of the mussel *Mytilus edulis* L. to different environmental suspended matter concentrations. *Proceed. 21st Europ. Mar. Biol. Symp., Gdansk, Sept. 15-19, 1986. Polish Academy of Sciences, Institute of Oceanology: 41-51.*
- 37 **Essink, K., E. Jagtman & R. Ritsema** - Usefulness of sediment and three benthic invertebrates as indicator of organochlorine pollution in an estuarine environment. *Proceed. 21st Europ. Mar. Biol. Symp., Gdansk, Sept. 15-19, 1986. Polish Academy of Sciences, Institute of Oceanology: 241-253.*
- 38 **Beukema, J.J., J. Dörjes & K. Essink** - Latitudinal differences in survival during a severe winter in macrozoobenthic species sensitive to low temperatures. *Senckenbergiana marit.* 20: 19-30.
- 39 **Essink, K. & W. Visser** - *Ensis directus* [Syn. *E. americanus* (Binney)] in de "landaanwinningswerken" in de Waddenzee. Het Zeepaard 48: 99-101.
- 40 **Essink, K.** - Decreasing mercury pollution in the Dutch Wadden Sea and Ems Estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 19: 317-319.
- 1989 41 **Essink, K., H.L. Kleef & W. Visser** - On the pelagic occurrence and dispersal of the benthic amphipod *Corophium volutator*. *J. mar. biol. Assoc. U.K.* 69: 11-15.
- 42 **Esselink, P., J. van Belkum & K. Essink** - The effect of organic pollution on local distribution of *Nereis diversicolor* and *Corophium volutator*. *Neth. J. Sea Res.* 23: 323-332.
- 43 **Essink, K.** - Chemical monitoring in the Dutch Wadden Sea by means of benthic
-

-
- invertebrates and fish. Helgol. Meeresunters. 43: 435-446.
- 1990 44 **Essink, K.** - *Marenzelleria viridis* (Polychaeta: Spionidae) in west Europa; stand van zaken 1989. Het Zeepaard 50: 53-56.
- 45 **Essink, K.** - The COST 647 Project "Coastal Benthic Ecology". Wadden Sea Newsletter No. 3/4-1990: 16-18.
- 46 **Jepsen, P.U., B. Scherer, H. Farke & K. Essink** – Joint research overview. Wadden Sea Newsletter, Special issue 1990, 198 pp.
- 1991 47 **Essink, K., J.J. Beukema, J. Coosen, J.A. Craeymeersch, J.P. Ducrotoy, H. Michaelis & B. Robineau** - Population dynamics of the bivalve mollusc *Scrobicularia plana*: comparisons in time and space. In: Elliott, M. & J.-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons. Proceed. ECSA 19 Symposium, pp. 167-172. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.
- 48 **Jonge, V.N. de & K. Essink** - Long-term changes in nutrient loads and primary and secondary producers in the Dutch Wadden Sea. In: Elliott, M. & J.-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons. Proc. ECSA 19 Symposium, pp. 307-316. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.
- 49 **Ducrotoy, J.P., H. Rybarczyk, J. Souprayen, G. Bachelet, J.J. Beukema, M. Desprez, J. Dörjes, K. Essink, J. Guillou, H. Michaelis, B. Sylvand, B. Elkaim, J.G. Wilson & F. Ibanez** - A comparison of the population dynamics of the cockle (*Cerastoderma edule*) in North-Western Europe. In: Elliott, M. & J.-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons. Proceed. ECSA 19 Symposium, pp. 173-184. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.
- 50 **Desprez, M., G. Bachelet, J.J. Beukema, J.P. Ducrotoy, K. Essink, J. Marchand, B. Robineau & J.G. Wilson.** - Dynamique des populations de *Macoma balthica* (L) dans les estuaires de Nord-Ouest de l'Europe: Première synthèse. In: Elliott, M. & J.-P. Ducrotoy (Eds.), Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons. Proceed. ECSA 19 Symposium, pp. 159-166. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.
- 51 **Souprayen, J., K. Essink, F. Ibanez, J.J. Beukema, H. Michaelis, J.P. Ducrotoy, M. Desprez & D.S. Mc Lusky** - Numerical analysis of long-term trends of west-European intertidal sedimentary macrozoobenthos communities. In: B.F. Keegan (Ed.), Space and Time Series Data Analysis in Coastal Benthic Ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology, pp. 65-236. Commission of the European Communities.
- 52 **Essink, K. & J.J. Beukema** - Long-term changes in intertidal and shallow-subtidal sedimentary zoobenthos. Review of work carried out with-in the framework of COST 647. In: B.F. Keegan (Ed.), Space and Time Series Data in Coastal Benthic Ecology. An analytical exercise organised within the framework of the COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 43-64.
- 53 **Essink, K.** - Modelling the benthos - How to deal with some problems? In: B.F. Keegan (Ed.), COST 647 Coastal benthic Ecology. Activity Report 1988 – 1991. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 63-68.
- 54 **Essink, K. (Ed.)** - COST 647 "Coastal benthic ecology". Report of the Workshop Intertidal Sediment Programme, Haren (The Netherlands), August 30-31, 1990. In: B.F. Keegan (Ed.), COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991, Commission of the European Communities, Dir.-Gen. XII for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 217-308.
- 55 **Essink, K.** - COST 647 related benthic studies by Rijkswaterstaat in the Dutch Wadden Sea - Progress Report 1988-1990. In: B.F. Keegan (Ed.), COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. XII for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 244-247.
- 56 **Essink, K. & H.L. Kleef** - Comparison of sampling strategies for trend monitoring of intertidal sedimentary macrozoobenthos. In: B.F. Keegan (Ed.), COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991 Commission of the European Communities,
-

