



# Macrofauna in de verontreinigde waterbodem van de Rijn/Maas-delta

A. DEWITTE, WAGENINGEN UNIVERSITEIT

E. PEETERS, WAGENINGEN UNIVERSITEIT

P. DEN BESTEN, RIJKSINSTITUUT VOOR INTEGRAAL ZOETWATERBEHEER EN AFVALWATERBEHANDELING

J. VAN DER VELDEN, RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE ZUID-HOLLAND

*De Rijn/Maas-delta is door toedoen van menselijke handelingen sterk veranderd. Verontreinigingen uit binnen- en buitenland zijn in de Rijn en de Maas terechtgekomen en met het slib gesedimenteerd, waardoor de waterbodem van de delta verontreinigd is geraakt. In de Rijn/Maas-delta is de afgelopen jaren uitgebreid onderzoek gedaan naar de effecten van de aanwezige zware metalen, organochloorpesticiden, PCB's en PAK's op de soortensamenstelling van de bodembewonende macrofauna. Tussen de riviertakken van de delta blijken verschillen te zijn in die samenstelling. Met behulp van directe gradiënt-analyse is voor beide riviertakken bepaald met welke abiotische omstandigheden en met welke verontreinigingen deze soortensamenstelling vooral correleert. Verder is onderzocht of er een relatie bestaat tussen de resultaten van bioassays en de samenstelling van de fauna.*

Voor de veiligheid en het gebruik als transportroute zijn veranderingen aange-

bracht in de Rijn en Maas qua hydrologie en oeverbescherming. Rond 1970 is een deel van

de delta gescheiden van de Noordzee door twee dammen: de Volkerakdam en de Haringvliet(sluis)dam. Hierdoor is de hydrologie van het systeem drastisch veranderd. Getijdenbewegingen verdwenen nagenoeg en stroomsnelheden verminderden, waardoor de sedimentatie in het Haringvliet en Hollandsch Diep sterk toenam.

Door de industrialisering vanaf de tweede helft van de 19e eeuw zijn water en bodem in toenemende mate met milieuvreemde stoffen belast. Via diffuse en directe lozingen komen verontreinigingen in de rivieren terecht. Ook via de Rijn en de Maas stromen jaarlijks grote hoeveelheden milieuvreemde stoffen Nederland binnen. Een gedeelte van de vracht aan verontreinigingen is gebonden aan slibdeeltjes en komt tot bezinking in de Rijn/Maas-delta. De waterbodem van deze delta is hierdoor sterk vervuild geraakt.

De laatste jaren zijn studies verricht naar de risico's die deze verontreinigingen vormen voor de natuur. Belangrijke hulpmiddelen hierbij zijn inventarisaties naar de samenstelling van de macrofauna en toxiciteittoetsen met behulp van bioassays.

## Methoden

In de Rijn/Maas-delta zijn de Brabantsche Biesbosch (BB), Dordtsche Biesbosch (DB), Nieuwe Merwede (NM), het Hollandsch Diep (HD) en Haringvliet (HV) onderzocht (afbeelding 1).

In zowel de Maas als de Rijn zijn verschillende locaties bemonsterd, die onderling verschillen in abiotische omstandigheden. Op

Afb. 1: De Rijn/Maas-delta.





variabelen	gem delta	gem BB	gem DB	gem HD	gem HV	gem NM
EOX	1.76	1.37	3.58	2.57	0.92	2.18
olie	337.7	334.3	390.7	489.4	197.9	344
som metalen	0.62	0.65	1.17	0.64	0.42	0.69
som PAK	6.09	7.94	12.14	7.27	3.25	2.98
som PCB	83.11	65.89	237.9	84.45	36.65	157
BHCH	5.13	0.54	67.19	2.26	0.5	1.62
HCB	10.64	5.08	14.77	25.44	2.87	9.91

Tabel 1: De concentraties van groepen verontreinigingen in het sediment in de vijf regio's in de Rijn/Maas-delta en de gemiddelde concentratie in het gehele deltagebied van de beide rivieren.

deze locaties zijn macrofauna-monsters genomen om de soortensamenstelling en de gemiddelde dichtheden per soort te bepalen. Verder zijn nog een aantal fysische variabelen en de concentraties van enkele verontreinigingen in de toplaag (10 cm) van het sediment bepaald.

