

# **Bioassays en chemische metingen, is er een relatie?**

**Multivariate analyse van chemische en biologische waarnemingen aan sedimenten van de Waddenzee en het Zeehavenkanaal**

**P.J. van den Brink<sup>1</sup>**

**B.J. Kater<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte**

**<sup>2</sup> Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)**

**Alterra-rapport 186**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000**

## REFERAAT

P. J. van den Brink en B. J. Kater, 2000. *Bioassays en chemische metingen, is er een relatie? Multivariate analyse van chemische en biologische waarnemingen aan sedimenten van de Waddenzee en het Zeehavenkanaal*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 186.66 blz. 18 fig.; 3 tab.; 28 ref.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de multivariate analyse van twee surveys uitgevoerd door het RIKZ. In de Waddensurvey zijn sedimenten van een zestiental plekken in de Waddenzee zowel chemisch als biologisch beoordeeld met behulp van chemische metingen en een aantal in-vitro en in-vivo lab-bioassays. De Waddenzee data set is verzameld om na te gaan of waargenomen effecten in de bioassays gerelateerd zijn aan de chemische karakteristieken, en welke gebieden in de Waddenzee als referentiegebied gebruikt kunnen worden. In het Zeehavenkanaal zijn niet alleen bioassays en chemische metingen uitgevoerd maar is tevens de bioaccumulatie van verschillende verbindingen in de zager *Nereis virens* onderzocht.

Trefwoorden: bioassay, biologische beoordeling, chemische verontreiniging, multivariate technieken, sediment, waddenzee, zeehavenkanaal

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 186. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

# Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Chemische en biologische beoordeling	9
1.2 Waddensurvey en survey in het Zeehavenkanaal	9
1.3 Multivariate analyse technieken	10
1.4 Vraagstelling en aanpak	14
2 De Waddensurvey	15
2.1 Materiaal en methoden	15
2.1.1 Monsterpunten	15
2.1.2 Chemische beoordeling	15
2.1.3 Biologische beoordeling	17
2.1.4 Analyse van de testomstandigheden	18
2.1.5 Multivariate analyse chemische en biologische beoordeling van zeesedimenten Waddensurvey	19
2.2 Resultaten	20
2.2.1 Chemische beoordeling	20
2.2.2 Biologische beoordeling	22
2.2.2.1 Analyse van de testomstandigheden	22
2.2.2.2 Bioassay responsen	24
2.2.3 Relatie tussen chemische en biologische beoordeling	26
2.2.3.1 Alle chemische parameters	26
2.2.3.2 De elementen	28
2.2.3.3 PAK's	29
2.2.3.4 Gechloreerde aromatische verbindingen	30
2.2.3.5 Tinverbindingen	31
3 Survey van het Zeehavenkanaal	33
3.1 Materiaal en methoden	33
3.1.1 Monsterpunten en chemische en biologische beoordeling	33
3.1.2 Analyse van de testomstandigheden	33
3.1.3 Multivariate analyse chemische en biologische beoordeling van zeesedimenten van de survey van het Zeehavenkanaal	34
3.1.4 Analyse bioaccumulatie	34
3.2 Resultaten	34
3.2.1 Chemische beoordeling	34
3.2.2 Biologische beoordeling en haar relatie met de chemische beoordeling	36
3.2.2.1 Analyse van de testomstandigheden	36
3.2.2.2 Relatie tussen chemische en biologische beoordeling	37
3.2.3 Relatie chemische beoordeling sedimenten en bioaccumulatie in biota	37

4	Discussie en conclusies	41
4.1	Waddensurvey	41
4.1.1	Relatie chemische en biologische beoordeling	41
4.1.2	Welke gebieden zijn als referentiegebied bruikbaar?	42
4.2	Survey in het Zeehavenkanaal	42
4.2.1	Relatie chemische en biologische beoordeling	42
4.2.2	Bioaccumulatie van verbindingen in <i>Nereis virens</i>	43
	Literatuur	45

### ***Aanhangsels***

1	Gemeten parameter LOI en stoffen aan de sedimenten van de Waddensurvey en de survey in het Zeehavenkanaal	49
2	Totale ruwe dataset chemische beoordeling Waddensurvey (gehalten op droge stof in fractie <63 µm)	51
3	Totale gestandaardiseerde dataset chemische beoordeling Waddensurvey (gehalten genormaliseerd op standaard sediment met 10% Organische stof en een lutum gehalte van 25%)	53
4	Resultaten van de bioassays uitgevoerd in de Waddensurvey	55
5	Gemeten proefomstandigheden welke gebruikt zijn als randvoorwaarden voor de bioassays uitgevoerd in beide surveys	57
6	Kwaliteitsdoelstellingen watersedimenten (uit Stortelder et al., 1989) gebruikt voor de normgerichte beoordeling van de sedimenten	59
7	Totale ruwe dataset chemische beoordeling uitgevoerd in de survey van het Zeehavenkanaal (gehalten op droge stof in totaal sediment)	61
8	Resultaten van de bioassays uigevoerd in de survey van het Zeehavenkanaal	63
9	Gehalten aan gechloreerde aromatische verbindingen, PAK's, tinverbindingen en kwik in de organismen van de <i>Nereis virens</i> bioassay uitgevoerd in de survey van het Zeehavenkanaal	65

## Samenvatting

Dit rapport beschrijft de multivariate analyse van twee surveys die door het RIKZ zijn uitgevoerd in de Waddenzee en het Zeehavenkanaal. In de Waddensurvey zijn sedimenten van een zestiental plekken zowel chemisch als biologisch geëvalueerd met behulp van chemische metingen en een aantal in-vitro en in-vivo lab-bioassays. Deze data sets zijn verzameld om na te gaan of waargenomen effecten in de bioassays gerelateerd zijn aan de chemische karakteristieken, en welke gebieden in de Waddenzee als referentiegebied gebruikt kunnen worden. De eerste vraagstelling betreft het bepalen van de voorspellende waarde van de bioassays. In andere woorden: voor het aantonen van welke individuele stoffen en/of stofgroepen zijn de bioassays bruikbaar? Tevens is een analyse uitgevoerd naar de relatie tussen de uitslag van een bioassay en enkele testomstandigheden als temperatuur en zuurstofgehalte. Dit om te beoordelen of de resultaten van bioassays niet het gevolg zijn van de toxiciteit maar van ongunstige testomstandigheden.

In de survey van het Zeehavenkanaal zijn uit een zevental vakken sedimenten bemonsterd en zowel chemisch als biologisch beoordeeld. Deze survey is uitgevoerd omdat bekend is dat het Zeehavenkanaal een gradiënt in gehalten aan HexachloorBenzeen (HCB) bezit. In deze 7 vakken zijn dezelfde chemische parameters als in de Waddensurvey gemeten. Tevens zijn drie bioassays uitgevoerd op deze sedimenten en is de accumulatie van diverse stoffen in de zager *Nereis virens* bepaald.

Allereerst zijn de resultaten van de bioassays getoetst aan hun randvoorwaarden: kwaliteitseisen waaraan de testomstandigheden moeten voldoen. Hierna zijn de chemische en biologische gegevens gezamenlijk geanalyseerd met behulp van de multivariate technieken Principal Component Analysis en Redundancy Analysis in combinatie met Monte Carlo permutatietoetsen.

In de Waddensurvey lijken de Microtox Solid Phase, *Echinocardium* en Calux-Dre bioassays de hoogste relatie met de gehalten van de chemische variabelen in de sedimenten te hebben. Van alle gemeten variabelen (metalen, PAK's, gechloteerde aromatische verbindingen en organische tinverbindingen) lijken de gehalten aan tinverbindingen de hoogste ecotoxicologische risico's met zich mee te brengen.

In de Waddenzee wordt voor de monsterpunten Dantziggat zuid, Malzwin zuidwal, Richel en Zuid Oost Lauwers oost een relatief laag ecotoxicologisch risico geschat op basis van chemische en biologische beoordeling.

In de survey uitgevoerd in het Zeehavenkanaal blijken de resultaten van de MSP bioassay positief te correleren met de gehalten aan PCB's, PAK's, tinverbindingen en kwik. De andere bioassays (*Corophium* en *Nereis*) laten wat betreft sterfte nauwelijks een respons zien.

Alle verontreinigingen hebben een positieve correlatie tussen sedimentgehalten en gehalten in zager *Nereis virens* behalve de fenyltinverbindingen, kwik en Indeno(1,2,3cd)pyreen (InP). De univariate analyses geven aan dat voor veel verbindingen de verschillen in gehalten van de sedimenten tussen de vakken te klein is om verschillen in de biota te kunnen meten (PCB's, aantal PAK's, tinverbindingen). Voor HCB en een aantal PAK verbindingen is een duidelijke toename van deze stoffen in biota gemeten over de gradiënt gemeten bij verhoogde gehalten in het sediment.

# **1 Inleiding**

## **1.1 Chemische en biologische beoordeling**

Voor de ecotoxicologische risicobeoordeling van verontreinigde waterbodems zijn zowel chemische als biologische technieken beschikbaar. Chemische analyses worden uitgevoerd om de aanwezigheid van specifieke toxische stoffen aan te tonen (STOWA, 1997a). Deze methodiek heeft als nadeel dat sommige stoffen moeilijk te meten zijn of simpelweg niet gemeten worden. Daarnaast zijn de metingen kostbaar en geven geen uitsluitend over de risico's voor het ecosysteem (STOWA, 1997b). Om de toxiciteit van bekende en onbekende stoffen en de onbekende toxiciteit van bekende stoffen te kunnen meten, bestaat er in toenemende mate behoefte aan methodieken voor een biologische beoordeling van verontreinigende sedimenten. Hiervoor kunnen bioassays en veldinventarisaties ingezet worden. Bioassays zijn experimenten waarin organismen of cellijnen worden blootgesteld aan (een extract van) een te beoordelen milieumonster. In deze experimenten kunnen verschillende effectparameters zoals groei, sterfte, reproductie en enzyminductie gemeten worden. In-vivo bioassays kunnen zowel in het veld als in het laboratorium uitgevoerd worden, welke respectievelijk een beeld van de actuele en potentiële toxiciteit geven. Veldbioassays hebben het voordeel dat het gemeten effect de milieukwaliteit gedurende de gehele testperiode weergeeft en niet alleen op het ogenblik van de monsternamen. Andere voordelen zijn dat de totale toxiciteit van het mengsel van stoffen en de metabolieten bepaald wordt en dat de resultaten van bioassays makkelijker te koppelen zijn aan ecologische effecten dan de resultaten van chemische metingen (Swerts en Maas-Diepeveen, 1999). Het nadeel is dat de testomstandigheden en hiermee ook de resultaten meer variatie vertonen (STOWA, 1997b). Bioassays kunnen, naast bepaling van de potentiële en actuele toxiciteit van aanwezige verontreinigingen, ook uitgevoerd worden om de biologische beschikbaarheid en het doorvergiftigingsrisico van verontreinigingen te bepalen. Deze bioassays worden dan bioaccumulatietesten genoemd en kunnen actief of passief zijn. Bij actieve testen worden ongecontamineerde organismen in het lab blootgesteld en na de test doorgemeten. Bij passieve testen worden in het veld aanwezige organismen doorgemeten (STOWA, 1997a). De vragen en onduidelijkheden bij het interpreteren van resultaten van bioassays liggen vooral op het vlak van validiteit (voor welke stoffen zijn de organismen gevoelig), kwaliteit (geven de bioassays een juiste uitslag?) en biologische representativiteit (wat zegt de respons van een soort of cellijn over de ecologische risico's?).

## **1.2 Waddensurvey en survey in het Zeehavenkanaal**

Dit rapport beschrijft de resultaten van de multivariate analyse van twee surveys die door het RIKZ zijn uitgevoerd in de Waddenzee en het Zeehavenkanaal. In de Waddensurvey zijn sedimenten van een zestiental plekken in de Waddenzee zowel chemisch als biologisch beoordeeld met behulp van chemische metingen en een

aantal in-vitro en in-vivo lab-bioassays. Deze data sets zijn verzameld om na te gaan of waargenomen effecten in de bioassays gerelateerd zijn aan de chemische karakteristieken, en welke gebieden in de Waddenzee als referentiegebied gebruikt kunnen worden. De eerste vraagstelling betreft het bepalen van de voorspellende waarde van de bioassays. In andere woorden: voor het aantonen van welke individuele stoffen en/of stofgroepen zijn de bioassays bruikbaar? Tevens is een analyse uitgevoerd naar de relatie tussen de uitslag van een bioassay en enkele testomstandigheden als temperatuur en zuurstofgehalte. Dit om te beoordelen of de resultaten van bioassays niet een gevolg zijn van de toxiciteit maar van ongunstige testomstandigheden.

In de survey van het Zeehavenkanaal zijn uit een zevental vakken sedimenten bemonsterd en zowel chemisch als biologisch beoordeeld. Deze survey is uitgevoerd omdat bekend is dat het Zeehavenkanaal een gradiënt in gehalten aan HexachloorBenzeen (HCB) bezit. In deze 7 vakken zijn dezelfde chemische parameters als in de Waddensurvey gemeten. Tevens zijn drie bioassays uitgevoerd op deze sedimenten en is de accumulatie van diverse stoffen in de zager *Nereis virens* bepaald.

### **1.3 Multivariate analyse technieken**

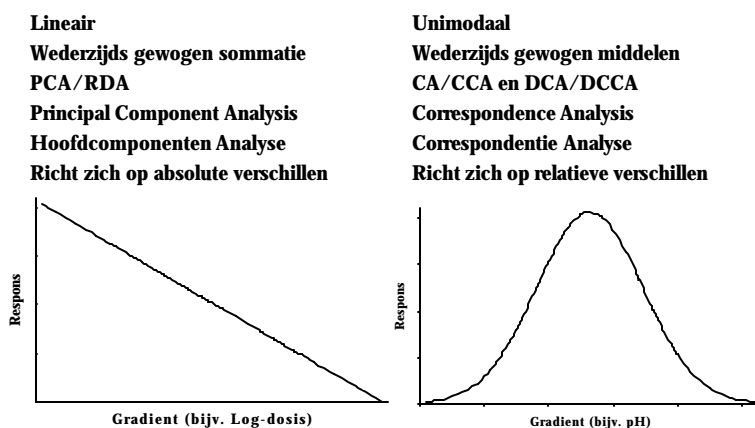
Multivariate technieken worden in de ecotoxicologie steeds vaker gebruikt voor de analyse van complexe datasets (Sparks et al., 1999). Ze worden onder meer gebruikt om de relatie tussen stressoren en de structuur van levensgemeenschappen te beschrijven (Kedwards et al., 1999; van den Brink en ter Braak, 1998; 1999) en om monsterpunten te ordenen op basis van hun vervuilingkarakteristieken (Van der Oost et al., 1997). Om deze ordening te bereiken en tweedimensionaal weer te kunnen geven is dimensiereductie noodzakelijk. De basis hiervan is dat de originele variabelen vervangen worden door afgeleide variabelen, die zo optimaal mogelijk de originele, gemeten variabelen samenvatten. Dit proces van het samenvatten van een set van variabelen heet ordinatie (Ter Braak, 1995).

Bij ordinatie worden grofweg twee verschillende manieren gebruikt om deze dimensiereductie te verkrijgen, de gewogen sommatie en de gewogen gemiddelden methode. Een methode gebaseerd op wederzijds gewogen middelen is Correspondentie Analyse (CA), een methode gebaseerd op wederzijds gewogen sommatie is Hoofdcomponenten Analyse (PCA, Figuur 1). Zoals te zien is in figuur 1 is CA gebaseerd op een klokvormige unimodale relatie tussen de respons van een eindpunt en de milieufactoren, en is PCA gebaseerd op een lineaire relatie.



# Ordinatie

## Twee respons modellen



*Figuur 1* Overzicht van respons modellen gebruikt in ordinatie

Bij de keuze tussen beide methoden spelen drie overwegingen een rol. Eerst kan bepaald worden of men geïnteresseerd is in een lineair responsmodel of een unimodaal responsmodel. Vaak zullen ecologische gegevens het beste geanalyseerd kunnen worden met het unimodale model. Dit omdat vaak een toe- en afname van een soort in aantallen langs een gradiënt (bijvoorbeeld pH) bestudeerd wordt. Ecotoxicologische datasets zijn vaak verzameld om de response van een receptor of organisme langs een vervuilinggradiënt te bepalen. Vanuit de theorie weten we dat deze relatie op een log-basis vaak sigmoid is dus het beste door een lineaire relatie beschreven kan worden. Vanuit deze gedachte worden de monsterpunten m.b.v. PCA op een lineaire schaal geordend op basis van hun vervuilingsspectrum (van 'schoon' naar 'vuil').

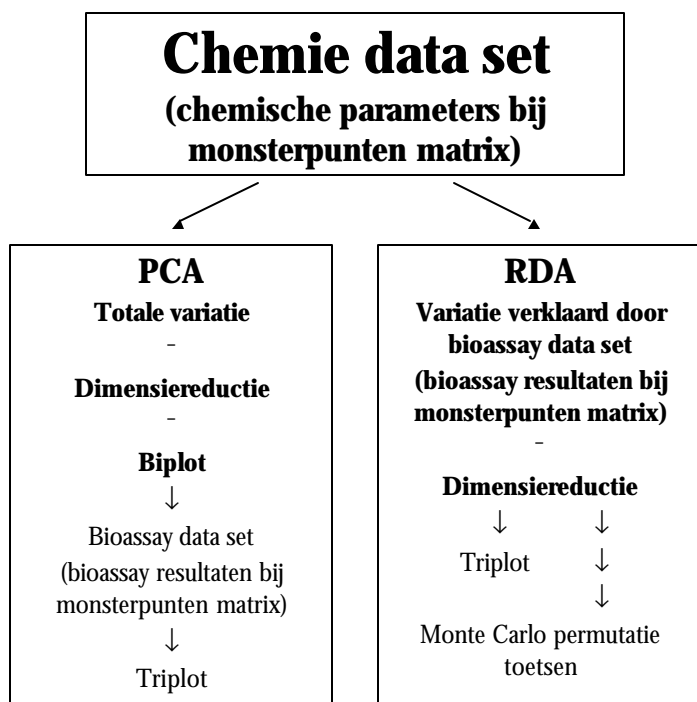
Als men vooraf geen idee heeft over de keuze van de relatie kan men de lengte van de soortengradiënt bepalen met behulp van Detrended CA (Ter Braak, 1995). Deze soortengradiënt geeft aan welk deel van de unimodale curve bestreken wordt door de dataset. 95% Van de unimodale curve als gegeven in Figuur 1 bestrijkt een gradiënt van 4 SD (standaard deviaties). Met Detrended CA is het dus mogelijk om op een formele grond een keuze te maken tussen de technieken. Is de soortengradiënt groter dan 3 SD, dan is een unimodaal model de beste techniek, is deze kleiner dan 1.5 dan is een lineaire relatie waarschijnlijk beter. Is de lengte van de soortengradiënt tussen de 1.5 en 3 SD, dan dient de keuze op de andere overwegingen gebaseerd te worden (Ter Braak, 1988).

Een derde overweging waarop men de keuze tussen PCA of CA kan baseren is of men geïnteresseerd is in verschillen op respectievelijk een absolute of relatieve schaal (Ter Braak en Smilauer, 1999). Hiermee wordt bedoeld of men geïnteresseerd is in de absolute veranderingen, dus de effecten van een milieuvariabele op de absolute aantallen van soorten, of dat men meer geïnteresseerd is in de veranderingen in de verhoudingen tussen soorten, de relatieve aantallen. De rol van soorten kan, in de

context van dit rapport, ook door chemische variabelen en/of bioassays gespeeld worden.