-
- Dir.-Gen. XII for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 287-294.
- 57 **Essink, K. & P. Tydeman** - Sampling accuracy. In: B.F. Keegan (Ed.), COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. XII for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 295-297.
- 58 **Jonge, V.N. de & K. Essink** - Extension of the core programme to phytobenthos? In: B.F. Keegan (Ed.). COST 647 Coastal Benthic Ecology, Activity Report 1988-1991. Commission of the European Communities, Dir.-Gen. XII for Science, Research and Development, Brussels. Report EUR 13984 EN: 299-306.
- 1992 59 **Essink, K.** - Multifunctional use of the Wadden Sea aiming for high natural value. In: N. Dankers, C.J. Smit & M. Scholl (Eds.), Proceedings of the 7th International Wadden Sea Symposium. Ameland, The Netherlands, 22-26 October 1990. Neth. Inst. Sea Res., Publ. Ser. No. 20: 35-43.
- 60 **Essink, K., F.H.I.M. Steyaert, H.P.J. Mulder, V.N. de Jonge, T. Van Heuvel & J. Van Den Bergs** - Effects of dredging activities in the Ems Estuary and Dutch Wadden Sea. In: N. Dankers, C.J. Smit & M. Scholl (Eds.), Proceedings of the 7th International Wadden Sea Symposium. Ameland, The Netherlands, 22-26 October 1990. Neth. Inst. Sea Res., Publ. Ser. No. 20: 243-246.
- 61 **Jonge, V.N. de, & K. Essink** - The Ems estuary: water circulation, sediment dynamics and nutrient enrichment. In: P.J.M. Herman (Ed.), Report of MAST/JEEP-92 Workshop, Plymouth, Jan.29-Feb.1, 1992.
- 62 **Essink, K.** - Restrictions for cockle and mussel fishery in the Dutch Wadden Sea. Wadden Sea Newsletter 1992-2: 18-19.
- 1993 63 **Luczak, C., J.-M. Dewarumez & K. Essink** - First record of the American jack-knife clam *Ensis directus* on the French coast of the North Sea. J. mar. biol. Assoc. UK 73: 233-235.
- 64 **Essink, K. & J.G. Bosch** - On the conservation of the island Griend in the Dutch Wadden Sea. Wadden Sea Newsletter 1993-1: 5-7.
- 65 **Jonge, V.N. de, K. Essink & R. Boddeke** - The Wadden Sea - a changed ecosystem. In: E.P.H. Best & J.P. Bakker (Eds.), Netherlands-Wetland. Hydrobiologia 265: 45-71, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- 66 **Essink, K. & H.L. Kleef** - Distribution and lifecycle of the North American polychaete *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873) in the Ems Estuary. In: Proceed. ECSA-21 Symp., 9-13 Sept. 1991, Gent, Belgium, Neth. J. Aquat. Ecol. 27: 237-246.
- 67 **Beukema, J.J., K. Essink, H. Michaelis & L. Zwarts** - Year-to-year variability in macrobenthic biomass on tidal flats of the Wadden Sea: how reliable is this food source for wader birds? Neth. J. Sea Res. 31: 319-330.
- 68 **Essink, K.** - Effecten op de bodemfauna. Baggerspecie storten in de Eems. Waddenbulletin 28(4): 234-236.
- 1994 69 **Essink, K.** - Foreign species in the Wadden Sea. Do they cause problems? Wadden Sea Newsletter 1994-No. 1: 9-11.
- 70 **Essink, K. & K. Romeyn** - Estuarine nematodes as indicators of organic pollution; an example from the Ems estuary (The Netherlands). Neth. J. Aquat. Ecol. 28: 213-219.
- 71 **Essink, K. & V.N. de Jonge (Eds.)** - Particles in estuaries and coastal waters, Proceedings ECSA-23 Symposium, Aug. 30 - Sept. 3, 1993, Haren, The Netherlands. Neth. J. Aquat. Ecol. 28: 233-478.
- 1995 72 **Essink, K.** - Ecological effects of dredging and dumping of dredge spoil. Wadden Sea Newsletter 1995-No. 1: 9-12.
- 73 Louters, T. & F. Gerritsen. Het mysterie van de Wadden. Hoe een getijdesysteem inspeelt op zeespiegelstijging. Rijkswaterstaat/RIKZ, Den Haag..(met tekstbijdragen van **K. Essink** e.a.)
- 74 **Essink, K.** - Risk assessment of coastal nourishment techniques. In: M. Weydert et al. (Eds.), Marine Sciences and Technologies: Second MAST days and EUROMAR Market, 7-10 November 1995, Sorrento, Italy. Commission of the European Communities, Luxemburg: 780-788.
- 1996 75 **Essink, K.** - Risk assessment of coastal nourishment techniques - RIACON. Wadden Sea
-