De gemeten fysische variabelen zijn: organisch stofgehalte, calciatgehalte, droge stofgehalte, korrelgrootteverdeling, consolidatiegraad sediment, diepte, pH sediment, pH poriewater, erosie door de scheepvaart, winderosie en stroomsnelheid.

Als verontreinigingen zijn gemeten: EOX (totaal extraheerbaar halogeenhoudende stoffen), olie, zware metalen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen, polychloorbiphenylen en organochloorpesticiden. Tabel 1 geeft een overzicht van de gemiddelde concentraties aan verontreinigingen per riviertak.

Van iedere locatie is eveneens de sedimenttoxiciteit bepaald met behulp van bioassays uitgevoerd met de muggenlarve *Chironomus riparius*, de watervlo *Daphnia magna* en de bacterie *Photobacterium phosphoreum* (Microtox assay).

De bijdrage van de fysische variabelen en verontreinigingen in het verklaren van de variatie in soortensamenstelling is onderzocht met de ordeningsmethoden Correspondentie Analyse en Canonische Correspondentie Analyse in het programma CANOCO.

Voor het vaststellen van de kwantitatieve bijdragen van de diverse factoren is gebruik gemaakt van variantiepartitie zoals ontwikkeld door Borcard *et al.* (1992) en succesvol toegepast door Peeters *et al.* (2000) voor zware metalen in het Noordzeekanaal.

Informatie over ordinatietechnieken staat in het kader. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar genoemde personen.

### Resultaten en discussie

Tijdens het onderzoek zijn 154 verschillende soorten gevangen. De meeste organismen behoren tot de groepen weinigborstelige borstelwormen, bloedzuigers, tweekleppigen, slakken, waterspinnen en -mijten, kreeftachtigen en insecten.

Met 195 macrofaunamonsters uit de delta is een indirecte ordinatie uitgevoerd, waarbij de verdeling van de monsterpunten op de eerste twee assen is weergegeven in afbeelding 2.

Afbeelding 2 toont dat de monsterpunten vooral per riviertak bij elkaar komen te liggen. Aangezien de plaatsing van de monsterpunten in het assenstelsel bepaald wordt door de soortensamenstelling, betekent dit dat de monsterpunten binnen een riviertak een vergelijkbare soortensamenstelling hebben. Mogelijke redenen hiervan zijn dat iedere riviertak zijn eigen historie heeft en dat in iedere riviertak andere milieufactoren heersen.

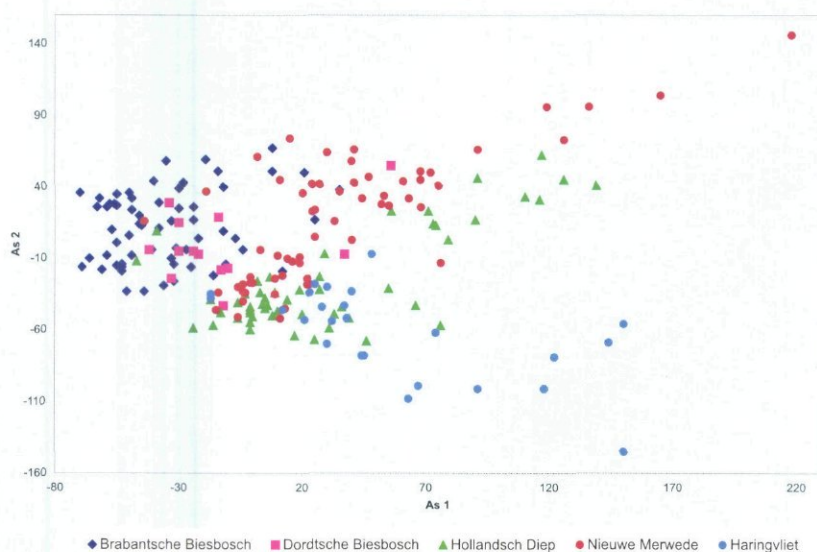
Uit de variantiepartitie-analyse blijkt dat voor het gehele onderzoeksgebied 16,5 procent van de variatie in soortensamenstelling verklaard kan worden door de fysische variabelen, 11,3 procent door de verontreinigingen en 13,8 procent door een combinatie van beiden. De onverklaarde 58,4 procent wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld natuurlijke fluctuaties, stochastische gebeurtenissen en factoren of aspecten die niet beschouwd zijn in deze studie, zoals andere milieuvreemde stoffen en biotische interacties.