In het geval waarbij we de responsen van bioassays willen koppelen aan vervuilingniveaus van verschillende stoffen, gaan we uit van een sigmoïde relatie en kiezen we op basis hiervan voor een lineair model. De gradiënt van de chemische dataset van de Waddensurvey is 0.5 SD, welke ook aangeeft dat een lineair model het beste gebruikt kan worden. Als laatste zijn we ook geïnteresseerd in absolute veranderingen, niet zozeer in relatieve. Dit omdat als op een bepaalde plek de concentraties van alle gemeten stoffen half zo hoog zijn als op een andere, we deze verschillen van belang vinden. Relatief gezien is er geen verschil, alleen absoluut. Vanuit deze overwegingen is gekozen om eerst een PCA analyse uit te voeren op de resultaten van de chemische analyses om zo een beeld te krijgen van de mate van vervuiling op de verschillende plekken. De PCA analyse resulteert in een biplot waarin de (cor)relaties tussen de monsterpunten en vervuilingseigenaarskarakteristieken onderling en met elkaar worden weergegeven (zie bijvoorbeeld Figuur 5). Monsterpunten die dicht bij elkaar gegroepeerd zijn (bijvoorbeeld 3, 5, 11, 12, 13 en 16) lijken relatief veel op elkaar wat betreft gehalten aan chemische contaminanten. Monsterpunten die ver van elkaar geplaatst zijn vertonen meer verschillen (In Figuur 5 bijvoorbeeld 14 en 15). Een chemische parameter die in de richting van een monsterpunt geplaatst is (bijvoorbeeld Nd in de richting van 15) komt in een relatief hoog gehalte in dit monsterpunt voor. Een monsterpunt wat aan de andere kant van de oorsprong geplaatst is (in dit geval 14) bevat een relatief laag gehalte van deze stof (Nd). De afstand tussen het chemisch-parameter-punt en de oorsprong geeft de relatieve grootte van het verschil tussen monsterlocaties aan. Bijvoorbeeld voor zowel Pb als Nd is aangegeven dat zij in relatief hoge gehalten voorkomen in monsterpunt 15 en in relatief lage in monsterpunt 14, maar dit verschil is groter voor Nd dan voor Pb daar Nd verder van de oorsprong geplaatst is (Figuur 5).

Met behulp van PCA is het mogelijk om de vervuilinggraad van de verschillende monsterpunten in een diagram weer te geven, rekening houdend met verschillende contaminanten. De volgende stap is om de bioassays te relateren aan deze vervuilinggraden. In andere woorden: wat is de relatie tussen de respons van een bioassay op een bepaalde plek en haar vervuilingsspectrum? Op deze manier kan de voorspellende waarde van bioassays voor de vervuiling op een bepaalde plek geëvalueerd worden. Een van de manieren om de resultaten van de bioassays te koppelen aan het vervuilingsspectrum is om een regressie analyse uit te voeren op de PCA assen. De bioassay data worden als het ware 'over' het PCA diagram gelegd (Figuur 2). Door de oorsprong en het punt dat door de regressie verkregen wordt kan een pijl getrokken worden (zie Figuur 11 als voorbeeld). De pijl wijst van de monsterpunten waarvoor de laagste bioassay uitslag aangegeven is naar degene waarvoor de hoogste aangegeven is. De richting van de pijl geeft dus aan voor welke monsterpunten een hoge uitslag van de bioassay aangegeven wordt en voor welke een lage, de lengte geeft de grootte van het verschil aan. Dezelfde relatie geldt ook voor de bioassay pijlen en de plaatsing van de chemische parameters.



Figuur 2 Overzicht van de gebruikte multivariate analyse technieken (versimpeld). Het niet vetgedrukte deel is een optionele stap die kan volgen op de analyses.

Redundantie Analyse (Redundancy Analysis, RDA) is de gedwongen vorm van PCA, d.w.z. dat de analyse beperkt wordt tot het deel van de variatie dat verklaard is door gegeven verklarende variabelen (hier bioassays). Met behulp van deze techniek is bepaald welk deel van de totale variatie in chemische metingen door de afzonderlijke en alle bioassays gezamenlijk verklaard wordt. RDA analyse kan men laten volgen door een Monte Carlo permutatie toets, welke bepaald of het verklaarde deel van de totale variatie ook een significant deel is. De toetsgrootheid (F) is gebaseerd op het percentage verklaarde variatie. De toets is niet gebaseerd op een gegeven referentieverdeling maar maakt zijn eigen referentieverdeling aan door middel van het permuteren van de bioassaygegevens over de monsterpunten. De referentieverdeling wordt gemaakt door de bioassay resultaten 'random' over de verschillende monsterpunten te schikken (bijvoorbeeld die van monsterpunt 1 aan 7 toewijzen, die van 7 aan 4 toewijzen etc.) en voor iedere schikking het percentage verklaarde variatie en de daarop gebaseerde toetsgrootheid F te bepalen. Door dit vele malen te herhalen (bijvoorbeeld 999 keer) wordt een referentieverdeling van F opgebouwd en kan gekeken worden hoe extreem de berekende F grootheid van de juiste schikking (zoals het bepaald is voor ieder monsterpunt) in deze verdeling ligt (Ter Braak en Smilauer, 1998). Indien bijvoorbeeld 20% van de 'random' schikkingen een hoger percentage verklaarde variatie heeft dan onze juiste schikking dan is de bijbehorende P-waarde 0.20. Vanuit de referentie verdeling blijkt dat er 20% kans is dat deze waarde op basis van toeval berekend kan worden. In dit rapport wordt een P-waarde tussen de 0.10 en 0.05 zwak significant genoemd, een waarde kleiner dan 0.05 significant.

## **1.4 Vraagstelling en aanpak**

De twee surveys worden in dit rapport apart beschreven en besproken. In hoofdstuk 2 zullen de resultaten van het Waddensurvey beschreven worden. Hoofdstuk 3 behandelt de chemische en biologische beoordeling van de sedimenten van de Zeehavenkanaal. Het doel van dit rapport is om de data van de Waddensurvey en de survey in het Zeehavenkanaal met behulp van multivariate technieken te verwerken om zo een antwoord te krijgen op de volgende vragen: I) is er een relatie tussen de chemische en biologische metingen in beide surveys, II) welke gebieden in de Waddenzee zijn bruikbaar als referentiegebied, en III) wat is de relatie tussen gehalten van chemische verbindingen in het sediment en biota? In de discussie worden de resultaten van beide surveys aan de hand van deze vraagstellingen besproken.

## **2 De Waddensurvey**

### **2.1 Materiaal en methoden**

#### **2.1.1 Monsterpunten**

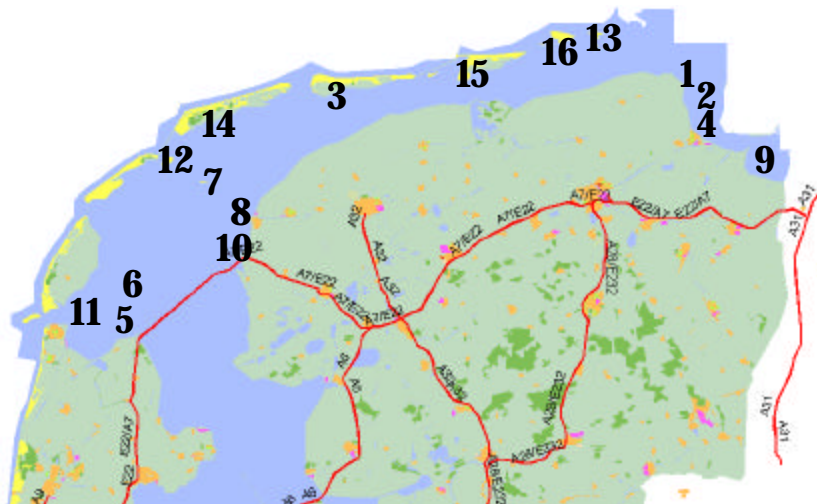
Door het RIKZ zijn in 1998 op 16 plaatsen in de waddenzee sediment monsters genomen om ze daarna zowel chemisch als biologisch te beoordelen. Het doel van deze survey was om na te gaan welke gebieden in de Waddenzee als referentiegebied geschikt zijn, en of de waargenomen biologische effecten gerelateerd zijn aan de chemische karakteristieken (Kater et al., 1999).

Figuur 3 geeft de namen van de monsterpunten en hun plaats in de Waddenzee weer. Drie havens werden bemonsterd, Delfzijl Zeehavenkanaal, Terschelling haven en Harlingen haven. In de Eems-Dollard werden twee monsters genomen in de Bocht Watum (oost en dijkvoet) en nog een iets landinwaarts (Heringsplaat noordoost). Bij of tussen de verschillende Waddeneilanden zijn van west naar oost de volgende plaatsen bemonsterd: Malzwin Zuidwal, Richel, Dantziggat zuid en Rottumeroog zuidoost. Wat meer in het midden van de Waddenzee of aan de landskant zijn de plekken Griend kwelder, Zoutkamperlaag plaat, Zuid Oost Lauwers oost, Kornwerderzand buitenspuikom, Doove Balg west en Den Oever spuisluis buiten bemonsterd.

#### **2.1.2 Chemische beoordeling**

In alle sedimenten zijn in totaal 54 verschillende parameters gemeten, die opgesomd zijn in Aanhangsel 1. Ze behoren tot de elementen (waaronder metalen), Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK), gechlloreerde aromatische verbindingen (Poly-Chloor Bifenylen; PCB en Hexachloorbenzeen, HCB) en organische tinverbindingen. De concentraties van de stoffen zijn weergegeven in  $\mu\text{g}$ -,  $\text{mg}$ - of  $\text{g}/\text{kg}$  sediment. De totale dataset is gegeven in Aanhangsel 2. De parameters waarvan bekend is hoe zij gestandaardiseerd kunnen worden op basis van droge stof, zijn in de analyses ook zo ingevoerd, voor de overige parameters zijn de gemeten waarden gebruikt. De gestandaardiseerde gegevens zijn weergegeven in Aanhangsel 3.

De gemeten elementen bestaan uit metalen, arseen en koolstof. Van de elementen mag verwacht worden dat de zware metalen (o.a. cadmium, lood zink, chroom, koper) en arseen de meest toxische zijn. De opname hiervan verloopt grotendeels via het poriewater (van Straalen en Verkleij, 1991), maar hoe de toxische effecten tot stand komen is grotendeels onbekend. Desondanks zijn er aanwijzingen dat de effecten van verschillende metalen die in hetzelfde water voorkomen bij elkaar opgeteld kunnen worden of elkaar in sommige gevallen versterken (Stortelder et al., 1989).



<i>Monsterpunt</i>	<i>Naam monsterpunt</i>	<i>Omschrijving punt</i>
1	Bocht van Watum dijkvoet	Ondiepte voor zeedijk
2	Bocht van Watum oost	Plaat
3	Dantziggat zuid	Rand van geul
4	Delfzijl Zeehavenkanaal	Haven
5	Den Oever spuisluis buiten	Ondiepte voor havendijk
6	Doove Balg west	Geul
7	Griend kwelder	Slibkom
8	Harlingen haven	Haven
9	Heringsplaat noordoost	Plaat
10	Kornwerderzand spuisluis buiten	Ondiepte voor dijk buitenhaven
11	Malzwin Zuidwal	Geul
12	Richel	Plaat
13	Rottumeroog zuidoost	Plaat
14	Terschelling haven	Haven
15	Zoutkamperlaag	Plaat
16	Zuid Oost Lauwers oost	Rand van geul

*Figuur 3 Plaatsing van de monsterpunten in de Waddenzee en het Zeehavenkanaal en een korte omschrijving.*

Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's) zijn organische verbindingen met twee of meerdere gefuseerde aromatische benzeenringen. Ze zijn slecht in water oplosbaar en hebben zowel een narcotiserende als een carcinogene werking door middel van de binding aan de Ah-receptor. Hoe hoger het molecuulgewicht hoe slechter de PAK oplost in water en hoe slechter de stof gemetaboliseerd wordt. Tussen evertebraten bestaan grote verschillen in de mogelijkheid PAKs af te breken (STOWA, 1997a).

De gemeten gechloreerde aromatische verbindingen in deze survey zijn PCB's en HCB. PCB's bestaan uit twee, aan elkaar verbonden, aromatische ringen waaraan op verschillende plaatsen chlooratomen verbonden zijn. Door verschillen in aantal chlooratomen en hun rangschikking ontstaan verschillende congenere die aangeduid worden met een nummer (IUPAC nomenclatuur; bijvoorbeeld PCB153). De verbindingen hebben afhankelijk van hun chloorsubstituering naast een narcotiserende werking ook een chronische werking op reproductie en een

carcinogene werking (STOWA, 1997a). HCB bestaat uit één benzeenring waarvan alle zes waterstofatomen zijn vervangen door chlooratomen. Het wordt vooral gebruikt als oplosmiddel en komt vrij als afvalstof. De stof heeft naast een narcotiserende werking ook een effect op de haemsynthese in de bloedcellen (Stortelder et al., 1989).

Sinds het begin van de jaren zeventig wordt het biocide tributyltin (TBT) als marien aangroeiwerend middel gebruikt in verf voor boten. Het uitlogen van TBT naar het mariene aquatisch milieu heeft geleid tot een wereldwijde contaminatie van sedimenten in havens. TBT is een vrij persistente stof en is toxisch in lage concentraties. Bij deze lage concentraties is imposex, afwijkingen aan de schelp en afname in groei bij schelpdieren geconstateerd (Mensink, 1999). Fenyltin-verbindingen worden ook gebruikt in aangroeiwerende verf maar de belangrijkste toepassing is als fungicide (trifenylytin) in de landbouw (Mensink, 1999). Voor zowel tributyltin als trifenylytin geldt dat ze langzaam metaboliseren tot de di- en monoverbinding.

### 2.1.3 Biologische beoordeling

Op (extracties van) de sedimenten zijn tevens drie verschillende in-vitro en vier in-vivo bioassays uitgevoerd. De in-vivo getoetste diersoorten zijn: *Echinocardium cordatum* (zeeklit), *Crassostrea gigas* (oesterlarven), *Brachionus plicatilis* (radardierte, Rotox bioassay) en *Corophium volutator* (slijkgarnaal) en Microtox Solid Phase (MSP, fotobacterie). De uitgevoerde in-vitro bioassay is Calux-Dre. Tabel 1 geeft een overzicht van de bioassays, enkele kenmerken en de onderzochte eindpunten.

Tabel 1: Overzicht van de bioassays uitgevoerd op de verschillende sedimenten

Naam testorganisme	Afkorting	Ned. naam	Duur (dagen)	Eindpunt	Parameters
<i>Vibrio fischeri</i>	MSP	Fotobacterie	0.014	luminicentie	TU (drooggewicht)
H4IIE	Calux-Dre	Ratten cellijn	2	activeren Ah-receptor	TEQ
<i>Corophium volutator</i>	Coroph	Slijkgarnaal	10	overleving	Overlevingspercentage
<i>Crassostrea gigas</i>	Crasso	Oesterlarve	2	overleving en misvorming	Percentage totaal effect
<i>Brachionus plicatilis</i>	Rotox	Radardierte	1	overleving	NOEC
<i>Echinocardium cordatum</i>	Echin	Zeeklit	14	overleving en heringraafgedrag	Overlevingspercentage en % totaal effect

De Microtox Solid Phase bioassay (MSP) gebruikt de ongemuteerde vorm van de fotobacterie *Vibrio fischeri* en bepaald de uitdoving van lichtemissie, welke optreedt wanneer de stofwisseling o.i.v. toxicanten verstoord wordt (Schipper et al., 1999b). De EC50 van de sedimenten wordt bepaald door sediment suspensies in verschillende verdunningen aan te maken. De toxiciteit wordt uitgedrukt in Toxic Units (1/EC50).

In de Calux-Dre (chemical activated luciferase gene expression assay) wordt de enzymproductie als gevolg van de activiteit van het DRE (dioxine responsive

element) bepaald. Dit gebeurt met behulp van een ratten hepatoom cellijn (H4IIE) welke getransfecteerd is met een plasmide die de DRE-sequentie en een luciferase-reporter-gen bevat (Murk et al., 1999). Door de binding van het 'contaminanten-Ah receptor' complex aan het DRE wordt deze geactiveerd alsook het luciferase-gen. De toxiciteit wordt uitgedrukt in TEQ (TCDD equivalenten).

De slijkgarnaal (*Corophium volutator*) behoort tot de kreeftachtigen en leeft in het intergetijde gebied van estuaria (Schipper et al., 1999a; AquaSense, 2000). De toets is sub-chronisch (10 dagen) en wordt op de sedimenten uitgevoerd. Na 10 dagen wordt het overlevingspercentage bepaald (Kater et al., 1999).

In de bioassay uitgevoerd met de Japanse oester *Crassostrea gigas* worden larven 2 dagen blootgesteld aan het elutriaat van de sedimenten (Schipper et al., 1999d). Aan het eind van de toets wordt het aantal levende en misvormde larven geteld (Kater et al., 1999).

De Rotokit-M bioassay is een bioassay uitgevoerd met het radardiertje *Brachionus plicatilis*. De cysten worden vlak voor het begin van de test uitgebroed en vervolgens gedurende 24 uur blootgesteld aan een verdunningsreeks van het poriewater van de sedimenten (Schipper et al., 1999e). De toxiciteit wordt uitgedrukt in de verdunning waarbij 0% van de organismen sterft (NOEC; Kater et al., 1999).

*Echinocardium cordatum* (zeeklit) is een organisme dat zich 8 tot 15 cm ingraaft in de zandbodem. Aan het eind van de veertiendaagse toets wordt de overleving bepaald en de overlevende zeeklitten overgebracht op schoon zand. Hierna wordt per sediment gescoord welk percentage van de dieren zich ingegraven heeft binnen 30 minuten (Schipper et al., 1999c). De toxiciteit wordt uitgedrukt in overlevingspercentage en het percentage dieren dat of dood is of een gestoord heringraafgedrag vertoont (Kater et al., 1999).

De resultaten van de verschillende bioassays op de verschillende sedimenten zijn gegeven in Aanhangsel 4. Tevens zijn een aantal testomstandigheden gemeten tijdens de verschillende bioassays welke vergeleken worden met randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden zijn eisen waaraan de bioassay moet voldoen voordat haar resultaten geaccepteerd worden (Kater et al., 1999). De gemeten testomstandigheden zijn voor de verschillende bioassays weergegeven in Aanhangsel 5.

#### **2.1.4 Analyse van de testomstandigheden**

De relatie tussen testomstandigheden als temperatuur en zuurstof (randvoorwaarden) en de uitslag van de bioassay is op twee manieren bekeken. Ten eerste is een lineaire regressie uitgevoerd op de relatie tussen bioassay respons en de gemeten testomstandigheden. De geanalyseerde relatie is:  $y = a + bx$ , waarbij  $x$  de testomstandigheid voorstelt en  $y$  de respons van de bioassay. Tevens is de significantie van de parameters  $a$  en  $b$  bepaald. Wanneer voor een parameter het verschil tussen het gemiddelde en het minimum groter dan 3 is, of  $\downarrow$  van het verschil tussen het



gemiddelde en het maximum, is deze verondersteld scheef verdeeld te zijn. Om hiervoor te corrigeren zijn deze parameters voor de analyse  $y = \ln(10 \cdot x) + 1$  getransformeerd, waarbij  $x$  de originele waarneming is en  $y$  de getransformeerde (zie Van den Brink et al., 2000 voor uitleg over de parameter 10) De analyses zijn uitgevoerd in Genstat 5 Release 4.1 (Payne and Lane, 1987).

Tevens is onderzocht, door middel van visualisatie van de relaties in figuren, of extreme bioassay resultaten overeenkomen met extreme testomstandigheden. Hierna is gekeken of de gemeten waarden van de testomstandigheden binnen de opgestelde randvoorwaarden vallen. Deze randvoorwaarden zijn opgesteld voor de verschillende omstandigheden en bioassays door het RIKZ (Schippert et al., 1999a,b,c,d,e; Murk et al., 1999).

### **2.1.5 Multivariate analyse chemische en biologische beoordeling van zeesedimenten Waddensurvey**

In paragraaf 1.3 zijn drie overwegingen gegeven die een rol kunnen spelen bij de keuze van het multivariate regressiemodel. Op basis van alle drie de overwegingen is gekozen voor PCA. Eerst is een PCA uitgevoerd op de gemeten gehalten aan chemische variabelen in de verschillende sedimenten. Dit om een ordening te krijgen van de monsterpunten op basis van hun chemische karakteristieken. Tevens wordt aangegeven welke stoffen coëxistent zijn (met elkaar voorkomen) en welke niet.