-
- Newsletter 1996-1: 10-13.
- 76 **Essink, K.** – Die Auswirkungen von Baggergutablagerungen auf das Makrozoobenthos: Eine Übersicht der Niederländischen Untersuchungen. In: Leuchs, H. , A. Anlauf & S. Nehring (Red.), Baggern und Verklappen im Küstenbereich. Auswirkungen auf das Makrozoobenthos. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz/Berlin, Mitteilung Nr. 11: 12-17.
- 77 **Beukema, J.J., K. Essink & H. Michaelis** - The geographic scale of synchronised fluctuation patterns in zoobenthos populations as a key to underlying factors. ICES Journal of marine Science 53: 964-971.
- 78 **Essink, K. & K. Annema** – Keep the Wadden Sea clean. Wadden Sea Newsletter 1996-3: 27-28.
- 1997 79 **Essink, K. & U. Schöttler (Eds.)** – Studies on *Marenzelleria* spp. (Polychaeta: Spionidae). Aquatic Ecology 31: 117-258.
- 80 **Dalfsen, J.A. van & K. Essink** - Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands. Part A. The ecological effects of shoreface nourishment off the island of Terschelling, Part B. The ecological effects of subaqueous sand extraction North of the island of Terschelling, Part C. Literature references. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Report Nr. RIKZ-97.022.
- 81 **Essink, K.** - Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON). Final evaluation report. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Report Nr. RIKZ-97.031.
- 81 **Essink, K. & J.A. van Dalfsen** - Vooroeversuppleties, ecologische risico's. Zoutkrant 11(4): 2.
- 82 **Essink, K.** – Ökologische Folgen von Baggern und Verklappen von Baggergut im Ems-Dollart-Ästuar. Schlussbericht des Projektes BAGHWAD*3. Wasser- und Schifffahrtsamts Emden. (Übersetzung: Dipl.-Geogr. D.O. Steen)
- 1998 83 **Essink, K., J. Eppinga & R. Dekker** - Long-term changes (1977-1994) in intertidal macrozoobenthos of the Dollard (Ems Estuary) and effects of introduction of the North American spionid polychaete *Marenzelleria* cf. *wireni*. Senckenbergiana maritima 28: 211-225.
- 84 **Essink, K., J.J. Beukema, P.B. Madsen, H. Michaelis & G. Vedel** - Long-term development of biomass of intertidal macrozoobenthos in different parts of the Wadden Sea. Governed by nutrient loads? Senckenbergiana maritima 29: 25-35.
- 85 **Essink, K. & J.A. van Dalfsen** – The RIACON project. Wadden Sea Newsletter 1998-1: 13-15
- 86 **Ysebaert, T., P. Meire, J. Coosen & K. Essink** - Zonation of intertidal macrobenthos in the estuaries of Schelde and Ems. Aquatic Ecology 32: 53-71.
- 87 **Essink, K. & H. Keidel** – Changes in estuarine nematode communities following a decrease of organic pollution. Aquatic Ecology 32: 195-202.
- 1999 88 **Essink, K.** - Dispersal and development of *Marenzelleria* spp. (Polychaeta, Spionidae) populations in NW Europe and The Netherlands. Helgoländer Meeresunters. 52: 367-372.
- 89 **Blomqvist, E.M., E. Bonsdorff & K. Essink (Eds.)** - Biological, physical and geochemical features of enclosed and semi-enclosed marine systems. Proceedings of the joint BMB 15 (Baltic Marine Biologists) and ECSA 27 (The Estuarine and Coastal Sciences Association) symposium, 9-13 June 1997, Åland Islands, Finland. Developments in Hydrobiology 135. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht [etc.], 280 pp.
- 90 **Essink, K.** - Ecological effects of dumping of dredged sediments: options for management. Journal of Coastal Conservation 5: 69-79.
- 91 **Essink, K.** – Macrozoobenthos. In: F. de Jong et al., 1999 Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven: 137-140.
- 92 **Essink, K., J. van Dalfsen & D. Rakhorst** – Tijdelijke zandwin/overslagput in de kustzone nauwelijks nadelig voor de bodemfauna. Zoutkrant sept. 1999: 10.
- 93 **Dalfsen, J.A. van & K. Essink** – RIACON: Risk analysis of coastal nourishment techniques in the Netherlands. Senckenbergiana marit. 29: 51-53.
-