Tabel 2 toont per riviertak hoeveel de verschillende factoren bijdragen aan het verklaren van de variatie in soortensamenstelling. Voor het onderzoeksgebied en de Brabantse Biesbosch, Hollandsch Diep en Haringvliet afzonderlijk zijn alle verontreinigingen meegenomen. Voor de Nieuwe Merwede is gewerkt met som-variabelen van de verontreinigingen vanwege het geringere aantal waarnemingen.

De verklaarde variantie voor de afzonderlijke riviertakken is hoger dan voor het gehele onderzoeksgebied (tabel 2). Het aantal waarnemingen in de riviertakken is lager met als gevolg dat het aantal variabelen dichter in de buurt ligt van het aantal monsterpunten, waardoor minder ruis optreedt en er dus meer variantie verklaard kan worden.

Het percentage variantie dat verklaard kan worden door de fysische factoren als groep bleek niet in ieder deelgebied hetzelfde, maar ook de bijdrage van de factoren afzonderlijk verschilt per riviertak. Zo spelen bijvoorbeeld voor het gehele onderzoeksgebied vooral de fysische variabelen riviertak (4,5 procent), korrelgroottefracties (drie procent), winderosie (0,8 procent) en stroomsnelheid (0,7 procent) en voor de Nieuwe Merwede en het Hollandsch Diep de diepte (respectievelijk 6,6 procent en 2,7 procent) een rol.

Ook de bijdrage van de verschillende verontreinigingen aan de verklaring van de variatie in de soortensamenstelling is verschillend per riviertak. Voor de Brabantse Bies-



Afb. 2: Ordinatie diagram van de monsterpunten gebaseerd op een indirecte ordinatie van de macrofauna.



riviertak	alle factoren	fysische variabelen	verontreinigingen	combinatie
gehele onderzoeksgebied	41,6%	16,5%	11,3%	13,8%
Brabantse Biesbosch	62,7%	18,4%	32%*	12,3%
Hollandsch Diep	72,3%	20,9%	30,6%	20,8%
Haringvliet 59%	13,1%*	31,5%*	14,4%	
Dordtsche Biesbosch**	-	-	-	-
Nieuwe Merwede***	82%	56%	22%	4%

\* = niet significant (de P-waarde uit de Monte Carlo permutatietest is groter dan 0,05)

\*\* = te weinig waarnemingen voor het berekenen van de variantiepartitie

\*\*\* = op basis van som-variabelen voor metalen en PAK's in verband met geringer aantal waarnemingen

Tabel 2: Bijdrage van de verschillende factoren aan de variatie in soortensamenstelling per riviertak.

### Ordinatie technieken CA en CCA

Ordinatie is een belangrijk hulpmiddel om ten eerste mogelijke verbanden tussen de verschillende abiotische variabelen te bepalen, ten tweede een rangschikking in locaties en soorten aan te brengen en om ten derde te bepalen welke abiotische variabelen deze rangschikking veroorzaken. De rangschikking van de locaties en de soorten is berekend met Correspondentie Analyse (CA) en welke abiotische variabelen deze rangschikking bepalen met Canonische Correspondentie Analyse (CCA). Bij CA en CCA vindt rangschikking zo plaats dat locaties met een vergelijkbare soortensamenstelling dicht bij elkaar worden geplaatst in een assenstelsel. Door vervolgens bij CCA de rangschikking van soorten te relateren aan de abiotische variabelen wordt bepaald met welke abiotische factoren deze rangschikking van soorten en locaties correleert.