De PCA analyse is ook uitgevoerd op de chemische karakteristieken van de sedimenten samen met de kwaliteitsdoelstellingen van deze parameters (Stortelder et al., 1989). Deze kwaliteitsdoelstellingen zijn ecotoxicologische waarden welke de basiskwaliteit van het oppervlaktewater en de waterbodem weergeven. Basiskwaliteit geeft aan dat niet automatisch aan de eisen voldaan is die gesteld worden voor bijvoorbeeld drinkwater, recreatie en landbouw. Voor een evaluatie van deze basiskwaliteit met kwaliteit van de sedimenten zijn de kwaliteitsdoelstellingen als opgesteld voor waterbodems als een extra monster ingevoerd. Alleen de parameters waarvoor deze doelstellingen beschikbaar zijn, zijn meegenomen in de analyse. Deze analyse is uitgevoerd om een beeld te krijgen van de overschrijdingen van de ecotoxicologische waarden door de gemeten stoffen op de verschillende locaties. Opgemerkt dient te worden dat de waarden opgesteld zijn voor het sediment van zoet oppervlaktewater en niet voor estuarine en mariene sedimenten. De gebruikte kwaliteitsdoelstellingen zijn weergegeven in Aanhangsel 6. Voor de analyse zijn de niet gestandaardiseerde waarden voor de sedimenten van de Waddensurvey gebruikt. Dit omdat de gehalten qua eenheid dan vergelijkbaar zijn met de kwaliteitsdoelstellingen.

Om een gedetailleerder beeld van het vervuilingsspectrum van de Waddenzee te krijgen zijn ook analyses op deel-datasets uitgevoerd. Deze deel-datasets bestaan uit de gegevens omtrent alleen de elementen, gechloreerde aromatische verbindingen, PAK's of organische tinverbindingen.

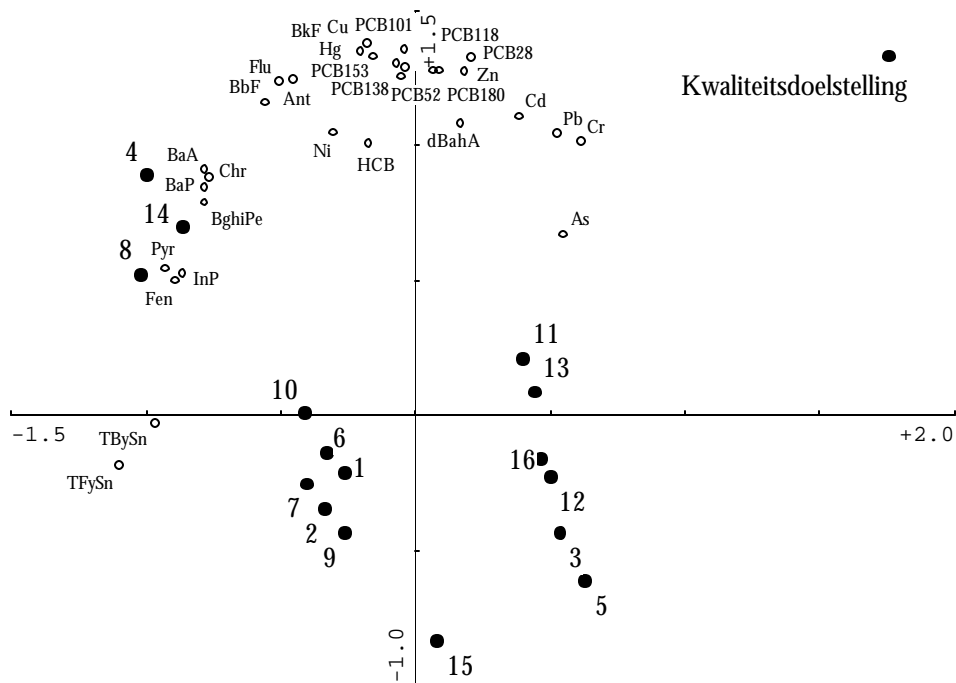
De analyses zijn uitgevoerd met CANOCO for Windows 4 (Ter Braak en Smilauer, 1998). De vervuilingdata zijn voor de analyse volgens de formule  $y = \ln(a \cdot x)$  getransformeerd, waarbij  $x$  de originele meetwaarde weergeeft en  $y$  de getransformeerde. De waarde van  $a$  is bepaald voor iedere chemische parameter afzonderlijk. De gebruikte regel om  $a$  te bepalen is:  $a \cdot x_{\min} = 2$ , waarbij  $x_{\min}$  de laagste gemeten waarde voor een chemische parameter is (Van den Brink et al., 2000). Deze transformatie heeft tot gevolg dat alle parameters  $\ln$  getransformeerd zijn zodat zowel een normale verdeling als een lineaire relatie met de respons (bioassay) beter benaderd wordt. Anderzijds worden de parameters door de factor  $a$  gestandaardiseerd op basis van hun laagste meting wat ze beter vergelijkbaar maakt; sommige parameters worden nu eenmaal in hogere concentraties aangetroffen dan anderen. Waarden onder de detectielimiet zijn vervangen door de helft van de detectielimiet.

## 2.2 Resultaten

### 2.2.1 Chemische beoordeling

Figuur 4 geeft het PCA biplot van de gecombineerde analyse van de chemische sedimentgegevens en de kwaliteitsdoelstellingen weer. Het fictieve monsterpunt dat de kwaliteitsdoelstellingen weergeeft heeft een hoge monsterscore voor zowel de eerste als de tweede as. Dit betekent dat bijvoorbeeld monsterpunt Harlingen haven (8) de kwaliteitsdoelstellingen wat betreft Chroom (Cr) niet overschrijdt, maar wel wat betreft Pyreen (Pyr). Chroom is namelijk relatief dicht geplaatst bij het 'monsterpunt' dat de kwaliteitsdoelstellingen weergeeft, wat betekent dat de waarde van de kwaliteitsdoelstelling relatief hoog is vergeleken met de niveaus gemeten in Harlingen haven sediment. Het omgekeerde geldt voor Pyreen. Het diagram geeft dus voor Harlingen haven een groter ecotoxicologisch risico aan voor Pyreen vergeleken met Chroom. De monsterpunten kunnen globaal in 3 groepen ingedeeld worden, de monsterpunten welke rechts van de y-as geplaatst zijn, de monsterpunten met een negatieve score op de eerste as en een positieve met de tweede (de havens) en de monsterpunten met een negatieve score met de eerste as en een (kleine) negatieve met de tweede.

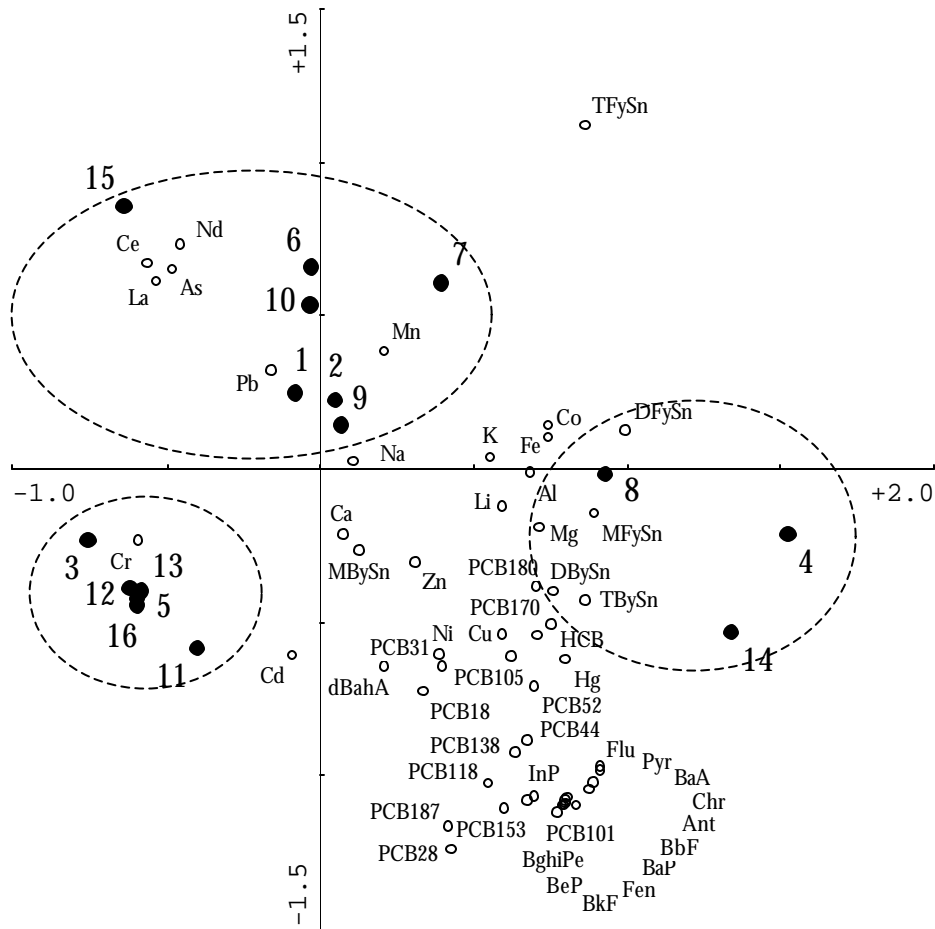
De monsterpunten Delfzijl Zeehavenkanaal (4), Terschelling Haven (14) en Harlingen Haven (8) hebben, omdat zij allen aan de andere kant van de as geplaatst zijn vergeleken met de kwaliteitsdoelstelling, hogere gehalten aan PAK's en Tinverbindingen. Voor de monsterpunten Kornwerderzand spuisluis buiten (10), Doove Balg west (6), Bocht van Wattum dijkvoet (1), Griend kwelder (7), Bocht van Wattum oost (2) en Heringsplaat noordoost (9) geldt dit in mindere mate. De plaatsing van de overige monsterpunten, rechts van de y-as, geeft geen grote overschrijding van PCB's en metalen aan t.o.v. de kwaliteitsdoelstelling.



Figuur 4 PCA biplot chemische beoordeling sedimenten samen met de kwaliteitsdoelstellingen. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het biplot geeft 48% van de totale variatie weer, de tweede 30%.

Figuur 5 geeft het PCA biplot van de sediment karakteristieken weer. Het verschil met Figuur 4 is dat de kwaliteitsdoelstellingen niet meegenomen zijn in deze analyse. Het geeft aan dat de drie haven monsterpunten (Terschelling Haven (14), Delfzijl Zeehavenkanaal (4) en Harlingen Haven(8)) de hoogste gehalten aan gechlloreerde aromatische verbindingen, PAK's en tinverbindingen bevatten en de monsterpunten Dantziggat zuid (3), Richel (12), Zuid Oost Lauwers oost (16), Den Oever spuisluis buiten (5), Rottumeroog zuidoost (13) en Malzwin Zuidwal (11), de laagste. Het monster genomen bij Zoutkamperlaag (15) bevat relatief de hoogste gehalten van de metalen Cerium, Neodymium en Lanthaniden en het element Arseen. Het diagram geeft aan dat vooral alle verbindingen behorende tot de gechlloreerde aromatische verbindingen en PAK's erg coëxistent zijn. Dit geldt in mindere mate voor de tinverbindingen en niet voor de elementen.

Het diagram geeft grofweg dus hoge waarden aan voor gechlloreerde aromatische verbindingen, PAK's en tinverbindingen in de drie haven monsters (rechter cluster), relatieve lage waarden voor de monsters genomen bij de waddeneilanden en Noord-Holland (linker cluster) en tussenliggende waarden voor de monsters genomen midden in de waddenzee en het Eems-Dollard kanaal.

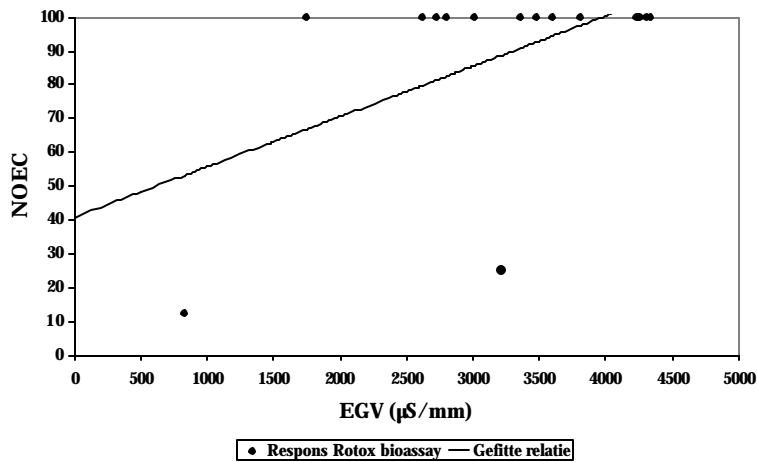


Figuur 5 PCA biplot chemische beoordeling sedimenten. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het biplot geeft 48% van de totale variatie weer, de tweede 21%. De omcirkelde clusters zijn gebaseerd op visuele observatie en niet op een formele grond.

## 2.2.2 Biologische beoordeling

### 2.2.2.1 Analyse van de testomstandigheden

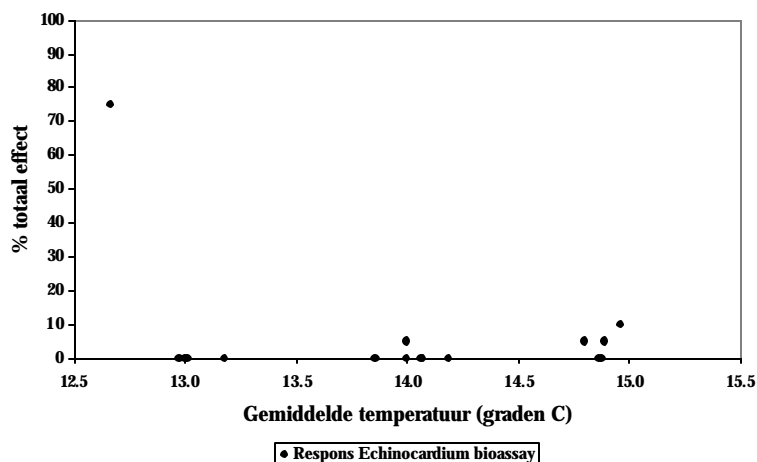
Bij de Rotox bioassay bleek een significante relatie te bestaan tussen een van de testomstandigheden en de bioassay respons ( $p < 0.05$ ; elektrisch geleidingsvermogen; Figuur 6).



Figuur 6 Relatie tussen elektrisch geleidingsvermogen en respons Rotox bioassay

Uit Figuur 6 blijkt echter dat er geen sterk lineair verband bestaat ( $r^2 = 23\%$ ) tussen de respons van de bioassay en het elektrisch geleidingsvermogen. Wel is de meting op monsterpunt 5, Den Oever Spuisluis buiten, zowel extreem wat betreft respons (NOEC = 12.5) als EGV (830  $\mu\text{S}/\text{mm}$ ). De EGV gemeten in deze bioassay is daarentegen veel hoger dan het minimum dat als randvoorwaarde voor deze bioassay is opgesteld (130  $\mu\text{S}/\text{mm}$ ; Schipper et al., 1999c). Daarom zijn de resultaten van deze bioassay toch meegenomen in de verdere analyses. Voor alle andere bioassays bleek geen significant verband tussen de respons en de testomstandigheden.

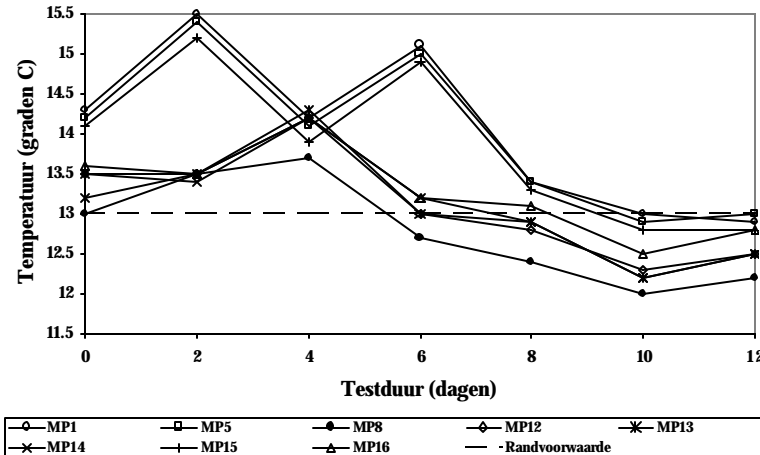
Uit de visuele analyse van de plots waarin de testomstandigheden en bioassayresponsen zijn weergegeven blijkt dat voor de *Echinocardium* bioassay een extreme bioassay respons waargenomen is bij een relatief lage temperatuur (Figuur 7).



Figuur 7 Relatie tussen temperatuur en respons *Echinocardium* bioassay

Het hoogste totale effect en laagste gemiddelde temperatuur werd waargenomen op monsterpunt 8, Harlingen haven. De temperatuur is tijdens de bioassay zeven maal

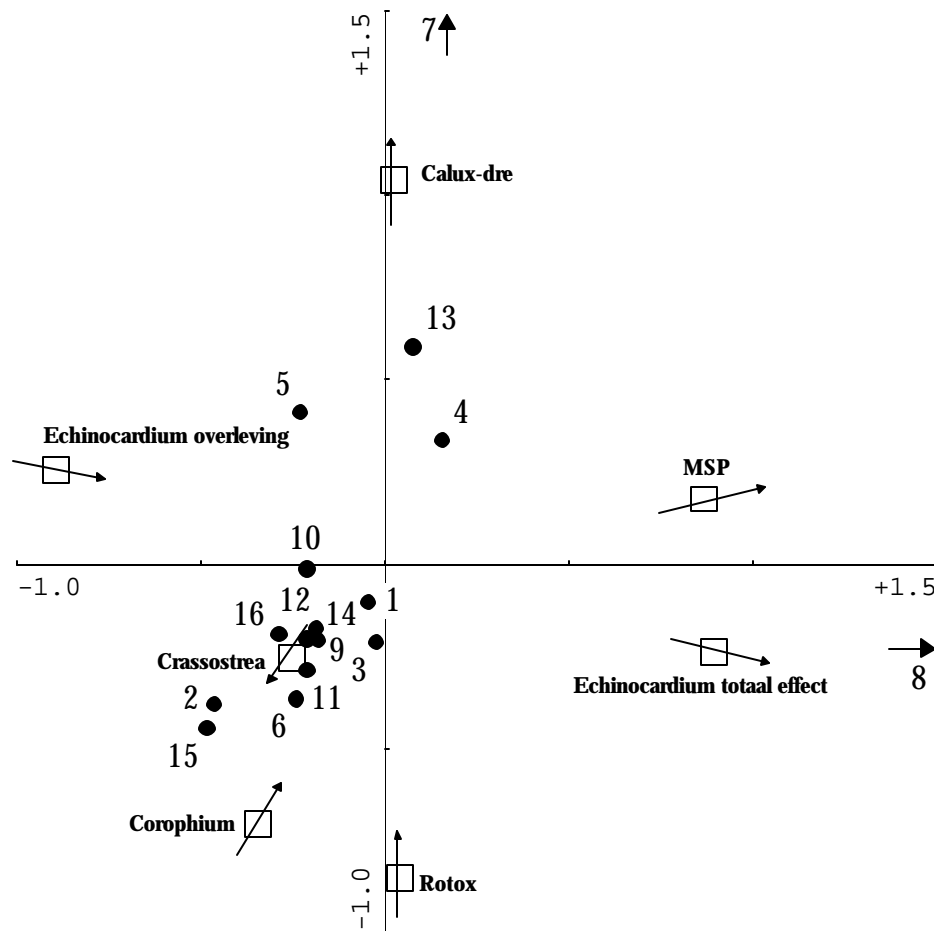
gemeten en als de individuele metingen weergegeven worden blijkt dat de bioassay op plek 8 gedurende bijna de gehele test periode bij de laagste temperatuur is uitgevoerd (Figuur 8). Tevens blijkt dat deze, en ook andere, bioassays gedurende de testperiode niet altijd voldoen aan de randvoorwaarden zoals gesteld voor deze bioassay (Schipper et al., 1999c). Zij stellen namelijk dat de temperatuur tussen de 13 en de 17 °C moet liggen. Omdat de onderschrijding van de temperatuur maar klein en tijdelijk van aard was, zijn de resultaten van deze bioassay toch meegenomen in de verdere analyses. Voor alle andere bioassays blijken geen afwijkende waarden op te treden bij extreme testomstandigheden.