-
- 2000 94 **Dalfsen, J.A. van, K. Essink, H. Toxvig Madsen, J. Birklund, J. Romero & M. Manzanera** - Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1439-1445.
- 95 **Beukema, J.J., K. Essink & R. Dekker** - Long-term observations on the dynamics of three species of polychaetes living on tidal flat of the Wadden sea: the role of weather and predator-prey interactions. *Journal of Animal Ecology* 69: 31-44.
- 96 **Essink, K. & R. Dekker** - Invasion ecology of *Marenzelleria* cf. *wireni* (Polychaeta; Spionidae) in the Dutch Wadden Sea. *International Council for the Exploration of the Sea, Annual Science Conference 2001*. ICES CM 2000/U:04.
- 97 **Essink, K.** - Japanse oester: verrijking of plaag. In: *Jaarboek Monitoring Rijkswateren, Kroniek 1999*. Rijkswaterstaat, Den Haag en Lelystad: 47.
- 2001 98 **Piersma, T., A. Koolhaas, A. Dekinga, J.J. Beukema, R. Dekker & K. Essink** - Long-term indirect effects of mechanical cockle-dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. *J. Appl. Ecol.* 38: 976-990.
- 99 **Beukema, J.J., R. Dekker, K. Essink & H. Michaelis** - Synchronized reproductive success of the main bivalve species in the Wadden Sea: causes and consequences. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 211: 143-153.
- 100 **Dalfsen, J.A. van & K. Essink** - Benthic community response to sand dredging and shoreface nourishment in Dutch coastal waters. *Senckenbergiana marit.* 31: 329-332.
- 2002 101 **Rees, H., S. Cochrane, J. Craeymeersch, M. de Kluijver, S. Degraer, N. Desroy, J.M. Dewarumez, G. Duineveld, K. Essink, H. Hillewaert, R. Kilbride, I. Kröncke, P. Nehmer, E. Rachor, H. Reiss, M. Robertson, H. Rumohr, E. Vanden Berghe & G. Van Hoey** - The North Sea benthos project: planning, management and objectives. *International Council for the Exploration of the Sea, Annual Science Conference 2002*. ICES CM 2002/L:09.
- 102 **Vlas, J. de & K. Essink** - Monitoren van de Waddenzee, een kwestie van samenwerken. *Trends in water.nl*, Nr. 8 (december 2002): 11.
- 2003 103 **Strasser, M., R. Dekker, K. Essink, C.-P. Günther, S. Jaklin, I. Kröncke, P. Brinch Madsen, H. Michaelis & G. Vedel** - How predictable is high bivalve recruitment in the Wadden Sea after a severe winter? *J. Sea Res.* 49: 47-57.
- 104 **Essink, K.** - Response of an estuarine ecosystem to reduced organic waste discharge. *Aquat. Ecol.* 37: 65-76.
- 105 **Essink, K. & R. Dekker** - General patterns in invasion ecology tested in the Dutch Wadden Sea: The case of a brackish-marine polychaetous worm. *Biological Invasions* 4: 359-368.
- 2004 106 **Vreeken, M. & K. Essink** - International cooperation in monitoring the Wadden Sea. In: *Information to support sustainable water management: from local to global levels, Proceed. Monitoring Tailor-Made IV Conference, Sint Michielsgestel (The Netherlands), 15-18 september 2003*. Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad: 225-231.
- 2005 107 **Essink, K., C. Dettmann, H. Farke, K. Laursen, G. Lüerssen, H. Marencic & W. Wiersinga** (Eds.) - Wadden Sea Quality Status Report 2004. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. 359 pp.
- 108 **Marencic, H., K. Essink, A. Kellermann & K. Eskildsen** - Introduction. In: *Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004*. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 11-25.
- 109 **Essink, K. & H. Marencic** - Extraction of sand and shells. In: *Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004*. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 69-70.
- 110 **Reise, K., N. Dankers & K. Essink** - Introduced species. In: *Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004*. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 155-161.
- 111 **Essink, K.** - Hydrology/geomorphology. In: *Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004*. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 182-183.
- 112 **Essink, K.** - Macrozoobenthos. In: *Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004*. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 184-189.
-

-
- 113 **Essink, K., H. Büttner, J. Frikke, H. Leuchs, H. Marencic, P. Walker & M.A. Wetzel** - Estuaries. In: Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 259-263.
- 114 **Laursen, K. & K. Essink** - Offshore area. In: Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 265-271.
- 115 **Reise, K., K. Essink & K. Laursen** - Synthesis of ecosystem developments. In: Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 319-323.
- 116 **Essink, K., C. Dettmann, H. Farke, K. Laursen, G. Lüerssen, H. Marencic & W. Wiersinga** - Target assessment and recommendations. In: Essink et al. (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany: 325-352.
- 117 **Essink, K.** – TMAP and QSR 2004 supporting conservation and management of the Wadden Sea. In: Proceed. 11th Scientific Wadden Sea Symposium, Esbjerg, 4-8 April 2005. (in prep.)
- 118 **Essink, K., S. Damm, R. Dekker, H.L. Kleef, P.B. Madsen & N. Ullerup** –Long-term changes in intertidal macrozoobenthos: the wax of polychaetes and wane of bivalves? long-term development. In: Proceed. 11th Scientific Wadden Sea Symposium, Esbjerg, 4-8 April 2005. (in prep.)
- 119 **Drent, J., J. Beukema, R. Dekker, A. Dekinga, K. Essink, J. van Gils, C. Kraan & T. Piersma** – Dramatic decline of *Macoma balthica* in the Wadden Sea. In: Proceed. 11th Scientific Wadden Sea Symposium, Esbjerg, 4-8 April 2005. (in prep.)
- 120 **Dekker, R. & K. Essink** - On the development and competitive power of the North American spionid polychaete *Marenzelleria* cf. *wireni* in the Dutch Wadden Sea (in prep.)



Met collega's op het wad onder Rottumeroog, 9 september 2004. (Foto: RIKZ, Haren).
V.l.n.r. staand: Harry Peletier (†), Karel Essink, Joop Bakker, Saskia Mulder, Bregje (stagiair), Peter Tydeman, Hans Kleef, Gerard Janssen; gehurkt: Eric Quené en Jaap de Vlas.

Appendix 3

.....

Rapporten etc. over bodemfauna door Karel Essink, medewerkers en stagiairs(*)

Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA), Afd. Marien-Estuariën Veldonderzoek, Sappemeer en Groningen	
1976	K. Essink – De bodemfauna van de getijdzone langs de Bocht van Watum in januari 1976. H.L. Kleef & K. Essink – Oriënterende bemonstering van bodemfauna in de Wadden zee en Eems-Dollard in 1976. K. Essink – Het gebruik van biologische parameters voor het meten van de invloed van de koelwaterlozing van de Eemscentrale – Nulfase. K. Essink – <i>Polydora</i> infectie bij de mossel.
1977	K. Essink – Bestrijding olieverontreiniging in de Waddenzee. K. Essink – Oriënterend onderzoek <i>Hydrobia ulvae</i> (wadslakje). K. Essink – De bodemfauna van de Bocht van Watum c.a. K. Essink – “Red Tide” en Kokkelsterfte in de Waddenzee in 1976. H.L. Kleef – Oriënterende bemonstering van bodemfauna op de Piet Scheve Plaat in april 1977. H.W. Drenth & K. Essink – Enkele aspecten m.b.t. het storten van baggerspecie uit de zeehaven en het zeehavenkanaal te Delfzijl. H.L. Kleef – Nereis-bemonstering in de Dollard op 15-12-1976. K. Essink – De invloed van de verlegging van de rivier de Eems op het ecosysteem van de Dollard.
1978	K. Essink – Wat is het effect van het weer in circulatie brengen van in de haven van Delfzijl bezonken slib op het ecosysteem van de Eems-Dollard? – Rapport MV 7803 K. Essink – Resultaten van onderzoek van fauna in bodemmonsters uit de Zoutkamperlaag i.v.m. klachten van garnalenvissers – Rapport MV 7806
1979	K. Essink & H.L. Kleef – Over de verspreiding, populatieopbouw, voortplanting en groei van de worm <i>Nereis diversicolor</i> in de Zuid-oostelijke Dollard. I. – Rapport BIM-79.01 K. Essink – Thermoshock-proef Eemscentrale 31-7-1979. Deel II: Effect van het geloosde koelwater. – Rapport BIM-79.02 M. ten Holder* – Schelpgroei <i>Mya arenaria</i> (juni 1979; zonder nr.)
1980	K. Essink & H.L. Kleef – Voortplanting en groei van het wadslakje <i>Hydrobia ulvae</i> in Waddenzee en Eems-Dollard estuarium – Rapport BI-MV 80.03 H.L. Kleef & K. Essink – Groei van <i>Hydrobia ulvae</i> in het laboratorium – Rapport BI-MV 80-04 J.A.W. de Wit & K. Essink – Over de gevolgen van het lossen op stroom van baggerspecie uit de haven van delfzijl voor het ecosysteem van het Eems Dollard estuarium - Rapport BI-MV 80.05 K. Essink – De invloed van de afsluiting van de havenmond Delfzijl op het voorkomen van het wadslakje (<i>Hydrobia ulvae</i>) in de Bocht van Watum – Rapport BI-MV 80-07 A. Bos* – De invloed van de kwaliteit van het water in het Eems-Dollard estuarium op de groei en de conditie van enkele filter-feeders – Rapport BI-MV 80-08 S.H. Haverkamp* – Een onderzoek naar de gevolgen van de afsluiting van de Lauwerszee in 1968/69 op de bodemfauna van de Zoutkamperlaag in 1981 – Rapport BI-MV 80.10

-
- J.H. Rosing*** - Een onderzoek naar de opbouw van twee *Scrobicularia* populaties in de Waddenzee. (mei 1980; zonder nr.)
- 1981** **J. Albada*** - Onderzoek naar een moeilijke seizoensmigratie m.b.v. de getijstromingen van *Corophium volutator* – Rapport BI-MV 81.01
- J. Vogelaar*** - De bodemfauna van de Bocht van Watum; vergelijking van een periode van sedimentatie en een periode van erosie – Rapport BI-MV 81.02
- H.L. Kleef, P. Tydeman & K. Essink** - De bodemfauna van de haven van delfzijl en van de Eemshaven – Rapport BI-MV 81-05
- P. Tydeman & H.L. Kleef** - Kwalitatieve bodemfaunabemonstering in de Westerschelde ter hoogte van het Verdrongen Land van Saeftinge – Rapport BI-MV 81.07
- 1982** **G.J. Zigterman*** - De bodemfauna van de Ballastplaat en de Piet Scheve Plaat (Waddenzee): dichtheid, biomassa en soortenrijkdom in de periode 1977-1981 – Rapport BI-MV 82.01
- H.L. Kleef, P. Tydeman & K. Essink** - Over de invloed van het al dan niet losprepareren van het vlees op de nauwkeurigheid van het biomassagetel bij tweekleppige schelpdieren – Rapport BI-MV 82.02
- H.L. Kleef & K. Essink** - Onderzoek naar redistributie van *Macoma balthica* broed in het voorjaar in de Bocht van Watum – Rapport BI-MV 82.03
- J.P. Zijlstra*** - Onderzoek naar het verband tussen het voorkomen van *Corophium volutator* op de Heringsplaat en in het Grote Gat – Rapport BI-MV 82.04
- H.L. Kleef** - Over de oorzaak van het ontbreken van bodemfauna in het sediment in de Eemshaven – Rapport BI-MV 82.06
- 1983** **P. Tydeman & H.L. Kleef** - Oriënterend onderzoek naar de bodemfauna in de spuikom van de haven van West-Terschelling – Rapport BI-MV 83.01
- M.P. de Lange*** - Onderzoek naar migratie van *Corophium volutator* in de Dollard op 16-9-1982. – Rapport BI-MV 83.02
- H.L. Kleef** - Een eenvoudige en tijdbesparende methode voor het kwantitatief verzamelen van het slijkgarnaaltje *Corophium volutator* (Crustacea, Amphipoda) uit planktonmonsters die veel detritus bevatten – Rapport BI-MV 83.03
- J. Oosterhaven* & C.J. de Vries*** - Vergelijking van de schelpgroei en vleesgroei van het nonnetje (*Macoma balthica*) op enkele lokaties in het Waddengebied – Rapport BI-MV 83.05
- H.L. Kleef & P. Tydeman** - Organische microverontreinigingen in organismen en sediment in het Eems-Dollard estuarium. Deelrapport over de werkzaamheden in de zomer van 1983 – Rapport BI-MV 83.07
- Essink, K., R. Reenders, J.H. de Reus & J.A.W. de Wit** - Problematiek van het slibstorten in de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium. RIZA-Lelystad, Nota 83.072.
- 1984** **H.L. Kleef** - Over het ontstaan en weer verdwijnen van zuurstofstratificatie in de Eemshaven in 1983 – Rapport BI-MV 84.01
- K. Essink** - De Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (Conrad, 1843): een nieuwe soort voor de Waddenzee – Rapport BI-MV 84.02
- F. de Koning*** - Onderzoek naar de variatie in grootte van kieuwen en mondpalpen van de mossel (*Mytilus edulis*) als aanpassing aan de variatie in zwevend stof gehalte in de Waddenzee – Rapport BI-MV 84.05
- C. Meijles*** - Onderzoek naar het effect van de lozing van ongezuiverd afvalwater van Vlieland en Schiermonnikoog op het bentische systeem van de Waddenzee met behulp van meiofauna – Rapport BI-MV-84.06
- P. Tydeman & H.L. Kleef** - Organische microverontreinigingen in organismen en sediment in het Eems-Dollard estuarium. Tweede deelrapportage – Rapport BI-MV 84.07
- H. Wolf*** - Onderzoek naar het effect van de lozing van ongezuiverd afvalwater van Vlieland en Schiermonnikoog op het bentische systeem van de Waddenzee met behulp van meiofauna als indicator – Rapport BI-MV-84.08
- K. Essink & H.W. Drenth** - Werkzaamheden voortkomend uit het
-