Binnen CCA is gekozen voor de optie 'downweighting', wat wil zeggen dat er minder waarde wordt gehecht aan minder frequent voorkomende soorten. Bij gebruik van covariabelen wordt de invloed van die covariabelen op de rangschikking van de soorten en locaties in mindering gebracht, alvorens deze rangschikking te relateren aan de andere factoren.

De statistische significantie van het effect van iedere set variabelen is getest met behulp van de Monte Carlo permutatietest, waarbij als significantie criterium P is kleiner dan of gelijk aan 0.05 wordt gehanteerd.

bosch waren de PAK's het meest belangrijk (14,8 procent) en voor het Hollandsch Diep en het Haringvliet de metalen (respectievelijk 12,4 en 14 procent). De andere verontreinigingen dragen duidelijk minder bij, variërend

tussen de 1,1 en 2,8 procent.

De hoogste concentraties aan verontreinigingen worden aangetroffen in de Dordtsche Biesbosch (tabel 1). De reden hiervoor is dat de sedimenttoplaag hier stamt uit de zeventiger

jaren. In de andere deelgebieden heeft in de afgelopen decennia natuurlijke afdekking met beduidend schoner sediment plaatsgevonden. In de Dordtsche Biesbosch vond geen netto sedimentatie plaats.

Afbeelding 3 toont dat zware metalen en PAK's sterk bijdragen aan de verklaarde variantie en dat PCB's zeer gering bijdragen. Van PCB's is bekend dat ze voornamelijk risico's geven via ophoping in voedselketens. De directe effecten op de macrofauna lijken gering.

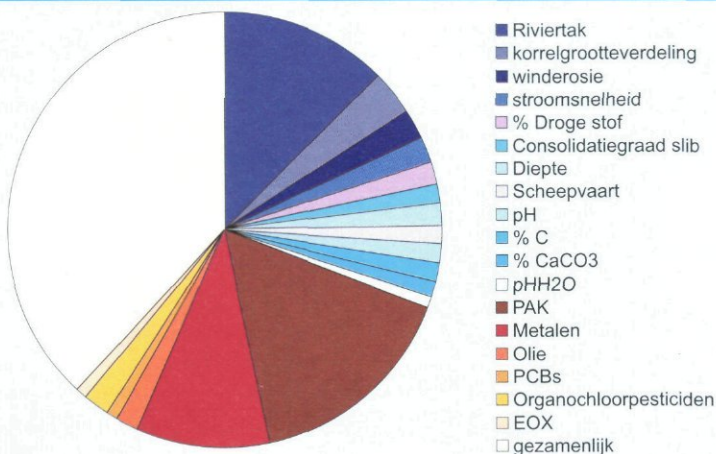
Uit tabel 3 blijkt dat de bijdragen berekend op basis van de afzonderlijke variabelen steeds hoger uitkomen dan die berekend met de somvariabelen. De tabel toont ook dat het berekenen van de bijdragen van de verontreinigingen zonder gebruikmaking van covariabelen leidt tot hogere waarden. Door rekening te houden met de invloed van andere factoren ontstaat een beter beeld van de daadwerkelijke bijdragen van de verontreinigingen.

Van de in het sediment aanwezige concentraties verontreinigingen is alleen het biologisch beschikbare gedeelte van belang bij risicobenadering. Dit kan benaderd worden met bioassays. Wanneer de resultaten van deze bioassays worden meegenomen in de variantieanalyse dan blijkt dat hun bijdrage minder is dan bij de gemeten gehalten. De gemeten verontreinigingen correleren dus beter met de soortensamenstelling dan de bioassays. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de sedimentmonsters voor bioassays veranderd zijn ten opzichte van de veldsituatie, bijvoorbeeld door factoren als experiment-ontwerp, bewaartijd van het monster, sedimentmanipulatie of voedseltoevoeging. Anderzijds zijn in de veldsituatie de organismen mogelijk geïmigreerd aan de verontreinigingsomstandigheden, terwijl dat in de bioassay niet het geval is.

Uit eerder onderzoek bleek dat het type habitat en voornamelijk de partikelgrootte van het sediment van belang was voor het voorkomen van faunagemeenschappen in de delta. Verdergaande statistische analyses per habitat toonden dat een lage sedimenttoxiciteit wel eens voorwaarde zou kunnen zijn voor een optimale soorten diversiteit.