Figuur 8 Gemeten temperaturen in de *Echinocardium* bioassay. Alleen de monsterpunten waar de temperatuur gedurende de toets op een of meer momenten onder de 13 graden kwam zijn weergegeven. De stippellijn geeft de minimum randvoorwaarde volgens Schipper et al. (1999c) aan.

### 2.2.2.2 Bioassay responsen

De plaatsing van de bioassays in het PCA biplot geeft aan dat de plekken Griend kwelder (7), Rottumeroog zuidoost (13), Harlingen haven (8), Delfzijl Zeehavenkanaal (4) en Den Oever spuisluis buiten (5) over het algemeen een meer dan gemiddelde toxiciteit bezaten voor de geëvalueerde testsoorten (Figuur 9). De toxiciteitsrichting van de meeste bioassays is in het diagram namelijk van linksonder naar rechtsboven. MSP (uitgedrukt in toxic units), *Echinocardium* totaal effect (% effect) en Calux-Dre (toxiciteit equivalenten) hebben een positieve correlatie met deze monsterpunten, wat klopt met hun eenheid (hogere TU, effect en TEQ staat voor een hogere toxiciteit). De Rotox (NOEC), *Corophium* (overlevingspercentage) en *Echinocardium* overleving (% overleving) hebben een negatieve correlatie met deze monsterpunten, wat ook klopt met hun eenheid (lagere NOEC, LOEC en overlevingspercentage staat voor een hogere toxiciteit). Alleen de *Crassostrea* bioassay (percentage effect) geeft een naar onder gerichte toxiciteitgradiënt zien, alle andere een rechts en naar boven gerichte (zie pijlen in Figuur 9). De *Crassostrea* bioassay is ook het dichtst bij de oorsprong geplaatst wat betekent dat deze bioassay een kleine variatie in respons liet zien en/of dat haar informatie slecht is weergegeven in het diagram.

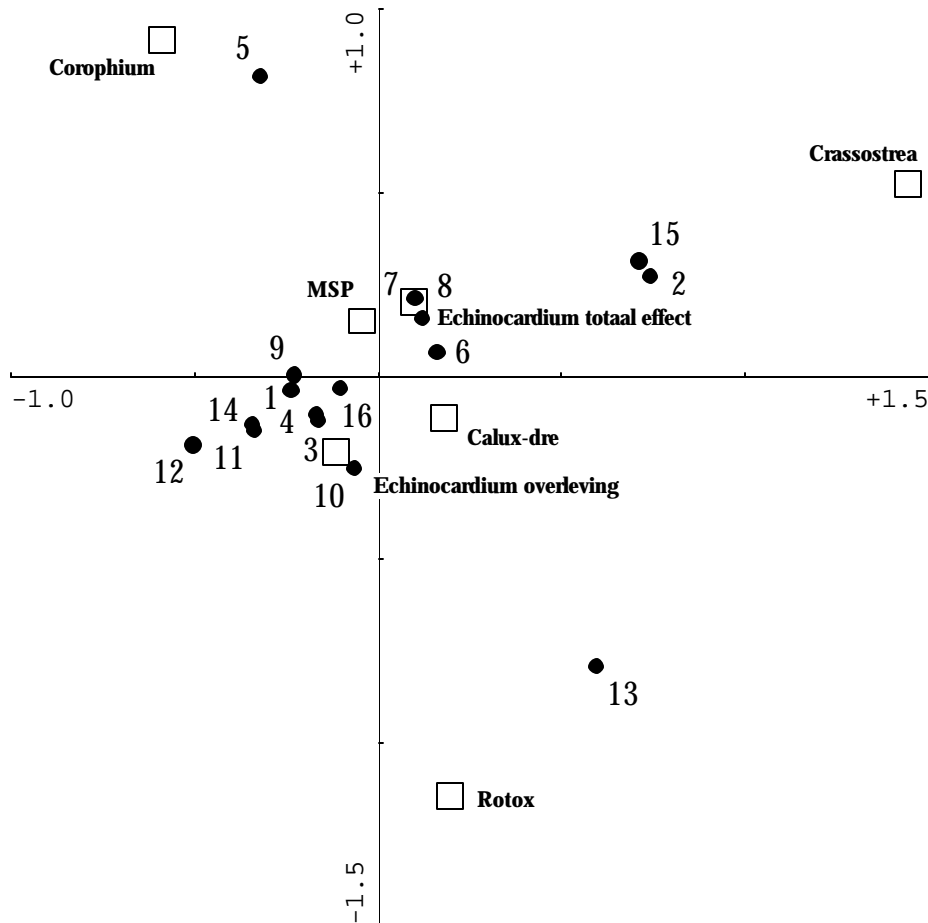


Figuur 9 PCA biplot biologische beoordeling sedimenten. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de bioassays met een open vierkantje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1. De eerste as van het biplot geeft 42% van de totale variatie weer, de tweede 26%. De dunne pijlen geven de richting van de toxiciteit voor de verschillende bioassays weer. De dikke pijlen geven aan dat het betreffende monsterpunt buiten het diagram is geplaatst.

Uit het biplot blijkt dat niet de informatie van alle bioassays weergegeven is en dat maar net tweederde (67%) van de totale variatie is weergegeven. Daarom is tevens een PCA biplot van de assen 3 en 4 gemaakt (Figuur 10). Dit diagram laat vooral de verschillen tussen de monsterpunten Zoutkamperlaag (15) en Bocht van Watum oost (2) en de andere zien. In het eerste PCA biplot is voor deze punten een lage toxiciteit aangegeven, maar in het tweede is voor de monsterpunten Zoutkamperlaag (15) en Bocht van Watum oost (2) wel degelijk een toxiciteit op basis van de *Crassostrea* bioassay aangegeven. Verder geeft het tweede diagram een relatief hoge toxiciteit voor de Rotox bioassay aan voor Den Oever spuisluis buiten (5) en een relatief hoge voor de *Corophium* bioassay voor het monsterpunt Rottumeroog zuidoost (13).

Uit de PCA analyse blijkt dus dat de monsterpunten Bocht van Watum dijkvoet (1), Dantzigat zuid (3), Doove Balg west (6), Heringsplaat noordoost (9), Kornwerderzand spuisluis buiten (10), Malzwin Zuidwal (11), Richel (12), Terschelling haven (14) en Zuid Oost Lauwers oost (16) een gemiddelde (lage) toxiciteit bezitten

voor de belangrijke bioassays, de monsterpunten Zoutkamperlaag (15) en Bocht van Watum oost (2) alleen een relatief hoge toxiciteit voor *Crassostrea* en de monsterpunten Delfzijl Zeehavenkanaal (4), Griend kwelder (7) en Harlingen haven (8) een meer dan gemiddelde toxiciteit bezitten voor alle bioassays behalve die met *Crassostrea*. De sedimenten bemonsterd op Den Oever spuisluis buiten (5) en Rottumeroog zuidoost (13) bezitten een relatief hoge toxiciteit voor de Rotox en *Corophium* bioassays, respectievelijk.



Figuur 10 PCA biplot biologische beoordeling sedimenten welke de derde en vierde as van de analyse weergeeft. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de bioassays met een open vierkantje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1. De derde as van de analyse (x-as in het biplot) geeft 14% van de totale variatie weer, de vierde (y-as) 11%.

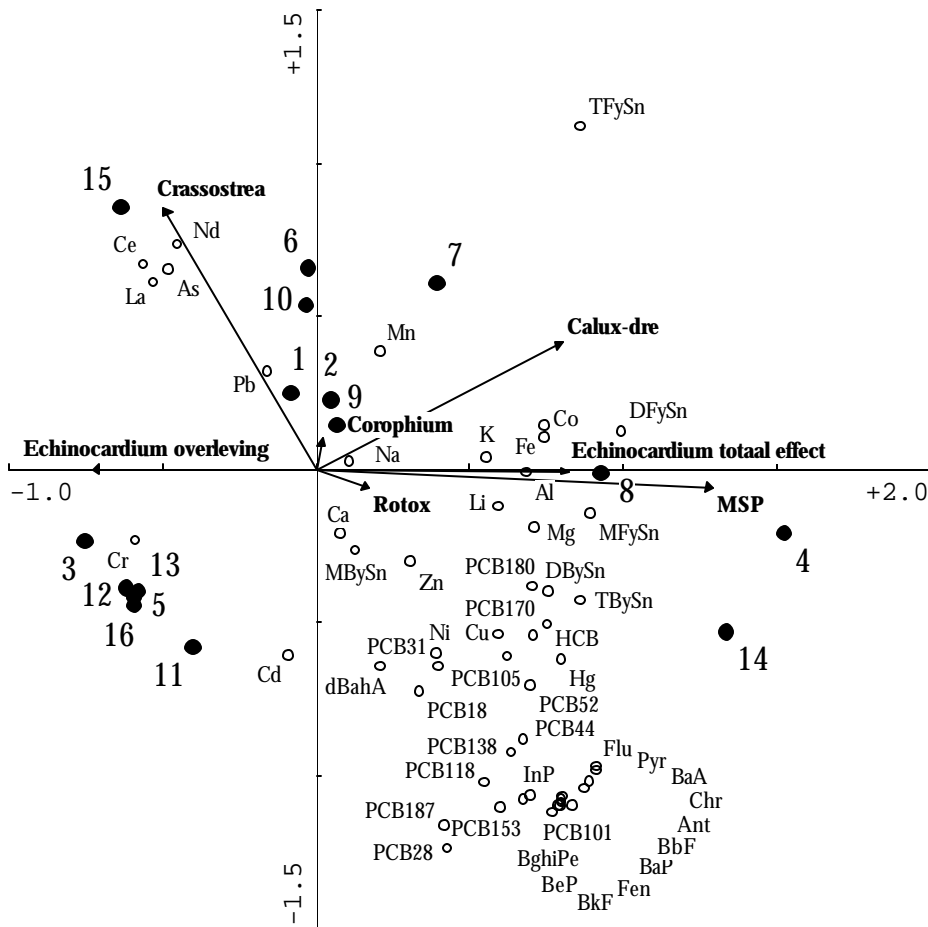
## 2.2.3 Relatie tussen chemische en biologische beoordeling

### 2.2.3.1 Alle chemische parameters

Figuur 11 geeft hetzelfde diagram als Figuur 5, alleen zijn de relaties tussen de bioassays en de monsterpunten toegevoegd. MSP, *Echinocardium* en Calux-Dre bioassays hebben een grote correlatie met de eerste as, welke voornamelijk de gradiënt in gechloreerde aromatische verbindingen, PAK's en tinverbindingen



weergeeft. De *Crassostrea* bioassay heeft een grote correlatie met toenemende waarden van de metalen Cerium, Neodymium en Lanthaniden en het element Arseen. De bioassays *Corophium* en *Rotox* hebben maar een lage correlatie met de vervuilinggradiënt als weergegeven in het triplot.



Figuur 11 PCA triplot chemische en biologische beoordeling sedimenten. De resultaten van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 48% van de totale variatie weer en 46% van de variatie verklaard door de bioassays. Voor de tweede as bedragen deze waarden beide 21%. De bioassay resultaten verklaren 58% van de totale variatie in gehalten aan chemische parameters.

Tabel 2 geeft een samenvatting van de RDA analyses en permutatietoetsen uitgevoerd op de totale dataset en op deel datasets. De bioassay MSP verklaart een significant (17%;  $P = 0.041$ ) deel van het vervuilingsspectrum als geheel. Uit de analyses van de deel datasets blijkt dat deze bioassay, samen met de Calux-Dre en *Echinocardium* bioassays, een (zwak) significante correlatie heeft met de niveaus van tinverbindingen in de sedimenten. De andere stofgroepen vertonen geen (gechloreerde aromatische verbindingen) of zwak significante (elementen, PAK's) relaties met bioassays.

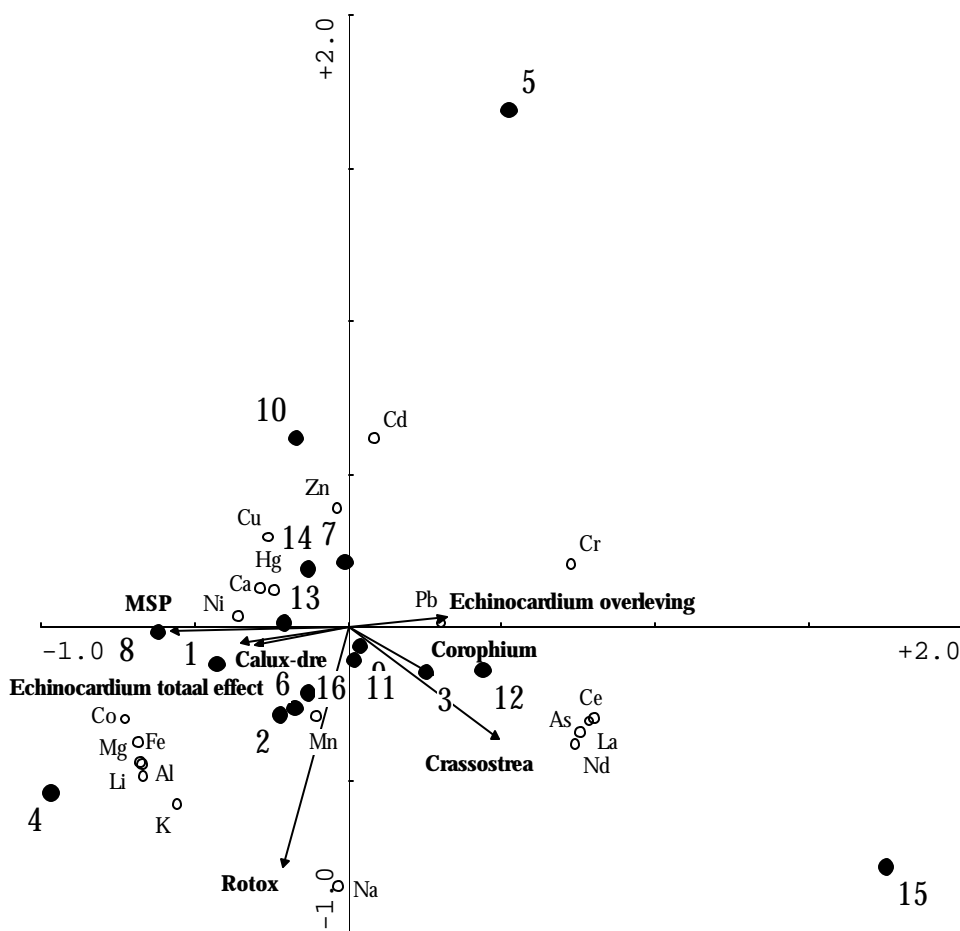
Tabel 2 Resultaten RDA analyses en permutatietoetsen (respectievelijk in percentage verklaarde variatie en P-waarden) van relaties tussen de uitslag van de bioassays en de chemische metingen. Deze analyses zijn voor de chemische parameters als totaal uitgevoerd en per stofgroep (elementen, PAK's, gechloteerde aromatische verbindingen en tinverbindingen).

		Calux-Dre	Coroph	Crasso	MSP	Echin OL	Echin TE	Rotox
<b>Alle stoffen</b>	% verkl.	12	2	10	17	10	10	4
	P-waarde	> 0.10	> 0.10	> 0.10	<u>0.041</u>	> 0.10	> 0.10	> 0.10
<b>Elementen</b>	% verkl.	7	8	11	9	5	4	16
	P-waarde	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10	0.058
<b>PAK's</b>	% verkl.	1	0	21	16	7	6	2
	P-waarde	> 0.10	> 0.10	0.074	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10
<b>PCB's + HCB</b>	% verkl.	5	2	12	6	3	4	2
	P-waarde	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10	> 0.10
<b>Tinverbindingen</b>	% verkl.	18	2	5	24	16	14	4
	P-waarde	<u>0.045</u>	> 0.10	> 0.10	<u>0.013</u>	0.062	> 0.10	> 0.10

### 2.2.3.2 De elementen

Figuur 12 geeft het triplot weer van de PCA analyse op basis van alleen de elementgegevens. De monsterpunten Delfzijl Zeehavenkanaal (4), Den Oever spuisluis buiten (5) en Zoutkamperlaag (15) zijn het meest extreem geplaatst in het figuur. Het monsterpunt Delfzijl Zeehavenkanaal (4) wordt gekenmerkt door relatief hoge concentraties van Kobalt, Magnesium, IJzer, Lithium, Aluminium en Kalium, Zoutkamperlaag (15) door relatief hoge concentraties van Cesium, Lanthaniden, Neodymium en Arseen en monsterpunt Den Oever spuisluis buiten (5) door een relatief hoge concentratie Cadmium en een lage voor Natrium. De rest van de monsterpunten zijn in het midden geplaatst wat aangeeft dat zij minder extreme waarden van deze elementen bevatten. De verschillen in concentraties zijn niet te verklaren met de geografische ligging of de menselijke beïnvloeding van de monsterpunten.

De bioassay Rotox, waarvan de respons zwak significant gerelateerd is aan de totale variatie in gehalten van elementen ( $p = 0.058$ , Tabel 2) wijst negatief in de richting van Cadmium en Zink. Gezien de aard van de effectparameter (NOEC) bij Rotox komt dit neer op een positieve relatie tussen concentratie Cadmium en Zink en de gemeten toxiciteit van de monsters. *Crassostrea* en MSP bioassays verklaren respectievelijk 11 en 9% van de totale variatie (Tabel 2). De *Crassostrea* bioassay heeft een positieve correlatie met enkele elementen, wat ook al besproken is in paragraaf 2.2.3.1. De MSP bioassay heeft een negatieve correlatie met de eerste as (Figuur 12). Een duidelijke relatie lijkt niet te bestaan met de gehalten aan elementen, en het percentage verklaarde variatie is ook niet significant voor deze bioassay (Tabel 2). De andere bioassays verklaren een zeer laag percentage van de variatie in elementgehalten (4 tot 8%; tabel 2).



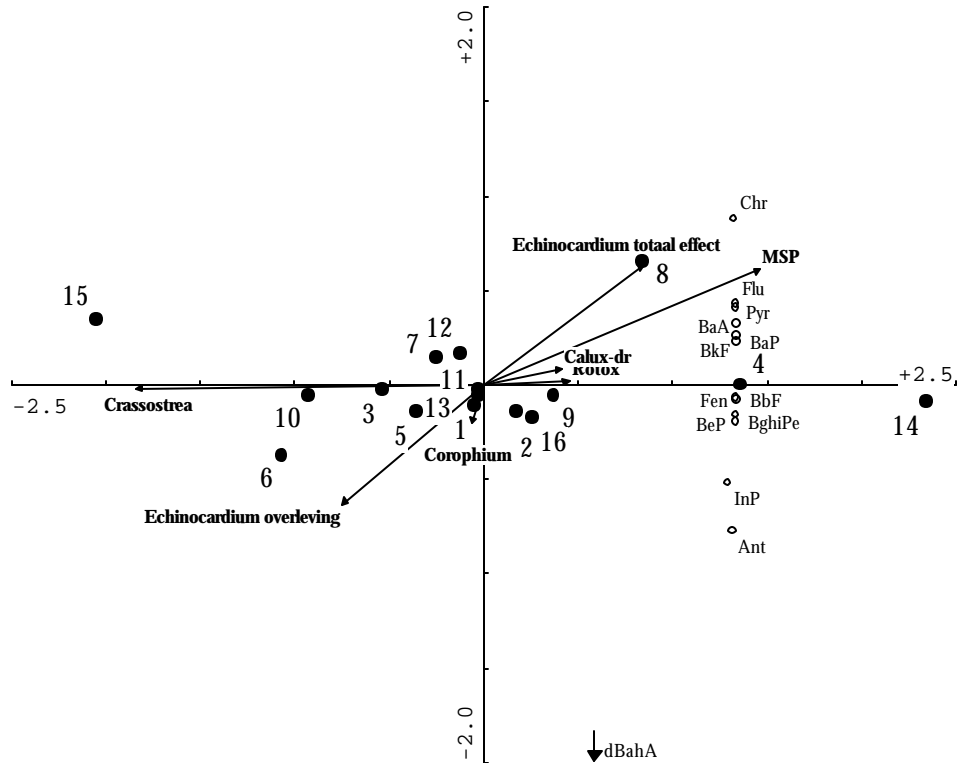
Figuur 12 PCA triplot chemische en biologische beoordeling sedimenten, waarin alleen de elementen opgenomen zijn. De resultaten van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 33% van de totale variatie weer en 28% van de variatie verklaard door de bioassays. Voor de tweede as bedragen deze waarden respectievelijk 28 en 38%. De bioassay resultaten verklaren 59% van de totale variatie in gehalten aan chemische parameters.