- 1985 samenwerkingsverdrag Eems-Dollard – Notitie d.d. 20-11-1984
- K. Essink, H.L. Kleef & P. Tydeman** – Nieuwe vondsten van de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (Conrad, 1843) in de westelijke Waddenzee – Rapport BI-MV 8501
- K. Essink** – Effect van zuurstofstratificatie op het ecosysteem in het Oostvoornse Meer. Probleemverkenning aan de hand van beschikbare gegevens – Rapport BI-MV 8502
- K. Essink & A.J. van den Wijngaard*** – Het zwevend stof gehalte in het Eems-Dollard estuarium en de oostelijke Waddenzee. Problemen bij de interpretatie van gegevens uit het “Waterkwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren” Rapport BI-MV 8503
- K. Essink, W. Visser & H.L. Kleef** – Een onderzoek naar de betekenis van het pelagisch voorkomen van het slijkgarnaaltje *Corophium volutator* in de Dollard – Rapport BI-MV 8505
- S. Havinga*** - Oriënterend onderzoek van het greppelbiotoop van een kweldervak in Noord-Groningen in verband met een mogelijke kinderkamerfunctie van de greppels – Rapport BI-MV 8606

Dienst Getijdewateren (DGW)

Afd. Algemeen Onderzoek Biologie, Groningen en Haren

- 1986 **K. Essink** – De opmars van de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* – Rapport AOB-86.151
- H.L. Kleef** – De invloed van IJsselmeerspui op de groei van *Macoma balthica* en *Hydrobia ulvae* in de westelijke Waddenzee – Rapport AOB-86.152
- K. Essink** – Summary report of Dutch investigations on the effects of sand and shell extraction in the Waddensea – Rapport GWA-86.153
- H.L. Kleef** – Morfologische en sedimentologische veranderingen in de Bocht van Watum (1977-1985) – Rapport GWA-86.154
- P. Esselink & J. van Belkum** – De verspreiding van de Zeeduizendpoot *Nereis diversicolor* en de Kluut *Recurvirostra avosetta* in de Dollard in relatie tot een verminderde afvalwaterlozing – Rapport GWA-86.155
- K. Essink & H.L. Kleef** – Bezinkvelden in de Waddenzee. Een kinderkamer voor macroscopische fauna? – Rapport GWA-86.158
- K. Essink & H.L. Kleef** – *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873), een nieuwe worm voor Nederland – Rapport GWA-86.159
- V.N. de Jonge** – Experiments on effects of algae and invertebrates on the stability of the benthic boundary layer – Rapport GWA-86.162
- K. Essink & H.L. Kleef** – Establishment of the spionid worm *Marenzelleria* in the Ems estuary (The Netherlands/Fed. Rep. of Germany) – Rapport GWA-86.163
- G. van Beek* & W. van Egteren*** - Over de kinderkamerfunctie van kweldergreppels in de Waddenzee – Rapport AOB-86.953
- K. Essink, H.L. Kleef & J. Coosen** – Verslag COST-647 workshop “Intertidal soft sediments”, St. Valery-sur-Somme (Frankrijk), 7-10 december 1986 – Rapport GWA/WS - 86.954
- 1987 **K. Essink & H.L. Kleef** – Rose garnalen in het Eems-Dollard estuarium in 1986 - Rapport GWA-87.152.
- F. Groenveld*** - Enkele metingen aan palpen en kieuwen van *Macoma balthica* uit zandige en slikkige sedimenten. Rapport GWA-87.154.
- K. Essink, W. Visser & D. Begeman** – Inventarisatie van de makroscopische bodemfauna van de Dollard, juni-juli 1985 - Rapport GWA-87.155.
- K. Essink & R.J. Akkerman** – Samenwerkingsverdrag Eems/Dollard. Implicaties voor DGW. Notitie GWA/WS-87.228
- 1988 **K. Essink** – Recent introductions of North American marine invertebrates in the North Sea and Baltic Sea. Notitie GWA-88.2240.
- K. Essink & K. Romeyn** – De nematode *Eudiplogaster pararmatus* als indicator voor belasting met organische stof in het estuariene milieu. Notitie GWA-88.2244.