Zoals uit het voorgaande blijkt, is variantiepartitie een interessant middel om een overzicht te krijgen van de bijdragen van diverse factoren aan de variatie in het voorkomen van macrofaunasoorten in een bepaald gebied. Wanneer een goede dataset aanwezig is, kan de bijdrage van de verschillende factoren in beeld gebracht worden. Dit geeft tevens de beperkingen aan van de techniek. Het opbouwen van een goede dataset kost de nodige tijd. Verder is voorwaarde van CANOCO dat het aantal locaties groter moet zijn dan het aantal variabelen,

Afb. 3: Percentage verklaarde variantie door de verontreinigende stoffen (in rood), de fysische variabelen (in blauw) en de combinatie van beiden (in geel).



variabelen	gehele delta			Brabantse Biesbosch			Hollandsch Diep			Haringvliet		
	A**	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PAK's	5,7*	0,7*	14,7*	14,8	1,6	21*	10,2	1,6	39,1*	11,6	1,4	32,3*
metalen	3,6*	0,3	12,2*	9,3	2,5*	27,6*	12,4*	1,7	28*	14*	2,1	24,2*
EOX	0,3	0,3	2,8*	1,3	1,1	5,2*	1,1	1	9,5*	1,2	1	4,6*
olie	0,6*	0,6*	3,7*	1,9	1,9	6,1*	1,8	1,3	9,2*	1,8	1,5	9,4*
sPCB	0,3	0,3	0,9	1,4	1,6	2,7*	1,3	1,8	2,9	1,6	1,3	1,9
organochloor-pesticiden	0,7	0,9	3*	2,8	3	4,9*	2,8*	2,5	7,4*	2,2*	1,1	5*

\* = significante waarde

\*\*A: de bijdragen die berekend zijn met de afzonderlijke variabelen

B: de bijdragen die berekend zijn met somvariabelen

C: de bijdragen die berekend zijn met afzonderlijke variabelen en waarbij andere variabelen niet zijn meegenomen als covariabelen.

Tabel 3: Bijdrage (in procenten) van verschillende groepen verontreinigingen in variantie voor enkele riviertakken.

dus hoe groter het aantal factoren waarvan men de invloed wil bepalen, des te meer locaties moeten in de dataset worden opgenomen. Dit betekent veel analyses, zowel voor alle biotische als alle abiotische factoren. Uiteindelijk levert een vergaande analyse van onderzoeksresulta-

ten wel een meerwaarde. Het hier beschreven werk geeft meer inzicht in de mogelijke effecten van de verontreiniging op het functioneren van het systeem. Dit inzicht is essentieel bij het maken van keuzes over wat en hoe om te gaan met verontreinigend waterbodems. 

LITERATUUR

Borcard D., P. Legendre en P. Drapeau (1992). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology* nr. 73, pag. 1045-1055.

Den Besten P., C. Schmidt, M. Ohm, M. Ruys, J. van Berghem en C. van de Guchte (1995). Sediment quality assessment in the delta of rivers Rhine and Meuse based on field observations, bioassays and food chain implications. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* nr. 4, pag. 257-270.

Peeters E., J. Gardeniers en A. Koelmans (2000). The contribution of trace metals in structuring in situ macroinvertebrate community composition along a salinity gradient. *Environmental Toxicology and Chemistry* nr. 4, pag. 1002-1010.

Reinhold-Dudok van Heel H. en P. den Besten (1999). The relation between macroinvertebrate assemblages in the Rhine-Meuse delta and sediment quality. *Aquatic Ecosystem Health & Management* nr. 2, pag. 19-38.

RIZA/Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland (1999). Brochure 'Macrofauna in de delta van Rijn en Maas'. RIZA-rapport nr. 99.056.

Smit H., J. van der Velden en A. Klink (1994). Macrozoobenthic assemblages in littoral sediments in the enclosed Rhine-Meuse delta. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* nr. 2, pag. 199-212.

Ter Braak C. (1996). Unimodal models to relate species to environment. DLO-Agricultural mathematics group.