### 2.2.3.3 PAK's

De verdeling van de PAK's over de monsterpunten is ongeveer dezelfde als weergegeven in Figuur 5 (Figuur 13). Alle PAK's (op Dibenzo(ah)anthraceen na) zijn zeer colineair met elkaar, hetgeen blijkt uit het feit dat bijna alle variatie (93%) in PAK concentraties weergegeven is op de eerste as. De haven monsterpunten (4, 8 en 14) bevatten relatief hoge concentraties van de PAK's, Zoutkamperlaag (15) relatief lage. Dibenzo(ah)anthraceen heeft een geheel ander distributiepatroon met een relatief lage waarde in het monsterpunt Harlingen haven (8) en gemiddelde waarden in de rest van de monsterpunten.

De gedetailleerde analyse van de PAK gegevens laat een sterke positieve, doch niet significante, correlatie tussen de MSP bioassay en de PAK concentraties zien (Figuur

13; Tabel 2). Dit geldt in mindere mate ook voor de *Echinocardium* bioassay. Voor de *Crassostrea* bioassay wordt een negatieve relatie aangegeven met de PAK's, wat betekent dat het percentage effect toeneemt bij afnemende concentraties (Figuur 13). De andere bioassays verklaren een zeer laag percentage van de variatie in elementgehalten (0 tot 2%; tabel 2).



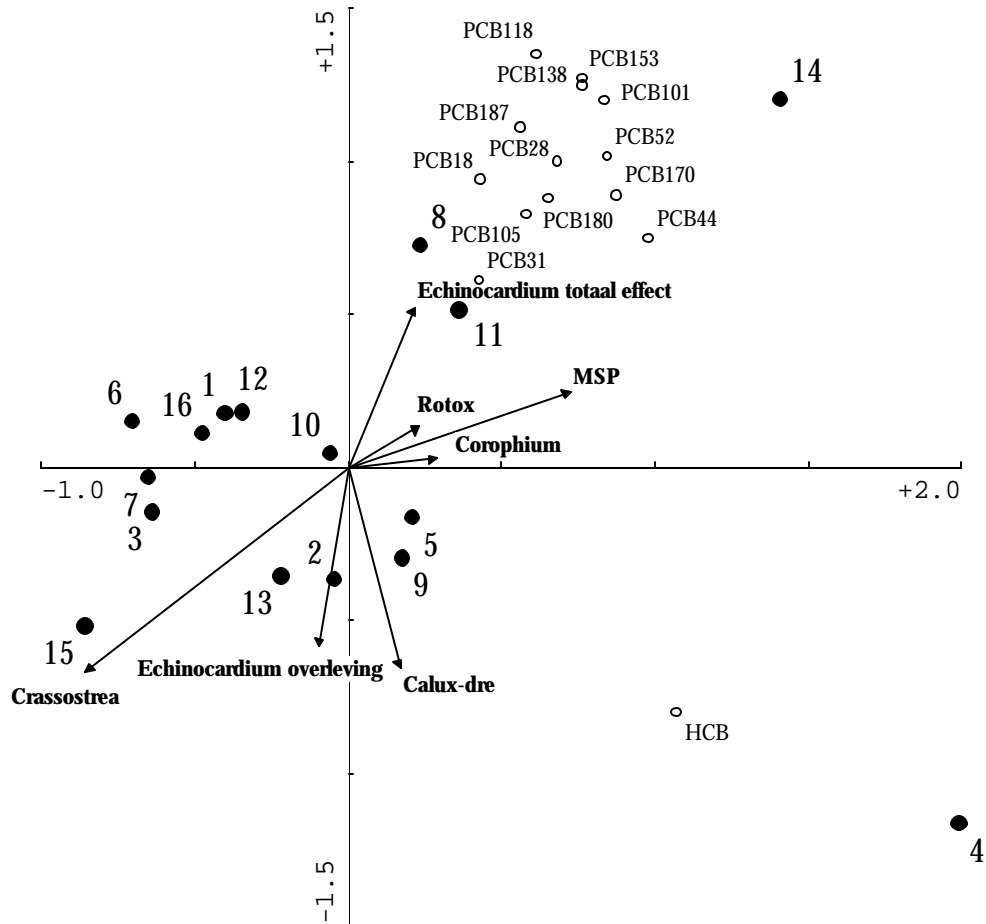
Figuur 13 PCA triplot chemische en biologische beoordeling sedimenten, waarin alleen de PAK's opgenomen zijn. De resultaten van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 93% van de totale variatie weer en 91% van de variatie verklaard door de bioassays. Voor de tweede as bedragen deze waarden respectievelijk 5 en 7%. De bioassay resultaten verklaren 40% van de totale variatie in gehalten aan chemische parameters.

#### 2.2.3.4 Gechloreerde aromatische verbindingen

Figuur 14 geeft het PCA biplot van de PCB analyse weer. In tegenstelling tot wat Figuur 5 aangeeft blijken de monsterpunten Terschelling haven (14) en Delfzijl Zeehavenkanaal (4) wel degelijk te verschillen wat betreft gehalten aan gechloreerde aromatische verbindingen. Alle PCB congenenaren zijn coëxistent met elkaar en komen in relatief hoge gehalten voor in zowel Delfzijl Zeehavenkanaal (4) en Terschelling haven (14), maar de PCB's komen duidelijk in hogere gehalten voor in Terschelling haven (14) terwijl HCB in een hoger gehalte voorkomt in het sediment van Delfzijl (4). De PCB's komen, in tegenstelling tot Zoutkamperlaag (15), ook in relatief hoge gehalten voor in de sedimenten van Harlingen haven (8) en Malzwin Zuidwal (11).

Alle PCB's komen in relatief lage gehalten voor in de sedimenten van de monsterpunten Doove Balg west (6), Griend kwelder (7) en Dantziggat zuid (3).

Geen enkele bioassay heeft een sterke relatie met de PCB gehalten van de sedimenten (Figuur 14). De *Crassostrea* bioassay verklaard het hoogste percentage van de totale variatie maar de toxiciteitrichting is, net als in het geval van de PAK's, negatief gecorreleerd met de gehalten. De MSP en *Echinocardium* bioassays hebben een zwakke correlatie met de byfenyl-congeneren en de Calux-Dre bioassay met HCB niveaus.



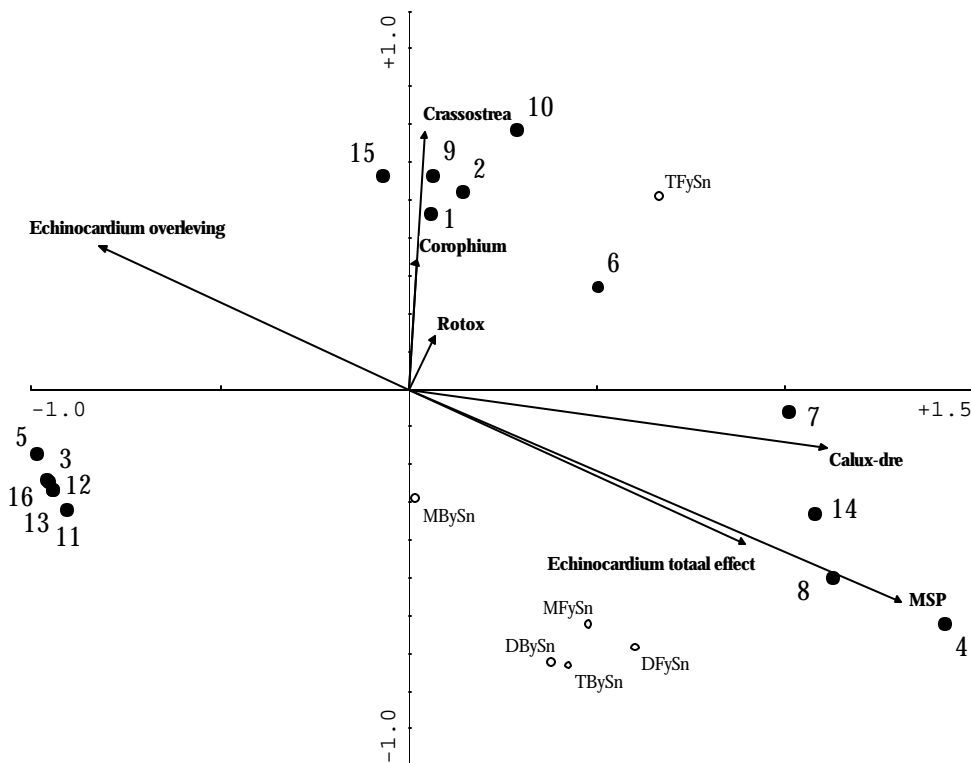
Figuur 14 PCA triplot chemische en biologische beoordeling sedimenten, waarin alleen de gechlorideerde aromatische verbindingen opgenomen zijn. De resultaten van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 55% van de totale variatie weer en 57% van de variatie verklaard door de bioassays. Voor de tweede as bedragen deze waarden respectievelijk 27 en 32%. De bioassay resultaten verklaren 59% van de totale variatie in gehalten aan chemische parameters.

### 2.2.3.5 Tinverbindingen

De eerste as van het biplot van de tinverbindingen verklaart 70% van de totale variatie en de tweede 18% wat aangeeft dat de eerste as veel belangrijker is bij de interpretatie

(Figuur 15). De eerste as geeft vooral weer welke monsters hoge, middelbare en lage gehalten aan tinverbindingen bevatten, de tweede legt vooral een scheiding in voorkomen tussen Trifenyltin en de andere tinverbindingen aan. Als verwacht bevatten de sedimenten van de havens (4, 8 en 14) relatief hoge concentraties tinverbindingen. De gehalten op Griend kwelder (7) en Doove Balg west (6) zijn ook relatief hoog, de gehalten op Den Oever spuisluis buiten (5), Malzwin Zuidwal (11), Richel (12), Dantziggat zuid (3), Rottumeroog zuidoost (13) en Zuid Oost Lauwers oost (16) relatief laag. De andere monsters bevatten middelbare waarden.

De respons van de MSP, *Echinocardium* en Calux-Dre bioassays hebben een significante relatie met de gehalten aan tinverbindingen (Figuur 15, Tabel 2). Deze bioassays zijn sterk gecorreleerd met de monsterpunten Griend Kwelder (7), Terschelling haven (14), Harlingen haven (8) en/of Delfzijl Zeehavenkanaal (4) en verklaren een significant (Tabel 2) deel van de variatie in gehalten van deze stoffen tussen de verschillende monsterpunten.



Figuur 15 PCA triplot chemische en biologische beoordeling sedimenten, waarin alleen de tinverbindingen opgenomen zijn. De resultaten van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de monsternummers zie onderschrift Figuur 1, voor verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 70% van de totale variatie weer en 67% van de variatie verklaard door de bioassays. Voor de tweede as bedragen deze waarden respectievelijk 18 en 16%. De bioassay resultaten verklaren 62% van de totale variatie in gehalten aan chemische parameters.

### **3 Survey van het Zeehavenkanaal**

#### **3.1 Materiaal en methoden**

##### **3.1.1 Monsterpunten en chemische en biologische beoordeling**

In zeven vakken van het Zeehavenkanaal zijn in mei 1999 sedimentmonsters genomen. De monsters zijn genomen in de haven van Delfzijl, waarbij vak 1 het dichtst bij de stad lag en vak 7 het verst weg. Voor vak 5 staat een fabriek van AKZO Zout Chemie welke in het verleden (1969-1986) verschillende bijproducten, waaronder hexachloorbezen (HCB) geloosd heeft in het Zeehavenkanaal. In 1994 is het sediment in het kanaal gesaneerd door vervuild slib te verwijderen (Kater et al., 2000). De taluten zijn hierbij overgeslagen en deze zijn, doordat zij uitzakken, nog steeds een kleine bron van HCB (Eggens en Bakker, 2000).

De sedimentmonsters zijn geanalyseerd op dezelfde stoffen als in de Waddensurvey (zie paragraaf 2.1.2) en de resultaten zijn weergegeven in Aanhangsel 7. Voor de analyses zijn ongestandaardiseerde sedimentgegevens gebruikt daar geen gegevens gebaseerd op droge stof, beschikbaar zijn. Er zijn 3 bioassays uitgevoerd op deze sedimenten. Twee (MSP en *Nereis virens*) die in eerdere metingen aan sedimenten van het Zeehavenkanaal een respons vertoonden en een die dat niet deed (*Corophium volutator*) als positieve controle (Kater et al., 2000).

De bioassay uitgevoerd met *Nereis virens* (zagers) heeft een duur van 28 dagen met overleving en groei (op basis van natgewicht) als eindpunten (Kater en Hannewijk, 2000). De resultaten van de bioassays zijn gegeven in Aanhangsel 8. De heersende testomstandigheden die getoetst zijn aan de randvoorwaarden (zie ook paragraaf 2.1.4) zijn vermeld in Aanhangsel 5. Alleen voor de *Nereis virens* en *Corophium* bioassays zijn testomstandigheden gemeten.

Om de bioaccumulatie van verschillende verbindingen in *Nereis virens* te bepalen, zijn ook gehalten van verschillende gechloreerde aromatische verbindingen, PAK's, tinverbindingen en kwik aan het eind van de bioassay in de organismen bepaald (Aanhangsel 9).

##### **3.1.2 Analyse van de testomstandigheden**

De analyse van resultaten van bioassays en testomstandigheden (randvoorwaarden) is op dezelfde manier uitgevoerd als beschreven voor de Waddensurvey (paragraaf 2.1.4).

### **3.1.3 Multivariate analyse chemische en biologische beoordeling van zeesedimenten van de survey van het Zeehavenkanaal**

De multivariate analyse van de sedimentgegevens en de koppeling met bioassays komt qua methode overeen met die voor de Waddensurvey (paragraaf 2.1.5.). Eerst is een PCA analyse uitgevoerd op de chemische parameters samen met de kwaliteitsdoelstellingen. Ook is een analyse uitgevoerd van alleen de sedimentgegevens met de bioassaygegevens als passieve verklarende variabelen. Daarnaast zijn de percentages van de totale variatie in chemische parameters die de verschillende bioassays verklaren en hun significantie bepaald met behulp van RDA (zie paragrafen 1.3 en 2.1.5 voor een uitgebreidere uitleg).

### **3.1.4 Analyse bioaccumulatie**

De bioaccumulatiegegevens zijn op een identieke manier als de bioassaygegevens aan de sedimentgegevens gekoppeld. Eerst is een PCA uitgevoerd met de sediment parameters die zowel in het sediment als in de biota zijn gemeten. Hierna zijn de bioaccumulatie gegevens als passieve verklarende variabelen toegevoegd. Hiervoor zijn zij op dezelfde wijze getransformeerd als beschreven in paragraaf 2.1.5.

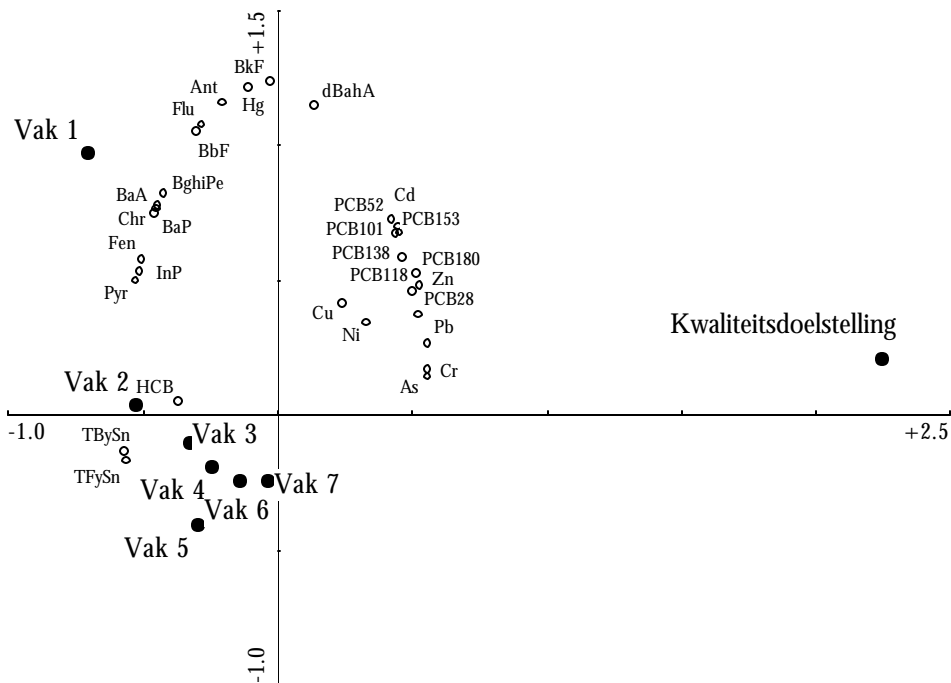
Deze gegevens zijn tevens univariaat geanalyseerd. Wanneer afbraak en toxiciteit buiten beschouwing worden gelaten mag verwacht worden dat er een vaste verhouding bestaat tussen de gehalten in het sediment en de biota (zagers). Wanneer er evenwicht bereikt wordt zal deze verdelingsfactor constant in de tijd worden. Het is echter zeer de vraag of de bioassay lang genoeg geduurd heeft om voor al deze stoffen evenwicht te bereiken tussen sediment en biota. Per definitie moet deze relatie in de oorsprong beginnen (gehalten in sediment en biota is nul). De relatie  $y = bx$  is daarom getoetst, waarin  $y$  het gehalte in de biota weergeeft en  $x$  de sedimentconcentratie. Daar de range in sedimentgehalten in vele gevallen erg klein was leverde deze relatie vaak een significante  $b$  parameter op bij de gratie dat de relatie door de oorsprong moet lopen. Om een beter beeld te krijgen van de loop van de relatie binnen het bereik van de gemeten gehalten in de sedimenten is tevens de relatie  $y = a + bx$  getoetst. De resultaten van deze analyses geven aan of de gehalten in de biota in feite constant zijn binnen het bereik dat in de sedimenten gemeten is of dat wel degelijk de gehalten toe of afnemen. Indien de parameter  $a$  wel en  $b$  niet significant is, mag verondersteld worden dat de gehalten tussen de vakken niet echt verschillen. De gebruikte data zijn weergegeven in Aanhangsel 9.

## **3.2 Resultaten**

### **3.2.1 Chemische beoordeling**

Figuur 16 geeft de resultaten weer van de analyse van de sedimentgegevens samen met de kwaliteitsdoelstellingen. Het geeft aan dat de sedimenten van alle vakken de kwaliteitsdoelstellingen ten aanzien van tinverbindingen, HCB en PAK's overschrijden, dit geldt niet voor de PCB's en de metalen.