-
- 1989** **K. Essink** (Eindredactie) – Het ondiepe sublitoraal van de westelijke Waddenzee. Onderzoek naar de bodemsamenstelling en naar het voorkomen en functioneren van bodemfauna en vissen (1981 – 1985). Rapport van een gezamenlijk onderzoek van Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Rijksinstituut voor Visserijonderzoek, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Rijkswaterstaat Adviesdienst Hoorn. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Haren, 35 pp. (zonder nr.)
- K. Essink** – Chemical monitoring in the Dutch Wadden Sea by means of benthic invertebrates and fish. Nota GWAO-89.2003.
- H.L. Kleef** – Het macrozoobenthos van de Oude Westereems, 1989. Een kwalitatieve inventarisatie op en nabij een voorgenomen slibstortlocatie. (mei 1989; zonder nr.)
- P. Tydeman** – Bemonstering *Macoma balthica* in het zeehavenkanaal te Delfzijl (juni 1989) ten behoeve van histologisch onderzoek. Notitie GWAO-89.2215.
- 1990** **J. Eppinga & K. Essink** – Veranderingen in de bodemfauna van de getijdezone langs de Bocht van Watum (Eems-estuarium) in de periode 1981-1986. Rapport GWAO-90.060
- S.E. Brett* & A. Wassenaar*** – Relationship between suspended particulate matter concentration and gill and palp sizes in *Mytilus edulis*. Notitie GWAO-90.12017.
- A. Wassenaar* & S.E. Brett*** – Interspecifieke variatie van de afmetingen van palpen en kieuwen van enkele Eulamellibranchia, in relatie tot voedingswijze en habitat. Notitie GWAO-90.12018.
- K. Essink & H.L. Kleef** – Vergelijking van verschillende bemonsteringsstrategieën voor trendmonitoring van macrozoobenthos van de zand- en slibplaten in de getijdezone. Notitie GWAO-90.12020.
- K. Essink, R. Bijkerk, H.L. Kleef & P. Tydeman** – De invloed van het zwevend stof regime op de groei en conditie van de Mossel (*Mytilus edulis* L.). Notitie GWAO-90.12022.
- 1991** **H.L. Kleef** – Het macrozoobenthos van de Hond-Paap in het Eems-Dollard estuarium in 1988. Nota GWAO-91.061.
- H.L. Kleef** – Ontwikkeling van de sublitorale bodemfauna in de Bocht van Watum (Eems-Dollard estuarium) gedurende de periode 1977 – 1989. Nota GWAO-91.062.
- J. Eppinga** – De bodemfauna in de getijdezone nabij de Eemscentrale (Eems-estuarium) in de periode 1976-1986. Nota GWAO-91.065.
- 1992** **H.L. Kleef** – De mogelijkheid van effectonderzoek met betrekking tot de bodemfauna op een slibstortlocatie in de Mond van de Dollard. Werkdocument GWAO-92.602x.
- V.N. de Jonge & K. Essink** – Lange-termijn veranderingen in nutriëntenbelasting en daarmee gepaard gaande primaire en secundaire productie in de Nederlandse Waddenzee. Rapport DGW-92.002.
- H. Peletier** – Herstel van een natuurlijk ecosysteem: het effect van de sanering van het veenkoloniaal afvalwater op de diatomeeënpopulaties in de Dollard. Rapport DGW-92.004.
- P. Tydeman** – Ontwikkeling van het macrozoöbenthos van de Ballastplaat (westelijke Waddenzee) gedurende 1977-1987. Rapport DGW-92.005.
- Y. Laufer*** - Long-term development of biomass of intertidal macrozoobenthos at Piet Scheve Plaat (Dutch Wadden Sea). Rapport DGW-92.014.
- H.L. Kleef, K. Essink & E.E. Welling** – Het effect van het storten van baggerspecie op de bodemfauna in de Oude Westereems in de jaren 1989 en 1990. Rapport DGW-92.018.
- V.N. de Jonge & K. Essink** – The Ems estuary: Water circulation, sediment dynamics and nutrient enrichment. . Rapport DGW-92.025.
- A. de Pree*** -Variatie in groei en conditie van twee-kleppige mollusken in de Waddenzee in relatie tot eutrofiëring. Werkdocument GWAO-92.622x.
- 1993** **K. Essink** – Schelpenwinning Waddenzee; schelpkalkproductie. Werkdocument GWAO-93.602x.
- K. Essink** – Effecten schelpenwinning. Werkdocument GWAO-93.603x.
-

K. Essink – Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Eindrapport van het project BAGHWAD*3. Rapport DGW-93.020.
K. Essink – Reactie van Nematoden in de Dollard op verminderde afvallozing. Werkdocument DGW-93.620x.

**Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ,
Afd. Onderzoek en Strategie Biologie Wadden, Haren**

- 1994** **S. Weber*** – De effecten van de verminderde afvallozing via de Westerwoldsche Aa op vier bodemfaunasoorten in de zuidoostelijke Dollard. Werkdocument RIKZ/OS-94.650x.
B. Schoute* - Evaluatie van de monsternamerequentie van het monitoringprogramma van bodemfauna in de Eems-Dollard en het Groninger Wad. Werkdocument RIKZ/94.615x
- 1995** **K. Essink** – Change in strategy for monitoring macrozoobenthos in the Dutch sector of the North Sea. Werkdocument RIKZ/OS-95.606x
B. Rijdsdijk* - Lange-termijn ontwikkeling van de bodemfauna in de Dollard (1977-1994). Werkdocument RIKZ/OS-95.611x.
K. Essink – Schatting schelpproductie kustzone Noord/Zuid-Holland. Werkdocument RIKZ/OS-95.613x.
F. Heinis, I. Akkerman, K. Essink, F. Colijn & M.J. Latuhihin – Biologische monitoring zoute wateren 1990-1993 - Rapport RIKZ-95-059.
- 1996** **K. van Essen** - De effecten van vooroeversuppletie en zandwinning boven het eiland Terschelling op de leeftijdssamenstelling van enkele tweekleppige schelpdiersoorten. RIKZ Werkdocument OS-96.618x.
K. van Essen - Effecten van zandwinning op de macrofauna met betrekking tot verschillende voedselstrategieën. RIKZ Werkdocument OS-96.619x.
J. Eppinga - Ecologisch profiel van het nonnetje (*Macoma balthica*). Rapport RIKZ 96-022.
C. Steur, J. Seys & J. Eppinga - Ecologisch profiel van de strandgaper (*Mya arenaria*). Rapport RIKZ 96-023.
R. Bijkerk, P.I. Dekker & P. Tydeman - Ecologisch profiel van de draadworm (*Heteromastus filiformis*). Rapport RIKZ 96-024.
P. Tydeman - Ecologisch profiel van de litorale kokkelbank (*Cerastoderma edule*). Rapport RIKZ 96.025.
P. Tydeman - Ecologisch profiel van de wilde litorale mosselbank (*Mytilus edulis*). Rapport RIKZ 96-026.
S. Marquenie* - Ontwikkeling van de sublitorale bodemfauna in de Bocht van Watum (Eems-Dollard) in de periode 1977-1994, o.a. in relatie tot morfologische veranderingen. RIKZ concept stageverslag.
- 1997** **K. Essink & E. Stikvoort** – Evaluatie Structuurnota Zee- en Kustvisserij. Deelproject M2. Ontwikkeling van alternatieve voedselbronnen in en buiten voor kokkel- en mosselzaadvisserij gesloten gebieden in de Oosterschelde en Waddenzee/Eems-Dollard. Werkdocument RIKZ/OS-97.618x.
- 1998** **K. Essink** – On the dispersal of *Marenzelleria* spp. (Polychaeta: Spionidae) and *Ensis americanus* (Bivalvia: Cultellidae) in NW Europe. Werkdocument RIKZ/OS-98.603x.
K. Essink – Shell extraction in The Netherlands: ecological effects and policy development. Werkdocument RIKZ/OS-98.604x.
K. Essink – On the dispersal, identity and ecology of *Marenzelleria* spp. (Polychaeta: Spionidae) in NW Europe. Werkdocument RIKZ/OS-98.608x.
Essink, K. & P. Esselink (Redactie). Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ-98.020.
Essink, K. – Het effect van de sanering van de lozingen van veenkoloniaal afvalwater op de bodemfauna van de Dollard. In: Essink, K. & P. Esselink (Red.). Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke

-
- dynamiek - Rapport RIKZ-98.020, pag. 101-127.
- Essink, K. & P. Esselink** – Synthese: verleden, heden en toekomst van het Eems-Dollard estuarium. In: Essink, K. & P. Esselink (Red.). Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Rapport RIKZ-98.020, pag. 169-180.
- 1999** **K. Essink** – Update on occurrence of alien benthic species in estuarine and coastal waters of The Netherlands. Werkdocument RIKZ (zonder nummer)
- K. Essink, H.L. Kleef, P. Tydeman, J. Jungman, O. Duijts & H. Bargerbos** - Ecologische inventarisatie in de Waddenzee nabij Kornwerderzand: bodemfauna en visserijkundige aspecten. Rapport RIKZ-99.010, 34 p.
- 2000** **P. Tydeman** - Het macrozoobenthos op vijf permanente quadraten op het Groninger wad in 1998. Rapport RIKZ/2000.038
- P. Tydeman** - Het macrozoobenthos op vijf permanente quadraten op het Groninger wad in 1999. Rapport RIKZ/2000.039
- K. Essink** – Shell production in the Dutch Wadden Sea. Werkdocument RIKZ/OS/2000.605x.
- K. Essink & J. de Vlas** – Kwelderontwikkeling in het Noord-Hollandse deel van de Waddenzee: bouwstenen voor een visie m.b.t. menselijk ingrijpen. Werkdocument RIKZ/OS/2000.614x.
- K. Essink & J. de Vlas** - Visie kwelderontwikkeling in het Noord-Hollands deel van de Waddenzee - Rapport RIKZ/2000.054.
- 2001** **H.L. Kleef & P. Tydeman** - De bodemfauna van de Breehorn (westelijke Waddenzee): een kwantitatieve survey in november 2001. Werkdocument nr. RIKZ/2001/OS.611x.
- 2002** **P. Tydeman, H.L. Kleef & J. de Vlas** - Ontwikkeling van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) in het Eems-Dollard estuarium in de periode 1998-2001. Werkdocument RIKZ /OS/2002.601x.
- 2003** **Essink, K., J. de Vlas, R. Nijssen & G.J.M. Poot** - Evaluatieonderzoek Schelpdiervisserij 2e fase (EVA II), Deelonderzoek E: Heeft mechanische kokkelvisserij invloed gehad op de ontwikkeling van zeegras in de Nederlands Waddenzee? Rapport RIKZ/2003.026.
- 2004** **Zwarts, L., W. Dubbeldam, K. Essink, H. van de Heuvel, E. van de Laar, U. Menke, L. Hazelhoff & C.J. Smit** - Bodemgesteldheid en mechanische kokkelvisserij in de Waddenzee. Rapport RIZA/2004.028.
- 2005** **Essink, K.** – Bodemfauna en beleid. Een overzicht van 35 jaar bodemfauna onderzoek en monitoring in Waddenzee en Noordzee. Rapport RIKZ-2005.028.
-