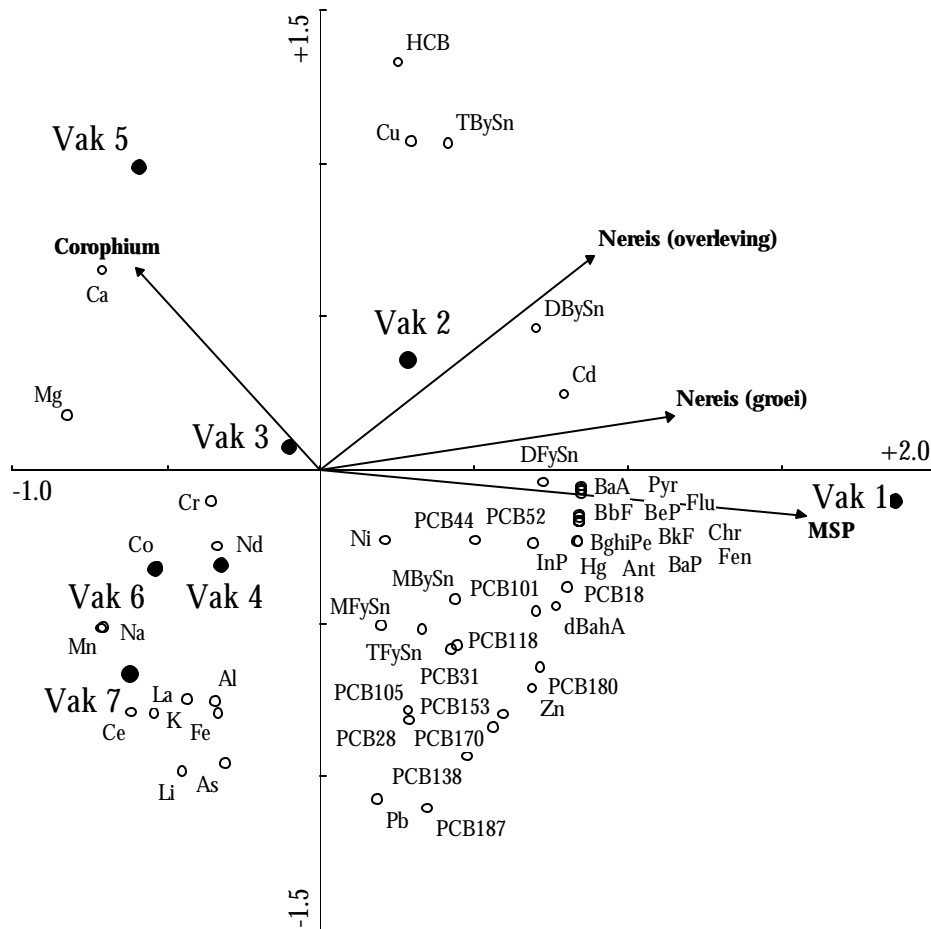
Figuur 16 PCA biplot chemische beoordeling sedimenten Zeehavenkanaal samen met de kwaliteitsdoelstellingen. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het biplot geeft 76% van de totale variatie weer, de tweede 16%.

Figuur 17 toont het PCA triplot van de chemische en biologische beoordeling van de sedimenten van de survey in het Zeehavenkanaal. Duidelijk is dat de chemische gradiënt dominant is en van rechtsmidden naar linksonder loopt, vak 1 is uiterst rechts geplaatst, de vakken 5 tot en met 7 links en de anderen ertussenin. Alleen vak 5 correspondeert niet met een vloeiende lijn door de opeenvolgende punten. Het monsterpunt dat het dichtst bij de stad ligt (vak 1) correspondeert met relatief hoge waarden aan alle PAK's, enkele PCB's, dibutyl en difenyl tinverbindingen en enkele metalen (kwik en cadmium). Vak 7 correspondeert met relatief lage waarden. De tweede as geeft vooral de variatie in HCB, koper, Tributyltin en PCB gehalten weer. Als verwacht vanuit de plaats van de HCB lozingen heeft Vak 5 een hoge affiniteit met deze as, wat een relatief hoog HCB gehalte impliceert. Vak 6 en 7 hebben een negatieve plaatsing op deze as en corresponderen dus met relatief lage waarden aan HCB, wat aangeeft dat deze vervuiling nu vooral lokaal aanwezig is. Voor deze vakken is een hoge correlatie met meerdere elementen (Cesium, Lithium etc.) aangegeven

## 3.2.2 Biologische beoordeling en haar relatie met de chemische beoordeling

### 3.2.2.1 Analyse van de testomstandigheden

De parameter b van de lineaire relatie  $y = a + bx$  is in geen van de gevallen significant. Tevens laat een visuele inspectie van de data geen koppeling van een extreme bioassay met een extreme testomstandigheid zien. De resultaten van alle bioassays zijn daarom gebruikt in de analyses.



Figuur 17 PCA triplot chemische en biologische beoordeling sedimenten van het Zeehavenkanaal. De resultaten van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 67% van de totale variatie weer en 70% van de variatie verklaard door de bioassays. Voor de tweede as bedragen deze waarden zijn in beide gevallen 25% voor de tweede as.

### 3.2.2.2 Relatie tussen chemische en biologische beoordeling

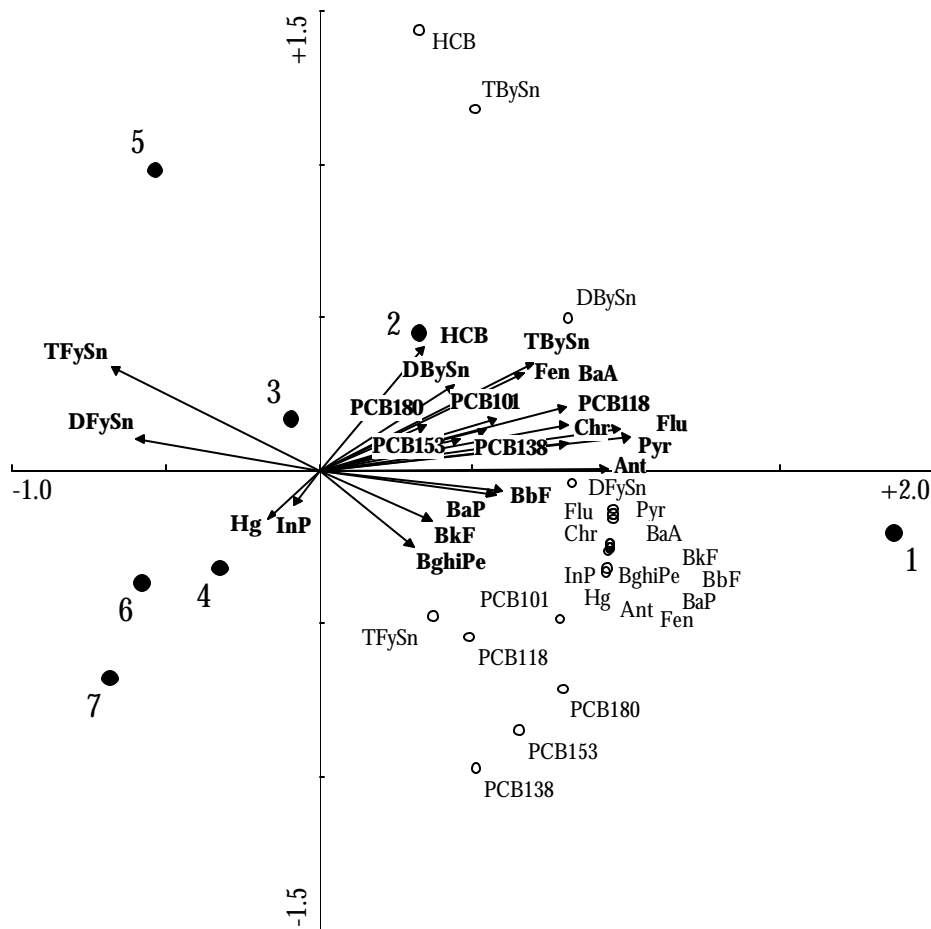
De uitslag van de MSP bioassay ( $P = 0.002$ ; Monte Carlo permutatietoets) en de groei van *Nereis* ( $P > 0.10$ ) in de bioassay hebben een hoge correlatie met de eerste as (vooral PAK verbindingen). Er dient te worden opgemerkt dat de toxiciteitsrichting van MSP en de *Corophium* bioassay van links naar recht loopt (een hogere uitslag impliceert een hogere toxiciteit) en die van de *Nereis* bioassay van rechts naar links (een lagere overlevingspercentage impliceert een hogere toxiciteit). Overleving als bepaald in de *Nereis* bioassay ( $P = 0.05$ ) heeft zowel een hoge correlatie met de eerste als de tweede as, en correleert met verhoogde gehalten van enkele elementen als bijvoorbeeld Cesium en Lithium (Figuur 17).

Nadere inspectie van de basisdata als gegeven in Aanhangsel 8 geeft aan dat de overleving van zowel *Corophium* ( $P > 0.10$ ) en *Nereis* nauwelijks tussen de vakken verschilde (geen sterfte groter dan 13%). De groei van *Nereis* en de uitslag van de MSP bioassay was het grootste in Vak 1, wat hun correlatie met de eerste as van het triplot verklaart.

### 3.2.3 Relatie chemische beoordeling sedimenten en bioaccumulatie in biota

Figuur 18 geeft het triplot weer van de PCA analyse waarin de bioaccumulatiegegevens als passieve verklarende variabelen zijn gebruikt. Van de chemische sediment parameters zijn alleen degenen die ook in de biota gemeten zijn in de analyse meegenomen. We zien dat deze beperking van het aantal parameters geen invloed heeft gehad op de rangschikking van de monsterpunten (vergelijk plaatsing monsterpunten Figuur 18 met 17). Daar het aantal gemeten chemische parameters in de sedimenten en de biota dezelfde zijn, wordt per definitie 100% van de variatie in de gehalten van de verbindingen in de sedimenten door de verklarende variabelen (gehalten van de verbindingen in de zagers) verklaard.

De niveaus van PAK's in de sedimenten en biota correleren over het algemeen sterk met elkaar (vergelijk plaatsing pijlen met punten). Voor PCB's is deze correlatie wat lager. Al wijzen de pijlen van de PCB niveaus in de biota niet direct naar de punten van de sediment parameters, ze wijzen wel naar rechts en de PCB metingen in het sediment zijn ook rechts van de oorsprong geplaatst. Voor enkele tinverbindingen geldt dat ze een sterke positieve correlatie vertonen met gehalten in sediment en biota (butyltin-verbindingen). Voor enkele andere tinverbindingen wordt echter, verbazingwekkend, een negatieve (fenyltin-verbindingen) correlatie gevonden.



Figuur 18 PCA triplot chemische beordeling sedimenten van het Zeehavenkanaal. De bioaccumulatie gegevens van de bioassays zijn als passieve verklarende variabelen ingevoerd. De monsterpunten zijn weergegeven met een gesloten rondje, de chemische parameters met een open rondje. Voor de verklaring van de afkortingen van de chemische parameters wordt verwezen naar Aanhangsel 1. De eerste as van het triplot geeft 69% van de totale variatie weer, de tweede 28%.

Tabel 3 geeft een samenvatting van de resultaten van de univariate analyses. Voor HCB, enkele PAK's (Ant, Flu, Pyr, BaA en Chr) en TriButylTin is aangegeven dat de gehalten significant toenemen in de biota binnen de range van de gemeten gehalten in de sedimenten. Voor PCB's is aangegeven dat deze wel gemeten zijn in de biota, maar in alle vakken in ongeveer even grote gehalten. Voor andere parameters (enkele PAK's, tinverbindingen en Hg) is een (zeer) zwakke relatie gevonden.

Tabel 3: Resultaten univariate analyses gehalten in de sedimenten en de biota.

x geeft aan dat deze parameter significant was ( $P < 0.05$ ).

\* geeft aan dat de residuele variatie de verklaarde variatie overtrof.

	$y = a + bx$			$y = bx$	
	a	b	$r^2$	b	$r^2$
<b>HCB</b>		x	80	x	79
<b>PCB101</b>	x	x	51	x	*
<b>PCB118</b>	x		47	x	*
<b>PCB138</b>	x		16	x	*
<b>PCB153</b>	x		17	x	*
<b>PCB180</b>	x		*	x	*
<b>Fen</b>			29	x	32
<b>Ant</b>		x	84	x	86
<b>Flu</b>		x	80	x	77
<b>Pyr</b>		x	93	x	89
<b>BaA</b>		x	72	x	74
<b>Chr</b>		x	71	x	71
<b>BbF</b>			9	x	8
<b>BkF</b>			*	x	*
<b>BaP</b>			25	x	35
<b>BghiPe</b>			*	x	*
<b>InP</b>			*	x	*
<b>TBySn</b>		x	73	x	66
<b>DBySn</b>			40	x	50
<b>DFySn</b>	x		*	x	*
<b>TFySn</b>			*	x	*
<b>Hg</b>			*		*



## 4 Discussie en conclusies

### 4.1 Waddensurvey

#### 4.1.1 Relatie chemische en biologische beoordeling

Uit de multivariate analyse van de sedimentgegevens van de Waddensurvey komt voor de elementen een variabel beeld naar boven. De gehalten aan PAK's en tinverbindingen waren relatief hoog in alle havenmonsters. De niveaus van de PCB congenen waren het hoogste in het sediment van Terschelling haven en het niveau van HCB in Delfzijl Zeehavenkanaal. Het valt op dat de bioassays een lage toxiciteit aangeven voor het sediment van Terschelling haven. Dit monsterpunt heeft daarentegen de hoogste PAK en PCB gehalten. De niveaus van deze stoffen gemeten in de Waddensurvey zijn dus blijkbaar niet toxisch. Dit terwijl de PAK's de kwaliteitsdoelstellingen in meerdere monsters overschrijden (Figuur 4).

In-vivo bioassays Rotox en *Echinocardium* geven in de Waddensurvey een extreme uitslag op één of twee monsterpunten (Rotox op Den Oever spuisluis buiten (5) en Griend Kwelder (7) en *Echinocardium* op Harlingen haven (8); Aanhangsel 4). Daardoor ontstaat het gevaar van 'gelegenhedscorrelatie', in die zin dat de resultaten van de bioassay sterk correleren met die contaminanten die ook een extreme waarde bezitten voor deze sedimenten. Het is echter zeer de vraag of de respons van de bioassays wel aan deze contaminanten gekoppeld kunnen worden. Deze bioassays bevatten daarom ook weinig informatie. De resultaten van de overige in-vivo bioassays hebben geen (*Corophium*) of een zwak (*Crassostrea*) significante relatie met het vervuilingsspectrum (Tabel 2). De in-vitro bioassays Calux-Dre en MSP hebben een significante relatie met de aanwezigheid van tinverbindingen (Tabel 2). Van alle bioassays lijken dus de MSP en Calux-Dre de hoogste relatie met de gemeten chemische variabelen te hebben. Van alle gemeten variabelen lijken de gehalten aan tinverbindingen de hoogste ecotoxicologische risico's met zich mee te brengen.

De ecotoxicologische (zie ook paragraaf 4.1.1) beoordeling op basis van chemie en biologie komt niet geheel overeen. Dit kan komen doordat bioassays zijn gebruikt die ongevoelig zijn voor een aantal stoffen (metalen, PAK's en PCB's), dat enkele belangrijke toxische verbindingen niet gemeten zijn (bijvoorbeeld minerale oliën, organochloor bestrijdingsmiddelen), er combinatietoxiciteit opgetreden is en/of dat de geëvalueerde milieugradiënt te klein was. Dit laatste geldt in ieder geval voor de elementen, PAK's en PCB's. De maximale grootte van de verhouding tussen het hoogste en het laagste gemeten waarde was 5.4 voor de elementen, 6.3 voor de PAK's en 6.4 voor de PCB's (Aanhangsel 2). Alleen HCB (190) en Tinverbindingen (74) lieten een groot verschil tussen minimum en maximumwaarden zien.

Dat relaties tussen bioassays en chemische metingen maar beperkt overeenkomen is ook gevonden door Balk (1999). Zij bevelen aan om meer stoffen te meten en/of stoffen pas te meten als een respons van een bioassay daartoe aanleiding geeft. Het

verdient de aanbeveling om op basis van de resultaten van de multivariate analyses beschreven in dit rapport nadere univariate analyses uit te voeren. Dit om te bepalen of geobserveerde toxiciteit, of het gebrek eraan, kwantitatief met behulp van de sedimentgegevens kan worden verklaard. Voor een dergelijke analyse zijn dan wel laboratorium-toxiciteitsgegevens van de afzonderlijke verbindingen nodig. Op deze wijze kan de totale toxiciteit van een sediment uitgerekend worden op basis van concentratieadditie. Hierbij worden de gemeten concentraties geschaald naar hun toxiciteit voor de desbetreffende bioassays (EC50) en worden opgeteld tot een som TU (Toxic Unit). In deze analyse kunnen ook niet-lineaire regressietechnieken gebruikt worden welke beter recht doen aan de beschrijving van de dosis-effect curve dan de hier gebruikte multivariate analyse methoden. Het blijft wel zo dat de gegevens maar een relatief kleine vervuilingsgradient bevatten en dat het aantal monsterpunten zeer beperkt is. Het verdient de aanbeveling de eerste analyses uit te voeren voor Calux-Dre en MSP waarbij de aandacht gericht wordt op hun relatie met tinverbindingen

#### **4.1.2 Welke gebieden zijn als referentiegebied bruikbaar?**

De keuze van de referentiegebieden moet op zowel de chemische als biologische beoordeling gebaseerd zijn. Dit omdat zowel chemische parameters als bioassays, welke nodig zijn voor een juiste bepaling van het actueel toxicologisch risico van de sedimenten, vergeten kunnen zijn. Relatief schoon op basis van ecotoxicologische kwaliteitsdoelstellingen en multivariate analyse van de sedimenten data set zijn de monsterpunten Zoutkamperlaag (15), Den Oever Spuisluis buiten (5), Dantziggat zuid (3), Richel (12), Zuid Oost Lauwers oost (16), Malzwin Zuidwal (11) en Rottumeroog zuidoost (13). Relatief weinig toxisch voor de verschillende bioassays waren de sedimenten van Bocht van Watum dijkvoet (1), Dantziggat zuid (3), Doove Balg west (6), Heringsplaat noordoost (9), Kornwerderzand spuisluis buiten (10), Malzwin zuidwal (11), Richel (12), Terschelling haven (14) en Zuid Oost Lauwers oost (16). Een relatief laag ecotoxicologisch risico geschat op basis van chemische en biologische beoordeling geldt dus voor Dantziggat zuid (3), Malzwin zuidwal (11), Richel (12) en Zuid Oost Lauwers oost (16). Deze monsterpunten zijn zowel qua chemische als biologische beoordeling zeer vergelijkbaar (Figuur 5 en 9)

### **4.2 Survey in het Zeehavenkanaal**

#### **4.2.1 Relatie chemische en biologische beoordeling**

De sedimenten genomen in de vakken overschrijden de kwaliteitsdoelstellingen van vooral PAK's, tinverbindingen en HCB. Tussen de vakken bestaat een duidelijke gradiënt van vak 1 t/m 7, waarbij vak 1 gekenmerkt wordt door relatief hoge PAK concentraties en vak 7 door relatief hoge metaalconcentraties (Figuur 17). Het sedimentmonster genomen in vak 5 bevatte de hoogste HCB concentraties. De verschillen in gehalten van PCB's, tinverbindingen, PAK's en elementen behalve



kwik waren tussen de vakken erg laag (factor 2 tot 5). De verschillen waren veel groter voor HCB (31) en kwik (10) (Aanhangsel 7).

De resultaten van de MSP bioassay zijn positief gecorreleerd met de gehalten aan PCB's, PAK's, tinverbindingen en kwik. De bioassays uitgevoerd met *Corophium* en *Nereis* laten wat betreft sterfte nauwelijks een respons zien (Aanhangsel 8) en de groei van *Nereis* in de bioassay was, verbazingwekkend, positief gecorreleerd met gehalten aan PCB's, PAK's, tinverbindingen en kwik.

#### **4.2.2 Bioaccumulatie van verbindingen in *Nereis virens***

Alle verbindingen hebben een positieve correlatie tussen sedimentgehalten en gehalten in organismen behalve de fenyltinverbindingen, kwik en Indeno(1,2,3cd)pyreen (InP). De univariate analyses geven aan dat voor veel verbindingen de verschillen in gehalten van de sedimenten in de vakken te klein was om verschillen in de biota te kunnen meten (PCB's, aantal PAK's, tinverbindingen). Voor HCB en een aantal PAK verbindingen is een duidelijke toename in biota gemeten over de gradiënt gemeten in de sedimenten.



## Literatuur

AquaSense, 2000. Ecotoxicologisch profiel van de slijkgarnaal *Corophium volutator*, AquaSense rapport 00.1475, Amsterdam.

Balk, F. 1999. Relatie tussen bioassays en chemische analyses. Report no. 77 of the project 'Ecological rehabilitation of the rivers Rhine and Meuse'. RIZA, Lelystad.

Braak, C.J.F. ter, 1988. CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal component analysis and redundancy analysis (version 2.1). Groep Landbouwwiskunde (DLO-GLW) rapport LWA-88-02, Wageningen.

Braak, C.J.F. ter, 1995. Ordination. In: Jongman, R.G.H., C.J.F. ter Braak en O.F.R. van Tongeren (red.), Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press, Cambridge, Engeland. pp 91-173.

Braak, C.J.F. ter en P. Šmilauer, 1998. CANOCO 4. Microcomputer Power, Ithaca, New York, Amerika.

Brink, P.J. van den en C.J.F. Ter Braak, 1998. Multivariate analysis of stress in experimental ecosystems by Principal Response Curves and similarity analysis. *Aquatic Ecology* 32: 161-178.

Brink, P.J. van den en C.J.F. ter Braak, 1999. Principal Response CURves: analysis of time-dependent multivariate responses of biological community to stress. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 138-148.

Brink, P.J. van den, J. Hattink, F. Bransen, E. Van Donk en T.C.M. Brock, 2000. Impact of the fungicide carbendazim in freshwater microcosms. II. Zooplankton, primary producers and final conclusions. *Aquatic Toxicology* 48: 251-264.

Eggens, M. en J. Bakker, 2000. Monitoring HCB-gehalten in het sediment en zwevend materiaal van het Zeehavenkanaal te Delfzijl: monitoring 1999. RIKZ rapport RIKZ/OS-2000.607x, Haren.

Kater, B. en A. Hannewijk, 2000. Protocol sedimenttesten met *Nereis virens* versie 1.2. RIKZ rapport RIKZ/OS-2000.867x, Kamperland.

Kater, B., J. Jol en A. Hannewijk, 1999. Bioassays Waddensurvey. RIKZ rapport RIKZ/OS-99.802x, Kamperland.

Kater, B., A. Hannewijk en P. Schout. 2000. Bioassays op zeven analyse vakken uit het Zeehavenkanaal. RIKZ rapport RIKZ/OS-2000.845x, Kamperland.

Kedwards, T.J., S.J. Maund en P.F. Chapman, 1999. Community-level analysis of ecotoxicological field studies: I. biological monitoring. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 149-157.

Mensink, B., 1999. Imposex in the common whelk, *Buccinum undatum*. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.

Murk, T., A. Bulder, E. Felzel, C.A. Schipper en J. Stronkhorst, 1999. Standaardvoorschrift SPECIE-07. Sediment toxiciteitstest DR-CALUX. RIKZ rapport RIKZ/AB-99.112x, Wageningen.

Oost, R. van der, E. Vindimian, P.J. van den Brink, K. Satumalay, H. Heida en N.P.E. Vermeulen, 1997. Biomonitoring aquatic pollution with federal eel (*Anguilla anguilla*) III. Statistical analyses of relationships between contaminant exposure and biomarkers. *Aquatic Toxicology* 39: 45-75.

Payne, R.W. en P.W. Lane, 1987. Genstat 5, Reference manual. Clarendon Press, Oxford, UK.

Schipper, C.A., R.M. Burgess, B. van Dikkenberg, B.J. Kater en J. Stronkhorst, 1999a. Standaardvoorschrift SPECIE-01. Sediment toxiciteitstest *Corophium volutator*. RIKZ rapport RIKZ/AB-99.106x, Middelburg.

Schipper, C.A., R.M. Burgess, M.E. Schot, B.J. Kater en J. Stronkhorst, 1999b. Standaardvoorschrift SPECIE-02. Sedimenttoxiciteitstest Microtox Solid Phase. RIKZ rapport RIKZ/AB-99.107x, Middelburg.

Schipper, C.A., R.M. Burgess, M.E. Schot, B.J. Kater en J. Stronkhorst, 1999c. Standaardvoorschrift SPECIE-03. Sediment toxiciteitstest *Echinocardium cordatum*. RIKZ rapport RIKZ/AB-99.108x, Middelburg.

Schipper, C.A., R.M. Burgess, B. van Dikkenberg, B.J. Kater en J. Stronkhorst, 1999d. Standaardvoorschrift SPECIE-05. Sediment toxiciteitstest *Crassostrea gigas*. RIKZ rapport RIKZ/AB-99.110x, Middelburg.

Schipper, C.A., R.M. Burgess, B. van Dikkenberg, B.J. Kater en J. Stronkhorst, 1999e. Standaardvoorschrift SPECIE-06. Sediment toxiciteitstest *Brachionus plicatilis*. RIKZ rapport RIKZ/AB-99.111x, Middelburg.

Sparks, T.H., W.A. Scott en R.T. Clarke, 1999. Traditional multivariate techniques: potential for use in ecotoxicology. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 128-137.

Stortelder, P.B.M., M.A. van der Gaag en L.A. van der Kooij, 1989. 'Kansen voor waterorganismen' Een ecotoxicologische onderbouwing voor kwaliteitsdoelstellingen voor water en waterbodems. RIZA rapport DWB/RIZA 89.016, Lelystad.

STOWA, 1997a. Ecotoxicologische risicobeoordeling van verontreinigde waterbodems. STOWA rapport 97-42, Utrecht.

STOWA, 1997b. Biomonitoringtechnieken voor bestrijdingsmiddelen en zware metalen in watersystemen. Deel 1: inventarisatie en selectie van geschikte technieken. STOWA rapport 97-08, Utrecht.

Straalen, N.M. van en J.A.C. Verkleij (red.), 1991. Leerboek ecotoxicologie. VU Uitgeverij, Amsterdam.

Swerts, O.C. en J.L. Maas-Diepeveen, 1999. Beoordeling van watersystemen op bio-effecten. RIZA rapport 99.068, Lelystad. RIKZ rapport 99.042, Middelburg.



## Aanhangsel 1 Gemeten parameter LOI en stoffen aan de sedimenten van de Waddensurvey en de survey in het Zeehavenkanaal

Groep	Afkorting	Volledige naam	Mol.gew.	Eenheid	
Elementen	C	Koolstof	12.0	%	
	As	Arseen	74.9	mg/kg	
	Cd	Cadmium	112.4	mg/kg	
	Cr	Chroom	52.0	mg/kg	
	Cu	Koper	63.5	mg/kg	
	Hg	Kwik	200.6	mg/kg	
	Ni	Nikkel	58.7	mg/kg	
	Pb	Lood	207.2	mg/kg	
	Zn	Zink	65.4	mg/kg	
	Al	Aluminium	27.0	g/kg	
	Fe	IJzer	55.8	g/kg	
	Mn	Mangaan	54.9	g/kg	
	Co	Cobalt	58.9	mg/kg	
	Ca	Calcium	40.1	g/kg	
	Mg	Magnesium	24.3	g/kg	
	Na	Natrium	23.0	g/kg	
	K	Kalium	39.1	g/kg	
	Li	Lithium	6.9	mg/kg	
	Ce	Cerium	140.1	mg/kg	
	La	Lanthaniden	138.9	mg/kg	
	PAK	Nd	Neodymium	144.2	mg/kg
Ant		Anthraceen	178.2	ug/kg	
BaA		Benz(a)anthraceen	222.3	ug/kg	
BaP		Benzo(a)pyreen	252.3	ug/kg	
BbF		Benzo(b)fluorantheen	252.3	ug/kg	
BeP		Benzo(e)pyreen	252.3	ug/kg	
BghiPe		Benzo(ghi)peryleen	276.3	ug/kg	
BkF		Benzo(k)fluorantheen	252.3	ug/kg	
Chr		Chryseen	228.3	ug/kg	
dBahA		Dibenzo(ah)anthraceen	278.4	ug/kg	
Fen		Fenanthreen	178.2	ug/kg	
Flu		Fluorantheen	202.3	ug/kg	
InP		Indeno(1,2,3cd)pyreen	276.3	ug/kg	
Pyr		Pyreen	202.3	ug/kg	
PCB		PCB18	2,2',5-trichloorbifenyl	257.5	ug/kg
		PCB28	2,4,4'-trichloorbifenyl	257.5	ug/kg
		PCB31	2,4',5-trichloorbifenyl	257.5	ug/kg
	PCB44	2,2',3,5'-tetrachloorbifenyl	292.0	ug/kg	
	PCB52	2,2',5,5'-tetrachloorbifenyl	292.0	ug/kg	
	PCB101	2,2',4,5,5'-pentachloorbifenyl	326.4	ug/kg	
	PCB105	2,3,3',4,4'-pentachloorbifenyl	326.4	ug/kg	
	PCB118	2,3',4,4',5-pentachloorbifenyl	326.4	ug/kg	
	PCB138	2,2',3,4,4',5-hexachloorbifenyl	360.9	ug/kg	
	PCB153	2,2',4,4',5,5'-hexachloorbifenyl	360.9	ug/kg	
	PCB170	2,2',3,3',4,4',5,-heptachloorbifenyl	395.3	ug/kg	
	PCB180	2,2',3,4,4',5,5'-heptachloorbifenyl	395.3	ug/kg	
	PCB187	2,2',3,4',5,5',6-heptachloorbifenyl	395.3	ug/kg	
	HCB	Hexachloorbenzeen	284.8	ug/kg	
	Tinverbindingen	MBySn	Monobutyltin	222.8	ug/kg
DBySn		Dibutyltin	256.9	ug/kg	
TBySn		Tributyltin	291.0	ug/kg	
MFySn		Monofenyltin	242.5	ug/kg	
DFySn		Difenyltin	296.2	ug/kg	
TFySn		Trifenyltin	350.0	ug/kg	





**Aanhangsel 2 Totale ruwe dataset chemische beoordeling  
Waddensurvey (gehalten op droge stof in fractie  
<63 µm)**

monster param.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>LOI</b>	10,8	10,2	11,4	12,6	5,4	15,45	10,7	14,6	8,1	11,3	12,6	12,2	11,5	11,35	11,4	11,7
<b>C</b>	2,88	2,42	2,67	3,56	1,75	3,93	3,17	4,24	2,08	3,79	2,98	2,57	3,21	2,57	2,89	2,76
<b>As</b>	18	21	22	24	14	28	24	23	20	19	21	21	23	21	41	25
<b>Cd</b>	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	0,4	1,0	0,8	0,7	0,9	1,1	0,5	0,8
<b>Cr</b>	88,7	84,8	79,5	105,1	66,5	91,5	95,3	96,5	88,1	93,2	94,4	90,0	93,4	92,5	92,6	99,9
<b>Cu</b>	22,9	19,5	18,0	30,5	14,6	25,7	24,3	39,3	17,2	27,3	26,5	21,4	24,5	31,0	16,1	21,5
<b>Hg</b>	0,33	0,32	0,25	0,63	0,22	0,34	0,32	0,43	0,30	0,37	0,37	0,26	0,36	0,44	0,28	0,34
<b>Ni</b>	36,9	34,3	23,8	47,4	18,4	27,5	30,0	33,4	32,3	33,8	29,3	28,0	38,3	33,5	22,4	30,3
<b>Pb</b>	60,5	49,9	43,9	59,7	33,6	88,6	60,2	67,6	45,1	66,0	58,7	54,5	68,3	72,9	56,9	60,8
<b>Zn</b>	163	150	132	203	118	225	169	261	138	188	179	153	180	209	132	160
<b>Al</b>	46,2	42,8	35,8	60,0	25,3	41,0	46,3	48,6	41,8	42,8	42,7	37,1	47,9	41,9	32,8	46,0
<b>Fe</b>	34	34	25	42	21	31	32	34	33	32	29	27	34	31	25	32
<b>Mn</b>	0,51	0,95	0,65	1,09	0,64	1,34	0,32	0,71	0,73	0,48	0,57	0,47	0,38	0,45	0,71	0,56
<b>Co</b>	12	11	9	14	8	13	10	12	12	11	11	9	11	11	8	10
<b>Ca</b>	69	73	68	68	74	117	63	77	55	76	84	80	67	78	54	71
<b>Mg</b>	13	12,8	10,9	14,8	9,8	11,3	12,2	12,4	11,5	12,45	12,1	11,5	13,1	12,4	10,5	12,2
<b>Na</b>	7,8	8,6	9,9	8,3	2,0	9,3	6,3	8,7	5,6	4,5	9,0	10,8	7,8	9,4	10,5	9,3
<b>K</b>	13,5	11,7	11,4	16,2	7,0	11,3	14,2	14,4	11,8	11,3	12,2	10,6	13,2	11,5	10,2	14,3
<b>Li</b>	64	57	47	72	33	51	59	61	54	56	56	50	67	56	41	58
<b>Ce</b>	63	65	72	52	65	63	69	56	71	65	75	83	66	64	174	65
<b>La</b>	31	33	34	28	33	33	35	27	39	33	40	44	34	33	81	32
<b>Nd</b>	30	30	32	28	28	29	34	26	37	31	33	38	32	30	70	31
<b>Ant</b>	24	22	18	46	14	26	23	44	19	25	26	21	27	62	11	27
<b>BaA</b>	61	56	45	148	35	55	60	148	53	57	65	53	65	159	28	62
<b>BaP</b>	76	67	61	162	41	65	79	168	63	73	83	68	84	173	34	79
<b>BbF</b>	117	108	88	226	58	105	113	217	99	102	118	100	128	216	57	124
<b>BeP</b>	73	69	55	149	37	67	70	140	65	64	77	63	85	138	35	81
<b>BghiPe</b>	85	77	66	157	41	81	83	156	69	78	89	76	99	154	42	93
<b>BkF</b>	54	50	41	101	27	47	52	109	45	48	56	47	59	102	26	58
<b>Chr</b>	59	54	51	158	35	52	70	176	57	60	70	57	71	155	28	66
<b>dBahA</b>	22	20	18	32	14	37	18	15	16	25	21	14	23	27	9	23
<b>Fen</b>	88	83	74	170	50	82	96	186	73	88	90	79	108	220	42	102
<b>Flu</b>	147	136	109	382	85	128	170	364	126	134	150	127	161	424	68	154
<b>InP</b>	124	112	86	202	54	106	108	190	102	101	114	99	139	195	60	132
<b>Pyr</b>	109	102	83	295	63	96	121	272	94	101	113	94	118	298	49	113
<b>HCB</b>	< 0,5	0,7	< 0,5	47,6	0,6	< 0,5	< 0,5	0,5	0,8	0,6	0,5	< 0,5	0,7	1,1	< 0,5	< 0,5
<b>PCB18</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5
<b>PCB31</b>	1,2	1,2	0,9	1,4	< 0,5	1,0	0,9	1,6	0,9	1,2	1,4	1,0	1,2	1,6	0,6	1,3
<b>PCB28</b>	1,5	1,5	1,3	1,8	0,8	1,5	1,4	2,2	1,1	1,7	2,0	1,4	1,6	2,4	0,8	1,7
<b>PCB52</b>	0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,0	< 0,5	0,6	0,6	< 0,5	< 0,5	1,5	< 0,5	< 0,5
<b>PCB44</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,8	< 0,5	0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	0,9	< 0,5	< 0,5
<b>PCB101</b>	1,3	1,0	1,0	1,8	0,8	1,7	1,2	2,6	0,9	1,6	1,8	1,2	1,3	3,1	0,7	1,2
<b>PCB118</b>	1,2	0,9	1,0	1,4	0,7	1,5	1,5	2,4	0,8	1,5	1,7	1,3	1,4	2,9	0,8	1,4
<b>PCB153</b>	2,1	1,8	1,9	2,8	1,5	3,0	2,2	4,2	1,6	2,8	3,1	2,2	2,3	4,4	1,5	2,3
<b>PCB105</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	0,9	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,0	< 0,5	0,6
<b>PCB138</b>	1,7	1,4	1,5	2,4	1,2	2,4	1,7	3,5	1,2	2,3	2,6	1,6	1,3	3,6	1,1	1,9
<b>PCB187</b>	0,9	0,7	0,8	1,0	0,6	1,2	0,9	1,6	0,6	1,1	1,3	0,9	0,9	1,6	< 0,5	0,9
<b>PCB180</b>	0,6	< 0,5	< 0,5	1,0	< 0,5	1,0	0,7	1,6	< 0,5	1,0	1,2	0,6	0,7	1,3	< 0,5	< 0,5
<b>PCB170</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	< 0,5	0,6	< 0,5	1,0	< 0,5	0,7	0,7	< 0,5	< 0,5	1,0	< 0,5	< 0,5
<b>TBySn</b>	32	34	27	131	22	36	19	614	26	28	42	29	24	117	17	24
<b>DBySn</b>	20	19	21	35	13	22	14	95	14	21	21	18	21	38	14	19
<b>MBySn</b>	13	12	13	17	5	7	6	11	9	6	6	12	11	7	9	12
<b>TFySn</b>	13	17	< 1	37	< 1	22	32	29	15	29	< 1	< 1	< 1	29	11	< 1
<b>DFySn</b>	< 1	< 1	< 1	17	< 1	2	13	6	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	7	< 1	< 1
<b>MFySn</b>	< 1	< 1	< 1	6	< 1	< 1	2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2	< 1	< 1



### Aanhangsel 3 Totale gestandaardiseerde dataset chemische beoordeling Waddensurvey (gehalten genormaliseerd op standaard sediment met 10% Organische stof en een lutum gehalte van 25%)

Monster Param.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>As</b>	18	24	27	19	23	27	23	20	23	19	22	25	22	23	52	25
<b>Cd</b>	0,58	0,65	0,78	0,48	1,13	0,79	0,81	0,9	0,51	0,96	0,82	0,91	0,82	1,21	0,6	0,77
<b>Cr</b>	90	94	97	85	113	91	94	85	103	92	100	108	90	103	116	103
<b>Cu</b>	23	22	22	24	26	26	24	34	20	27	28	26	23	35	21	22
<b>Hg</b>	0,34	0,36	0,31	0,49	0,41	0,34	0,32	0,37	0,36	0,36	0,39	0,32	0,34	0,5	0,36	0,35
<b>Ni</b>	37	38	29	38	32	27	30	29	38	33	31	34	37	38	28	31
<b>Pb</b>	61	56	55	47	61	88	59	59	54	65	62	67	65	82	73	63
<b>Zn</b>	165	168	164	161	214	223	166	226	164	184	190	187	173	235	170	165
<b>Ant</b>	42	45	34	65	39	33	37	52	46	33	43	41	42	120	19	49
<b>BaA</b>	105	115	85	207	99	70	95	174	128	75	109	103	101	309	48	112
<b>BaP</b>	132	138	113	228	118	83	125	198	152	97	140	133	131	337	58	144
<b>BbF</b>	204	222	164	317	166	133	178	256	239	134	198	195	200	421	99	224
<b>BeP</b>	127	142	103	209	105	85	111	165	156	85	128	123	132	269	60	147
<b>BghiPe</b>	148	158	123	220	117	103	131	183	166	103	149	148	153	300	72	169
<b>BkF</b>	93	103	76	141	77	60	83	129	107	63	94	92	92	199	46	105
<b>Chr</b>	102	111	95	222	99	66	110	207	136	80	117	111	110	301	49	119
<b>DBahA</b>	38	41	33	44	41	47	28	17	38	32	35	26	35	53	16	42
<b>Fen</b>	153	171	138	238	141	105	151	219	175	117	151	154	168	429	72	184
<b>Flu</b>	255	280	204	537	243	163	268	429	303	177	252	248	251	824	118	279
<b>InP</b>	215	231	162	284	153	135	170	224	245	133	190	192	216	380	104	240
<b>Pyr</b>	189	210	155	415	179	122	190	321	225	133	190	183	184	579	85	204
<b>HCB</b>	<0,9	1,4	<0,9	66,8	1,6	<0,6	<0,8	0,6	1,8	0,8	0,9	<1	1,1	2,1	<0,9	<0,9
<b>PCB18</b>	<0,9	<1	<0,9	<0,7	<1,4	<0,6	<0,8	0,7	<1,2	<0,7	<0,8	<1	<0,8	1,1	<0,9	<0,9
<b>PCB31</b>	2,1	2,4	1,7	1,9	<1,4	1,3	1,4	1,8	2,1	1,6	2,4	1,9	1,9	3,1	1,1	2,3
<b>PCB28</b>	2,7	3	2,4	2,5	2,4	1,9	2,2	2,6	2,6	2,2	3,4	2,6	2,4	4,7	1,5	3
<b>PCB52</b>	0,9	<1	<0,9	0,8	<1,4	<0,6	<0,8	1,2	<1,2	0,8	1	<1	<0,8	2,9	<0,9	<0,9
<b>PCB44</b>	<0,9	<1	<0,9	0,9	<1,4	<0,6	<0,8	0,9	<1,2	0,7	1,1	<1	<0,8	1,7	<0,9	<0,9
<b>PCB101</b>	2,2	2,1	1,9	2,5	2,4	2,1	1,8	3,1	2,1	2,1	3	2,4	2	6,1	1,2	2,2
<b>PCB118</b>	2	1,8	1,8	2	2,1	1,9	2,3	2,8	1,9	2	2,8	2,4	2,2	5,6	1,4	2,6
<b>PCB153</b>	3,6	3,7	3,5	4	4,1	3,8	3,4	4,9	3,8	3,6	5,2	4,2	3,6	8,6	2,6	4,1
<b>PCB105</b>	<0,9	<1	<0,9	0,7	<1,4	0,8	<0,8	1	<1,2	<0,7	<0,8	<1	<0,8	1,9	<0,9	1
<b>PCB138</b>	3	2,9	2,8	3,3	3,4	3	2,6	4,1	3	3	4,3	3,1	2,1	7	2	3,4
<b>PCB187</b>	1,5	1,4	1,4	1,4	1,6	1,5	1,4	1,9	1,5	1,4	2,2	1,8	1,4	3	<0,9	1,7
<b>PCB180</b>	1	<1	<0,9	1,5	<1,4	1,3	1,2	1,8	<1,2	1,3	2	1,2	1,1	2,4	<0,9	<0,9
<b>PCB170</b>	<0,9	<1	<0,9	1	<1,4	0,8	<0,8	1,2	<1,2	0,9	1,2	<1	<0,8	1,9	<0,9	<0,9



## Aanhangsel 4 Resultaten van de bioassays uitgevoerd in de Waddensurvey

Monster	Calux-Dre	Coroph	Crasso	Echin OL	Echin TE	MSP	Rotox
<b>1</b>	256	95	13.0	100	0	2398	100
<b>2</b>	191	95	99.2	100	0	179	100
<b>3</b>	176	88	12.2	90	10	161 <sup>1</sup>	100
<b>4</b>	736	92	10.6	100	5	3362	100
<b>5</b>	95	92	18.8	100	0	1047	12.5
<b>6</b>	97	93	46.6	95	5	130	100
<b>7</b>	1263	63	17.8	100	0	2231	25
<b>8</b>	115	71	12.6	25	75	7454	100
<b>9</b>	283	99	14.2	95	5	314	100
<b>10</b>	258	81	16.8	100	0	339 <sup>1</sup>	100
<b>11</b>	11	91	3.6	100	0	609	100
<b>12</b>	137	93	-11.0	100	0	637	100
<b>13</b>	426	34	37.8	100	0	1176	100
<b>14</b>	136	93	3.0	100	0	655	100
<b>15</b>	152	98	99.2	100	0	140	100
<b>16</b>	232	95	24.2	100	0	428	100

<sup>1</sup> Voor deze monsters lag de EC50 boven de hoogste concentratie, twee maal de hoogste concentratie is als waarde ingevuld



## Aanhangsel 5 Gemeten proefomstandigheden welke gebruikt zijn als randvoorwaarden voor de bioassays uitgevoerd in beide surveys

### Randvoorwaarden *Corophium* toets

De parameters zijn op 1, 2 of 3 momenten gedurende de toets gemeten. Van de gemeten parameters is het gemiddelde en maximum bepaald van de aanwezige metingen

Verklaring: NH4 en NO2 zijn gemeten in mg/L, O2 in %, Saliniteit (Sal) in ppm en temperatuur in °C

#### Waddensurvey

Monster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NH4, gem	0.00	0.00	1.77	7.69	0.00	0.00	18.60	24.25	0.00	0.34	3.24	4.69	24.15	2.32	9.28	8.50
NH4, max	0.00	0.00	1.77	10.80	0.00	0.00	20.30	26.90	0.00	0.69	3.24	4.69	26.60	2.32	9.59	8.50
NO2, gem	4.01	0.25	3.14	2.54	3.91	3.77	11.80	4.23	0.28	3.82	2.11	1.28	14.35	0.42	0.38	1.97
NO2, max	4.01	0.25	3.14	2.54	3.91	3.77	22.70	6.82	0.28	3.82	2.11	1.28	27.80	0.42	0.38	1.97
O2, gem	100	101	98	101	97	100	95	94	101	97	100	94	94	95	100	95
O2, max	102	103	102	103	101	105	98	97	105	101	105	96	98	97	101	98
pH, gem	8.15	8.16	8.00	8.33	8.00	8.00	8.55	8.47	8.15	8.05	8.10	8.27	8.53	8.22	8.26	8.33
pH, max	8.16	8.18	8.00	8.36	8.10	8.00	8.70	8.61	8.16	8.10	8.20	8.32	8.57	8.30	8.32	8.37
Sal, gem	31.6	32.5	33.5	32.0	28.2	31.2	32.2	31.3	30.1	29.1	31.9	33.4	33.2	33.4	33.1	33.4
Sal, max	31.8	32.6	34.5	32.4	28.7	31.3	32.8	31.4	30.8	29.5	32.0	34.0	33.9	34.0	33.2	33.8
T, gem	14.3	14.1	14.1	14.0	14.0	14.0	15.2	15.2	14.2	14.0	14.1	15.3	15.3	15.3	14.2	15.2
T, max	14.3	14.2	14.5	14.2	14.4	14.2	15.5	15.7	14.2	14.3	14.4	15.7	15.6	15.5	14.2	15.7

#### Survey in het Zeehavenkanaal

Monster	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 5	Vak 6	Vak 7
NH4, gem	0.07	0.20	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
NH4, max	0.07	0.20	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
NO2, gem	2.54	1.09	2.81	0.77	1.26	2.14	5.52
NO2, max	2.54	1.09	2.81	0.77	1.26	2.14	5.52
O2, gem	96	96	94	92	92	92	95
O2, max	96	96	94	92	92	92	95
pH, gem	8.00	8.10	8.20	8.00	8.00	8.20	8.10
pH, max	8.00	8.10	8.20	8.00	8.00	8.20	8.10
Sal, gem	29.7	29.8	29.9	30.1	30.3	29.6	29.5
Sal, max	29.7	29.8	29.9	30.1	30.3	29.6	29.5
T, gem	14.9	14.9	15.1	15.2	15.0	15.1	14.9
T, max	14.9	14.9	15.1	15.2	15.0	15.1	14.9

### Randvoorwaarden *Crassostrea* toets

Alleen pH en O2 zijn twee maal gemeten, hiervan is het gemiddelde genomen

Verklaring: NH4 en NO2 zijn gemeten in mg/L, O2 in % en Saliniteit (Sal) in ppm

Monster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NH4	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
NO2	0.30	0.50	0.20	0.75	0.10	0.00	0.20	0.00	0.20	0.50	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30
O2	91	85	92	84	85	93	83	87	93	88	84	88	84	85	93	85
pH	7.90	7.75	7.75	7.70	7.55	7.75	7.50	7.45	7.80	7.60	7.60	7.65	7.60	7.50	7.95	7.70
Sal	32.8	32.7	32.5	32.6	32.4	32.6	32.5	32.4	32.8	32.2	32.5	32.6	32.5	32.7	32.7	32.6

### Randvoorwaarden *Echinocardium* toets

De parameters zijn op 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 of 8 momenten gedurende de toets gemeten. Van de gemeten parameters is het gemiddelde en maximum bepaald van de aanwezige metingen

Verklaring: NH4 en NO2 zijn gemeten in mg/L, O2 in %, Saliniteit (Sal) in ppm en temperatuur in °C

Monster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NH4, gem	0.12	0.48	0.00	1.92	0.23	0.00	0.65	0.93	0.00	0.00	0.18	0.00	3.91	0.00	0.04	1.82
NH4, max	0.24	0.97	0.00	3.84	0.47	0.00	1.31	1.69	0.00	0.00	0.37	0.00	7.51	0.00	0.09	3.63
NO2, gem	0.97	0.11	0.23	0.67	0.53	0.08	0.32	0.54	0.11	0.79	0.19	0.48	0.34	0.47	0.48	0.92
NO2, max	1.17	0.21	0.23	0.71	0.70	0.15	0.38	0.61	0.18	1.05	0.37	0.53	0.43	0.58	0.76	1.30
O2, gem	89	89	88	84	89	89	83	89	88	91	87	90	90	92	90	91
O2, max	93	98	97	88	93	98	90	97	98	94	98	97	99	103	96	104
pH, gem	7.80	7.90	7.85	7.77	7.83	7.90	7.71	7.91	7.84	7.77	7.96	7.84	7.80	7.90	7.86	7.80
pH, max	7.90	8.00	8.00	7.90	8.00	8.00	7.80	8.10	7.90	7.90	8.10	7.90	7.90	8.00	8.00	8.00
Sal, gem	32.4	32.5	32.8	32.5	32.3	32.7	32.4	32.0	32.4	32.2	32.7	32.2	32.3	32.2	32.5	32.1
Sal, max	32.6	33.0	33.0	32.9	32.4	33.0	32.7	32.6	32.9	32.4	32.9	32.5	32.6	32.6	32.8	32.4
T, gem	14.1	14.9	15.0	14.0	14.0	14.8	14.1	12.7	14.9	14.2	14.9	13.0	13.0	13.0	13.9	13.2
T, max	15.5	15.5	15.7	15.5	15.4	15.6	15.5	13.7	15.7	15.6	15.5	14.2	14.3	14.2	15.2	14.2

### Randvoorwaarden MSPtoets

De parameters zijn op 1 moment gedurende de toets gemeten.

Verklaring: Sulfide (S) en NH4 zijn gemeten in mg/L

Monster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3	0.05	0.1	0.7	0.05	0.3	0.1	0.05	0.1	0.05	0.05	0.5
NH4	22.1	3.3	60.8	13.8	19.3	40.7	88	86.8	2.6	18.2	30.2	27.1	52	19.8	56.9	57.5
pH	7.1	7	7.4	7	7.9	7.6	7.6	7.1	7	7.6	7.7	7.9	7.1	7.7	7.7	7.4

### Randvoorwaarden Rotoxtoets

De parameters zijn op 1 moment gedurende de toets gemeten.

Verklaring: NH4 is gemeten in mg/L, O2 in % en elektrisch geleidings vermogen (EGV) in µS/mm

Monster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NH4	30	10	45	60	5	45	45	150	10	5	5	5	150	5	30	80
pH	7.9	8	7.8	7.8	8	7.7	7.8	7.5	7.7	7.7	7.8	7.7	7.8	7.7	8.1	7.8
O2	96	91	108	97	83	98	86	98	98	57	110	105	99	104	94	107
EGV	3480	3360	4340	3020	830	2800	3220	2730	2620	1748	3600	4230	4250	4260	4310	3810

### Randvoorwaarden Nereis virens

De parameters zijn op 1 moment gedurende de toets gemeten.

Verklaring: NH4 en NO2 zijn gemeten in mg/L, O2 in %, Saliniteit (Sal) in ppm en temperatuur in °C

Monster	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 5	Vak 6	Vak 7
NH4	7.13	10.4	12.1	7.23	5.02	11.3	10.2
NO2	1.08	0.971	1.2	2.87	1.09	1.08	2.14
Sal	26.9	27	27.8	29.5	29.2	27	27.5
O2	94	96	96	90	90	90	95
pH	8	8.2	8.2	8	8.1	8.2	8.1
T	14.8	15	14.9	15	15.2	15.1	14.8



## **Aanhangsel 6 Kwaliteitsdoelstellingen watersedimenten (uit Stortelder et al., 1989) gebruikt voor de normgerichte beoordeling van de sedimenten**

<b>Param.</b>	<b>Kwal. doel.</b>
As	83
Cd	2.2
Cr	483
Cu	42
Hg	0.6
Ni	40
Pb	533
Zn	477
Ant	34
BaA	43
BaP	48
BbF	130
BghiPe	52
BkF	130
Chr	43
dBahA	53
Fen	34
Flu	230
InP	52
Pyr	38
HCB	3.5
PCB28	5
PCB52	2
PCB101	4
PCB118	4
PCB153	5
PCB138	5
PCB180	6
TBySn	0.7
TFySn	0.03



## Aanhangsel 7 Totale ruwe dataset chemische beoordeling uitgevoerd in de survey van het Zeehavenkanaal (gehalten op droge stof in totaal sediment)

monster param.	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 5	Vak 6	Vak 7
<b>LOI</b>	12.8	15.5	17.3	16.5	15.1	15.9	17
<b>C</b>	3.42	3.71	4.11	3.97	2.91	3.36	3.96
<b>As</b>	15.5	18.3	20.1	20.5	14.4	17.9	20.3
<b>Cd</b>	1	0.6	0.51	0.53	0.59	0.54	0.48
<b>Cr</b>	66.5	76.2	86.4	77.9	71.4	69.4	76.7
<b>Cu</b>	35.2	25.9	23.1	23.7	43.6	21.8	22.1
<b>Hg</b>	3.31	0.64	0.5	0.5	0.32	0.42	0.38
<b>Ni</b>	35.6	38.4	35.8	37.8	33.6	33.9	35.3
<b>Pb</b>	52.1	52.7	52.8	53.6	43.6	48.9	55.5
<b>Zn</b>	219	176	189	189	164	182	183
<b>Al</b>	40	49.8	53.5	54.3	39.1	46.2	51.6
<b>Fe</b>	31.9	38.3	42	42	31	35.9	41.1
<b>Mn</b>	0.61	0.88	1.08	1.03	0.84	0.94	1.18
<b>Co</b>	10.3	12	12.4	11.9	11.1	11.2	12.3
<b>Ca</b>	44.7	54	58.1	55.6	74.9	63.3	58.1
<b>Mg</b>	8.8	11.3	12.4	11.9	13.7	13.8	12.7
<b>Na</b>	12.5	17.6	19.6	17.5	16.4	19.8	22.4
<b>K</b>	10	14.1	14.3	12.8	10.3	13.1	16
<b>Li</b>	38.2	48.2	53.6	54.2	37.6	51.2	58.8
<b>Ce</b>	42.1	51.1	50.4	52	45.3	53.7	56.2
<b>La</b>	21.6	24.1	24.3	25.1	22.4	23.7	26
<b>Nd</b>	19.9	25.4	23.5	25	21	21.5	23.4
<b>Ant</b>	117	46	40	35	28	32	34
<b>BaA</b>	524	175	134	125	101	113	105
<b>BaP</b>	551	182	142	139	110	127	127
<b>BbF</b>	655	233	199	188	142	165	166
<b>BeP</b>	445	163	136	131	100	117	116
<b>BghiPe</b>	438	153	126	127	93	114	117
<b>BkF</b>	311	118	98	90	72	84	84
<b>Chr</b>	489	170	143	132	102	113	107
<b>dBahA</b>	84	33	25	20	16	29	29
<b>Fen</b>	587	201	185	161	122	141	145
<b>Flu</b>	1099	416	336	294	245	279	259
<b>InP</b>	544	247	214	211	152	180	186
<b>Pyr</b>	816	310	246	220	186	209	192
<b>HCB</b>	40.5	65.2	36.4	11.4	145.7	9.1	4.7
<b>PCB18</b>	1.9	1.2	1.2	1.1	0.8	1	1
<b>PCB31</b>	1.3	1.2	1.4	1.2	1	1.1	1.2
<b>PCB28</b>	1.9	1.8	2.1	1.9	1.4	1.6	1.9
<b>PCB52</b>	1.2	0.9	1.1	0.8	0.7	0.8	0.8
<b>PCB44</b>	0.8	0.6	0.9	0.6	0.5	0.5	0.6
<b>PCB101</b>	2.1	1.7	1.8	1.6	1.2	1.4	1.5
<b>PCB118</b>	1.6	1.5	1.7	1.4	1.1	1.2	1.5
<b>PCB153</b>	3.3	3	2.8	2.9	2.1	2.6	2.8
<b>PCB105</b>	0.6	0.6	0.7	0.6	0.4	0.5	0.6
<b>PCB138</b>	2.8	2.5	2.6	2.4	1.7	2.2	2.6
<b>PCB187</b>	1.1	1	1	1.1	0.7	0.9	1.1
<b>PCB180</b>	1.5	1.2	1.1	1.1	0.8	1	1.1
<b>PCB170</b>	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7
<b>TBySn</b>	151	231	119	94	156	79	65
<b>DBySn</b>	26	27	15	14	14	12	11
<b>MBySn</b>	9	9	9	9	6	6	8
<b>TFySn</b>	20	25	22	25	10	16	15
<b>DFySn</b>	4	3	3	3	2	2	2
<b>MFySn</b>	3	4	4	3	2	3	3



## **Aanhangsel 8 Resultaten van de bioassays uigevoerd in de survey van het Zeehavenkanaal**

	<b>Coroph</b>	<b>NereisOL</b>	<b>NereisG</b>	<b>MSP</b>
<b>Vak 1</b>	88	100	0.3208	7887
<b>Vak 2</b>	89	100	0.1084	3843
<b>Vak 3</b>	93	96	-0.0384	3064
<b>Vak 4</b>	94	96	0.096	2626
<b>Vak 5</b>	97	100	0.1712	1617
<b>Vak 6</b>	89	96	0.0668	3109
<b>Vak 7</b>	87	96	0.082	2299



**Aanhangsel 9 Gehalten aan gechloreerde aromatische verbindingen, PAK's, tinverbindingen en kwik in de organismen van de *Nereis virens* bioassay uitgevoerd in de survey van het Zeehavenkanaal**

<b>Param.</b>	<b>Extinctie</b>	<b>Vak 1</b>	<b>Vak 2</b>	<b>Vak 3</b>	<b>Vak 4</b>	<b>Vak 5</b>	<b>Vak 6</b>	<b>Vak 7</b>
<b>HCB</b>	µg/kg f.w.	235.71	161.54	178.57	150.00	453.85	17.86	100.00
<b>Dld</b>	µg/kg f.w.	35.71	38.46	35.71	17.86	19.23	17.86	17.86
<b>HCButa</b>	µg/kg f.w.	57.14	69.23	107.14	57.14	84.62	17.86	42.86
<b>QCB</b>	µg/kg f.w.	17.86	19.23	17.86	17.86	46.15	17.86	17.86
<b>PCB101</b>	µg/kg f.w.	128.57	115.39	100.00	85.71	69.23	17.86	71.43
<b>PCB118</b>	µg/kg f.w.	64.29	53.85	57.14	17.86	19.23	17.86	17.86
<b>PCB138</b>	µg/kg f.w.	235.71	200.00	207.14	178.57	169.23	78.57	185.71
<b>PCB153</b>	µg/kg f.w.	300.00	300.00	300.00	285.71	230.77	128.57	264.29
<b>PCB180</b>	µg/kg f.w.	85.71	92.31	92.86	92.86	69.23	17.86	78.57
<b>Fle</b>	µg/kg f.w.	1.43	1.54	0.71	8.57	0.77	0.71	0.71
<b>Fen</b>	µg/kg f.w.	12.86	12.31	7.86	8.57	4.62	0.71	0.71
<b>Ant</b>	µg/kg f.w.	1.43	0.77	0.71	0.71	0.39	0.36	0.36
<b>Flu</b>	µg/kg f.w.	13.57	10.00	7.14	5.71	5.39	5.00	4.29
<b>Pyr</b>	µg/kg f.w.	12.14	6.92	5.00	5.00	4.62	3.57	3.57
<b>BaA</b>	µg/kg f.w.	2.86	1.54	0.71	1.43	1.54	0.71	0.71
<b>Chr</b>	µg/kg f.w.	3.57	2.31	1.43	2.14	1.54	0.71	1.43
<b>BbF</b>	µg/kg f.w.	3.57	4.62	0.71	2.86	0.77	2.14	0.71
<b>BkF</b>	µg/kg f.w.	1.43	3.08	0.36	2.14	0.39	0.36	1.43
<b>BaP</b>	µg/kg f.w.	2.14	1.54	0.36	2.14	0.77	0.71	0.71
<b>BghiPe</b>	µg/kg f.w.	2.14	2.31	0.36	2.86	0.77	1.43	1.43
<b>InP</b>	µg/kg f.w.	0.71	0.77	0.36	1.43	0.77	0.71	0.71
<b>TBySn</b>	mg/kg f.w.	0.29	0.31	0.21	0.21	0.23	0.21	0.14
<b>DBySn</b>	mg/kg f.w.	1.07	1.54	1.07	1.29	0.92	0.79	0.64
<b>DFySn</b>	mg/kg f.w.	0.07	0.08	0.14	0.14	0.15	0.07	0.14
<b>TFySn</b>	mg/kg f.w.	1.00	1.31	1.64	1.36	1.54	1.21	1.29
<b>Hg</b>	mg/kg d.s.	0.27	0.25	0.26	1.60	0.28	0.26	0.27

